

Кристофер Поттер
Вы находитесь здесь
Карманная история вселенной

CoRPvS

146

Кристофер Поттер
**Вы находитесь
здесь**

Карманная история вселенной

CoRPvS

Книга Кристофера Поттера ведет нас сквозь время и пространство, доступно рассказывая о том, что современная наука знает о нашем месте в космосе. И не экономит на науке.

NEW SCIENTIST

Кристофер Поттер смело размышляет о вселенной, пытаясь победить наш экзистенциальный страх перед бесконечностью и неизвестностью.

THE GUARDIAN



Сначала Кристофер Поттер выводит читателя за границы расширяющейся вселенной. Затем помещает его внутрь атомов и частиц, посвящая в тайны квантовой теории. И, наконец, отправляется в путешествие по времени, чтобы проследить, как появилась жизнь на Земле и сама Земля. Быть в мире с вселенной непросто. С книгой "Вы находитесь здесь" достичь этого мира легче, чем без нее.

CHRISTOPHER
POTTER
YOU ARE HERE
A PORTABLE
HISTORY OF
THE UNIVERSE

Кристофер Поттер
Вы находитесь здесь

Christopher Potter

You Are Here

A Portable History of the Universe

Кристофер Поттер
Вы находитесь здесь
Карманная история вселенной

Перевод с английского
Николая Охотина



издательство **астрель**

УДК 52-3
ББК 22-6
П64

Художественное оформление и макет АНДРЕЯ БОНДАРЕНКО

This edition is published by arrangement with InkWell Management and
Synopsis Literary Agency

Издание осуществлено при техническом содействии ИЗДАТЕЛЬСТВА АСТ

Поттер, К.

П64 Вы находитесь здесь. Карманная история вселенной / КРИСТОФЕР ПОТТЕР ; пер.
с англ. Н. ОХОТИНА — М. : Астрель : CORPUS, 2012. — 416 с.

ISBN 978-5-271-39923-7 (ООО "Издательство Астрель")

В детстве Кристофер Поттер любил называть свой полный космический адрес: Кристофер Поттер, 225, Рашгрин-роуд, Лим, графство Чешир, Англия, Соединенное Королевство, Мир, Солнечная система, Галактика. И, как все дети, осознавал, что вселенная — странное место. Что находится за пределами вселенной? Если вселенная содержит в себе все сущее, то в чем находится она сама? Веками ученые смело всматривались во вселенную, будучи вооружены лишь часами и линейкой. С этими магическими амулетами в руках и мы можем проследовать по той же дороге, не слишком осторожничая, но и не поддаваясь безумию. Раскрыть тайны вселенной — что может быть интереснее?

УДК 52-3
ББК 22-6

ISBN 978-5-271-39923-7 (ООО "Издательство Астрель")

- © Christopher Potter, 2009
- © Н. Охотин, 2011
- © А. Бондаренко, художественное оформление, 2011
- © ООО "Издательство Астрель", 2011
- Издательство CORPUS ®

Оглавление

Ориентация	11
26 степеней отдаления	28
Мера за меру	69
Это не про тебя	91
Сквозное движение	119
Другой выход	145
Пролить свет на материю	162
Нечто и ничто	211
Приветствуем рождение звезд	240
Фокусировка	266
Начало начал	295
Африка, здравствуй и прощай	348
Приехали	368
Библиография	386
Благодарности	393
Предметный указатель	395

Моей матери

*Разве я посмею
Потревожить мирозданье?*

Т.С.Элиот, “Любовная песнь
Дж. Альфреда Пруфрока”,
пер. А. Сергеева

Ориентация

*Меня ужасает вечное молчание
этих безграничных пространств.*

Блез Паскаль, пер. Э. Липецкой

“Вы находитесь здесь”, — гласит надпись на карте в парке, на схеме вокзала или торгового центра, обычно со стрелочкой красного цвета, уверенно указывающей на определенное место. Но где точно это “здесь”? Дети знают или думают, что знают. В детстве я, как у нас тогда было заведено, написал на форзаце своей первой книжки мой полный космический адрес: Кристофер Поттер, 225, Рашгрин-роуд, Лим, графство Чешир, Англия, Соединенное Королевство, Мир, Солнечная система, Галактика; мои детские буквы становились крупнее и крупнее, будто отражая то, что каждый последующий элемент адреса больше и значительнее предыдущего, пока не возникал финишный пункт назначения: сама вселенная, вмещающая в себя все сущее.

Дети довольно быстро осознают, что вселенная — странное место. Помню, я часто не мог заснуть по ночам, пытаясь вообразить, что находится за пределами вселенной. Если вселенная содержит в себе все сущее, то в чем находится она сама? Сегодня мы знаем (ученые нам сообщили), что видимая вселенная создает

пространство и время в процессе своего расширения, то есть она сама нигде не находится. Но подобные описания порождают слишком много новых вопросов, куда более тревожных, нежели тот, первый, на который мы надеялись получить ответ. Так что мы быстренько засовываем вселенную в дальний ящик и начинаем думать о чем-нибудь другом.

Нам не нравится думать о вселенной, потому что нас пугают ее огромность и всеохватность. В масштабе вселенной мы сокращаемся до песчинки, и очень сложно не начать сравнивать. Пойди отмахнись от вселенной, когда ее так много! «Эта бессмысленная громада угрожает поглотить духовные устремления, превратив их в кошмар абсурда, — писал англо-германский ученый Эдвард Конзе (1904–1979). — Колоссальное количество материи, которое мы ощущаем вокруг в сравнении с крохотной дрожащей искоркой духовного озарения внутри нас, высказывается, очевидно, в пользу материалистического взгляда на мир». Мы знаем, что обречены в соревновании со вселенной.

Столь же сильно пугает и идея полного отсутствия, или идея «ничто». Не так давно каждый из нас был ничем, а потом стал чем-то. Неудивительно, что у детей бывают кошмары. «Нечто» нашего существования должно сделать невозможным «ничто», предшествовавшее жизни, хотя мы знаем, что, по наблюдению короля Лира, «ничто родит ничто». И все-таки в ежедневном исчезновении и чудесном возрождении нашего «я», которое засыпает и просыпается, нам вспоминается полное небытие, из которого мы все возникли.

Если что-то имеет место быть — а похоже, так оно и есть, — то откуда это “что-то” взялось? Подобные мысли обычно совпадают с первыми подозрениями по поводу собственной смертности. Смерть и небытие идут рука об руку — двойной страх, присоединяющийся к нашему страху перед бесконечностью, эти страхи мы загоняем внутрь себя всю оставшуюся взрослую жизнь.

Человечество находится в ловушке. С одной стороны, мы знаем, что нечто существует, — хотя бы потому, что уверены в собственном существовании, — но точно так же мы знаем, что ничего нет, мы пришли из небытия и туда же уйдем. Разумом мы понимаем, что небытие и смерть неизбежны, но на самом деле в это не верим. Мы все бессмертны, пока живем, как сказал американский писатель Джон Апдайк.

“Что будет, когда я умру?” Ребенок довольно скоро задает этот вопрос, который мы, взрослые, привычно откладываем в сторону. Даже “материальная девушка”¹ материального мира не удовлетворялась бы описанием физических процессов разрушения, и в то же время материальный ответ на такой (впрочем, как и на любой другой) вопрос приведет к одному и тому же. Из какого материала создан мир и откуда он взялся? Размышлять о вселенной значит задавать детские вопросы, о которых мы давно забыли: что есть все сущее? что есть ничто?

По-видимому, все дети начинают как многообещающие ученые — они безбоязненно идут по следу и задают вопросы до изнеможения (правда, чаще всего это

1 *Material Girl* — песня Мадонны. (Прим. перев.)

родительское изнеможение). Любопытство толкает детей спрашивать почему, почему и опять почему, надеясь достичь какого-то конечного пункта, как вселенная в конце нашего космического адреса — финального ответа, после которого уже не будет никаких новых “почему”.

“Почему существует нечто, а не ничто?” — спрашивал немецкий философ Готфрид Лейбниц (1646–1716): любое описание вселенной должно непременно иметь в виду этот вопрос. На вопросы “почему” наука пытается давать ответы “как”, раскрывая взаимосвязь происходящего в мире. Но все ответы “как” опять приводят к тому же финальному вопросу, только теперь вместо “почему существует нечто, а не ничто?” ученые спрашивают: “Как нечто получилось из ничего?” Чтобы объяснить вездесущность вселенной, нужно также объяснить ее небытие, из которого она, по всей видимости, появилась. Но как выглядело вещество, из которого сделан наш мир, когда этого самого мира еще нет, что могло превратить ничто в нечто, а затем нечто в то, что мы зовем вселенной?

В течение сотен лет с тех пор, как само слово “вселенная” начало хоть что-то означать, наука последовательно погружалась в исследование того, что находится Там, — того, что мы подразумеваем под вселенной. Следовало бы ожидать, что никто лучше ученых не ответит на вопрос, где наше место — между пустотой и всем сущим.

Увы, ответы ученых часто разочаровывают.

- “Наконец человек узнал, что он одинок в бесчувственной огромной вселенной, откуда он и возник,

впрочем, случайно”, — писал французский биолог Жак Моно (1910–1976), будто радуясь тому, что это наконец обнаружено.

- “Наука многое узнала об устройстве мира и о нашем месте в нем. Большинство открытий не дают нам поводов для гордости, — пишет Николас Бострем, директор Института будущего человечества при Оксфордском университете. — Земля не является центром Вселенной. Наш вид произошел от животных. Мы сами сделаны из грязи. Нами руководят нейрофизиологические импульсы, и мы находимся в зависимости от ряда биологических, физиологических и социальных факторов, которые мало от нас зависят, и даже наше понимание их недостаточно”.
- “Наше истинное положение, — по словам американского физика Армана Дельсемма, — в изоляции посреди бескрайней и загадочной вселенной”.

Одни в океане, без намека на смысл: неудивительно, что мы, не будучи учеными, предпочитаем остаться дома и смотреть телевизор, или читать “Мидлмарч”¹, или заниматься прочими домашними делами. Если это и есть научный взгляд на вселенную, то мы без него обойдемся. Такое описание только вновь пробуждает тошнотворные экзистенциальные страхи, которые нас не тревожили с детства. Или у вас не было этих страхов? Некоторые мои друзья говорят, что вообще никогда не задумывались о вселенной. А я все-таки не могу

1 Популярный роман Джордж Элиот (1819–1880). (Прим. перев.)

избавиться от ощущения, что это вытеснение из сознания, а не отсутствие интереса. Кому же хочется услышать о своей никчемности в огромной, бесцельной и равнодушной вселенной? А однажды приняв этот факт, сложно не обвинить науку в его обнаружении. Суровые научные утверждения практически невозможно отрицать. Следовательно, легче просто не думать и о самой науке, чтобы не услышать что-нибудь столь же неопровержимое, сколь и неприятное для нас: воли не существует; разум — это просто свойство мозга; богов нет; единственная реальность — материальная реальность; любое знание, отличающееся от научного, не просто бесполезно — это вообще не знание.

Наука убеждает нас, что вселенная имеет очень мало общего с тем личным опытом, который определяет нас как людей. Мы оказываемся в оппозиции ко вселенной, которая в лучшем случае равнодушна к тем качествам, что делают нас людьми, и это наводит некоторых из нас на мысль, без которой мы предпочли бы обойтись: быть человеком — значит, по сути, быть отделенным от источника своего происхождения.

Находиться в мире с вселенной непросто. Английский математик Фрэнк Рамсей (1903–1930) нашел способ приспособиться к вселенной путем адаптации идеи размера: “В отличие от некоторых моих друзей, я придаю мало значения физическим размерам. Я не ощущаю себя скромной букашкой перед величием небес. Звезды могут быть огромны, но они лишены способности думать или любить, а эти свойства впечатляют меня гораздо больше, нежели размеры... Моя картина мира имеет перспективу... На переднем плане находят-

ся люди, а звезды — размером с трехпенсовые монетки”. Современный астроном Алан Дресслер придерживается сходной стратегии: “Если бы наши глаза были чувствительны к сложному и тонкому и не замечали мощного и огромного, мир превзошел бы сиянием целую звездную галактику”.

Изображение вселенной в человеческом масштабе может напомнить нам о живописи до открытия перспективы, когда использовались разные иерархии размеров. В живописи до Возрождения иерархия базировалась на относительной духовной величине, так что, например, Дева Мария значительно превосходила размерами святых, которые, в свою очередь, были больше коленопреклоненного жертвователя, который, собственно, и заказывал картину. Для Рамсея измерением всего является человечество, а не духовное, то есть буквально физическое мерило. Но это не очень помогает, если мы, даже оставив в стороне страхи и экзистенциальное головокружение, не способны уйти от мысли, что наука может измерить и сосчитать всю вселенную. Нам слишком легко убедить самих себя в том, что наука сводит наши жизни к файлам и каталожным карточкам, как какой-то тоталитарный режим, для которого собственные граждане — лишь цифры статистики, так они наиболее покорны.

Но есть и другая сторона. Полвека назад английский астроном и физик Фред Хойл (1915–2001) отметил — предположу, что с раздражением — забавный факт: “Хотя многие ученые заявляют, что сторонятся религии, она на самом деле занимает их мысли сильнее, чем это происходит у духовенства”. Конечно, боль-

шинство заметных ученых прошлого были верующими людьми. Недавний опрос показал, что сегодня около половины ученых так или иначе верят в некоего личного бога, а другой опрос сообщает, что только тридцать из ста опрошенных физиков верят в существование параллельных вселенных. “Я хотел бы знать, как Бог создал мир, — сказал однажды Эйнштейн¹. — Мне не интересен тот или иной феномен, спектр того или иного элемента. Мне интересны Его мысли. Остальное — детали”.

Даже такие убежденные материалисты, как английский физик-теоретик Стивен Хокинг (1942) и американский физик Стивен Вайнберг (1933), позволяют себе размышлять о возможной природе Бога (в которого они не верят). Хокинг утверждает, что мы можем приблизиться к пониманию Божьего разума, а Вайнберг беспристрастно констатирует, что “наука не делает невозможной веру в Бога. Она лишь допускает возможность неверия”.

Наука атеистична, лишь когда пытается объяснить Природу, не прибегая к сверхъестественному. В научном свете Природа может быть загадочной, но не может быть мистической. Ученые же, напротив, вовсе не обязательно должны быть атеистами, да и агностицизм вполне может сочетаться с духовными устремлениями. Если когда-нибудь наука объяснит все, то боги умрут.

¹ Существует множество спекуляций по поводу религиозных взглядов Эйнштейна. Кажется, он не верил в конкретного Бога, но его взгляды, возможно, лучше всего понимать, основываясь на том, что он писал. Слово “Бог” проходит пунктиром через все его труды. (Здесь и далее — прим. автора, если не указано иное.)

Но случится ли это когда-либо? Хокинг объявил, что “мы, возможно, подошли к концу своих поисков окончательных законов природы”, но еще совсем не понятно, так ли это на самом деле. В конце XIX века аналогичное заявление сделал американский физик Альберт Майкельсон (1852–1931): “Весьма похоже, что основная часть великих основополагающих принципов твердо установлена и дальнейшие успехи могут достигаться на пути последовательного применения этих принципов ко всем явлениям, попадающим в поле нашего наблюдения”. Он ошибся чуть сильнее, чем полностью. Один из наиболее плодотворных периодов за всю историю науки только начинался. Может быть, вселенная тонко подшучивает над нами, обнаруживая все больше тайн по мере постепенного раскрытия наукой одного ее секрета за другим.

Как бы то ни было, мы можем выступать с позиции агностика по отношению к самой науке впервые с тех пор, как наука приучила нас быть агностиками по отношению почти ко всему на свете. “Ваш торжествующий клич о новом открытии будет встречен всеобщим воплем ужаса”¹, — произносит Галилей в пьесе “Жизнь Галилея” немецкого драматурга Бертольда Брехта (1898–1956). “Какова цена знания?” — задаемся мы вопросом по мере того, как наука строит наш современный мир и одновременно подталкивает его к разрушению. Иногда даже сама определенность неопределенности, научно установленная, выглядит догмой. Я почему-то уверен, что эта неопределенность, ко-

¹ Пер. Л. Копелева. (Прим. перев.)

торуую ученые так настойчиво нам предлагают принять, совсем не та, что имел в виду поэт Китс, когда писал о подлинном мастере, который “предается сомнениям, неуверенности, догадкам, не гоняясь нудным образом за фактами и не придерживаясь трезвой рассудительности”¹; свойство, именуемое им негативной способностью. Подозреваю, что сходным образом меня пугает и неумный оптимизм некоторых ученых, которые видят в научном прогрессе путь к восстановлению всего разрушенного и испорченного². Где пределы неограниченного научного оптимизма и веры в неограниченный научный прогресс?

Научный метод, как капитализм, всегда находится в поисках новых территорий для эксплуатации. Как предсказывал Маркс, капитализм закончится, когда не останется рынков. Сейчас возникают самые большие рынки за всю историю цивилизации, и конца капитализму, кажется, не предвидится. Но наука обгоняет капитализм. Мы начали понимать, что, возможно, Земле осталось не так много, по крайней мере в качестве гостеприимного места проживания. Беспокоиться нечего, говорят гуру научного материализма, доверьтесь нам, мы точно знаем — ну, почти наверняка, — что, когда мы завоюем космос, мы найдем много других мест для заселения. А если вдруг нет, мы создадим новое место с нуля.

1 Пер. С. Сухарева. (*Прим. перев.*)

2 Высказывалось предположение, что мы могли бы замедлить глобальное потепление введением диоксида серы в верхние слои атмосферы или откачкой холодной воды со дна океана на поверхность.

Следует отметить, что под рассуждениями о миграции человечества нет особой почвы — такие далекие путешествия крайне умозрительны, говорить о них попросту ненаучно, учитывая пределы нашего текущего понимания законов природы. Вероятно, чем глубже мы будем познавать устройство вселенной, тем больше будет обнаруживаться причин нашему пребыванию именно здесь, у себя дома. Оставив в стороне мечты научной фантастики и научной теории (спекулятивной настолько, что она вполне способна сойти за фантастику), реалистично будет предположить, что мы вряд ли когда-либо сможем выбраться за пределы Солнечной системы, а скорее всего, и того меньше. Человечество не ступало на Луну в течение целого поколения, а мы только начали отдавать себе отчет в том, что даже такие короткие космические прыжки могут вызывать весьма ощутимые психологические травмы. Совсем не ясно, во что нам предстоит развиваться, чтобы научиться жить где-то помимо Земли, — в какую-то рукотворную постчеловеческую форму жизни? Может быть, наши организмы специально настроены на жизнь на Земле, и подобное знание могло бы подтолкнуть нас лучше заботиться о своей планете. В 2006 году Стивен Хокинг писал, что главная надежда на выживание человечества заключается в том, чтобы оставить Землю и пуститься на поиски нового дома. Может быть, не худо было бы иметь и запасной план на случай, если этот не сработает.

Мне хочется знать, что в этой вселенной меня притягивает, а что отталкивает, а также что притягивает и отталкивает в той методологии, которая эту вселен-

ную описывает. Меня привлекают в науке ее могущество, красота, тайна и призыв жить в неопределенности. Меня отталкивают, опять же, ее мощь, нигилизм и самодовольная материальная уверенность. Вероятно, эти диаметрально противоположности могли бы сойтись в какой-то точке, если бы я понял, чем же ученые занимаются, когда занимаются наукой.

В школе взаимосвязь между наукой и природой (вселенной за нашим порогом) толком никогда не выявлялась. Я даже не уверен, что когда-либо связывал то, что происходило в школьной лаборатории, с природной средой, нас окружающей. На физике мир вокруг моделировался подшипниками и электроприборами (где же их можно встретить в лесах и горах?), на химии мы изучали реакции между химикатами, практически никогда не встречающимися под открытым небом. На уроках биологии, предназначенных для изучения живого мира, чаще всего изучались специально умерщвленные существа. Наука силой принуждала упирающийся мир к подчинению. Кроме всего прочего, была еще и математика, но как она вписывалась в все это? Я слышал, будто она — царица наук, но что это означало? Каким-то образом я уяснил, что вся наука опирается на математику, но никто из математиков, считавших свою науку слишком величественной для лаборатории, не распространялся на эту тему.

Мой школьный научный опыт был достаточно травматичным, чтобы я почувствовал себя аутсайдером, но все же не настолько, чтобы полностью погасить мой интерес к предмету науки. Ощутить себя вне науки не-

сложно. Даже ученых можно извинить за такие чувства. Давно миновали те дни, когда “человек мог иметь дело с законами мироздания у себя в мастерской позади конюшни”¹. Космические обсерватории и ускорители частиц, которые стоят миллиарды долларов и строятся годами, немало сделали для расширения и демократизации науки². Математика всегда была отдельным клубом для своих, но даже этот клуб сейчас рассыпался на маленькие независимые группы. Некоторые математические доказательства требуют нескольких лет проверок, а понимают их лишь создатели доказательства да еще горстка математиков, как раз вовлеченных в процесс проверки. Если уж сами ученые могут ощущать себя невовлеченными, что говорить о нас, несчастных ошарашенных зеваках, таращащихся сквозь мутное стекло?

В школе у меня обнаружился талант к математике — либо врожденный, либо взрощенный усилиями математички мисс Черч. Вероятно, и то и другое. Мисс Черч буквально вытащила это из меня — она занималась настоящим воспитанием в противоположность тому, что ошибочно принимают за обучение и что, наоборот, загоняет информацию внутрь.

В общем, в университете у меня была математика, и мне быстро стало понятно, что я ничего в ней не добьюсь. “Нормально” в математике — это примерно

1 Роман рожденной в Германии британской писательницы Сибил Бедфорд (1911–2006) “Наследство”.

2 На самом деле можно заниматься самыми разными науками, запершись у себя в сарае, но погоня за законами вселенной все-таки слишком дорога.

то же самое, что “нормально” в гастрономии или “нормально” в исполнительском мастерстве: гигантская пропасть между любителем и профессионалом. Действительно одаренные люди начинают там, где любители выходят из игры. Хорошее блюдо может быть результатом скрупулезного следования рецепту, но где берутся новые рецепты? Хотя я и мог когда-то вывести эйнштейновские релятивистские уравнения или доказать теорему Геделя с нуля, я не понимал, что делаю, когда словно заклинания повторял пронизательные догадки о природе сущего. Несмотря на многолетнее образование, я нисколько не приблизился к пониманию того, что же делают ученые, когда занимаются наукой. Отчасти проблема заключается в том, что большинство ученых вполне счастливы делать то, что делают, не задаваясь лишними вопросами. Философские загадки их не интересуют, их ответом будет остроумное высказывание Ричарда Фейнмана (1918—1988) — “Заткнитесь и считайте!”. Ученые — прагматики¹. Если все работает, то философские размышления совершенно излишни. Американский физик-теоретик Ли Смолин (1955) пошел даже дальше, провозгласив, что “мы в науке стремимся к объективной картине мира, незагроможденной философскими или теологическими предрассудками”². Но наука не может быть отделена от философии и теологии, словно между ней и другими

1 Словно Гвендолен в “Как важно быть серьезным” (1895): “Ну, это ведь только метафизическое рассуждение, и, как прочие метафизические рассуждения, оно не имеет ровно никакой связи с реальной жизнью, такой, какой мы ее знаем”, пер. И. Кашкин.

2 *New Scientist*, 23 сентября 2006 года.

формами познания бежит отравленная река. Исторически наука произошла от философии и космологии, а то, что знает наука сейчас, — это современная история возникновения мироздания. Ровно в этой реке я и хотел бы находиться.

Я вернулся в университет за последним, как выяснилось, глотком формального образования — курсом истории и философии науки, начавшимся как докторантура, но вскоре сократившимся до одного года. Моим самым ярким воспоминанием стало замечание завкафедрой, которое я запомнил отчасти из-за того, что он сразу же от него отрекся, а отчасти потому, что у меня это связалось с моим постоянным ощущением своего маргинального положения в мире. Завкафедрой стал размышлять, каково это — учить игре на фортепиано, зная только о двух физических переменных: скорости и силе нажатия на клавиши. На секунду задумавшись, он предположил, что хватило бы одной переменной, силы, поскольку действие механизма фортепиано ограничено. Мое сердце забилося от предчувствия интересного, здесь можно было перекинуть мостик через реку. “Но мы что-то углубились в эстетику”, — заключил профессор и сменил тему разговора. В конце года я забрал диплом и не слишком умудренным попал в большой мир.

Мне повезло за последние двадцать лет встретить и опубликовать нескольких наиболее проницательных из современных авторов. Некоторые из них пишут о науке, другие — о переживаниях человеческого сердца. Так что долгое время я был счастлив тому месту между двумя мирами, которое я для себя нашел.

Как и для многих, кто пришел к писательству поздно, главным толчком для меня стал кризис¹. Независимо от природы этого кризиса результатом его стало четкое осознание: либо я продолжу и дальше искать того, кто напишет книгу, которую я хотел бы прочесть, либо я напишу ее сам. При этом в положении аутсайдера может обнаружиться даже определенное преимущество.

Способен ли дилетант разобраться в научном описании мира? Полагаю, что да. Мы не чувствуем такой отдаленности от других видов доступного человеку познания. Мы можем понимать или не понимать современное искусство, но по меньшей мере мы чувствуем свое право высказывать мнение. На новейшие научные теории уже нельзя ответить “я дома сделаю лучше”, но мы бы охотнее высказывались, скажем, по поводу Большого адронного коллайдера, если бы знали, что такое ускорители и зачем они нужны. Мы могли бы даже иметь право на мнение, если принять во внимание стоимость коллайдера и его значение для современной физики. Разумеется, подобную информацию можно отыскать в специальных журналах и в определенных разделах некоторых газет, но мой воображаемый читатель чувствует себя там тоже не слишком уютно. Этот читатель мечтает пуститься в путешествие по вселенной, но не знает, откуда начать, не говоря о том, куда этот путь приведет. У него нет даже моего скромного научного багажа, но ему, как и мне, хочется узнать, чем занима-

1 Кризис — поворотный пункт, час X. От греческого *κρίσις* — решать.

ется наука; как и мне, ему хочется узнать, что наука может рассказать об окружающем нас мире, невзирая на то что это знание способно причинить и неприятные ощущения. Ученые веками смело всматривались во вселенную, будучи вооружены лишь часами и линейкой. Поэтому, видимо, безумие часто и ассоциируется со столь бесстрашными приключениями. С этими магическими амулетами в руках и мы можем проследовать по той же дороге, не слишком осторожничая, но и не поддаваясь безумию и уверенно следуя максиме Т. С. Элиота: "Только тот, кто рискует отправиться в дальний путь, может осознать пределы своих возможностей".

26 степеней отдаления _____

*Человек есть мера всех вещей существующих,
что они существуют, и не существующих,
что они не существуют.*

ПРОТАГОР

Раз мы хотим определить наше место во вселенной, нам нужно узнать, что и где в ней имеется. Ученые измеряют предметы линейкой, вооружимся ею и мы. Посмотрим, что нам удастся обнаружить, а если от размеров вселенной у нас закружится голова — что ж, по крайней мере мы поймем, в каком месте нас начало мутить.

Мы продвигались бы чересчур медленно, если бы измеряли вселенную метрами. От такой обстоятельности можно быстро заскучать. Мы можем двигаться дальше и быстрее, если каждый шаг будет умножаться десятикратно — ученые называют это порядком. Все между метром и десятью метрами — это один порядок, и это наш первый шаг. Следующий шаг (и следующий порядок) — от 10 до 100 м и т. д. Так мы быстро отыщем те адреса, которые искали в детстве, когда и сами были не сильно выше нашей метровой линейки.

1–10 м (10^0 – 10^1 м) _____

Все люди примерно одинакового роста. Джон Китс был ростом 1,54 м, Горацио Нельсон и Мэрилин Монро —

1,65 м. Стивен Кинг имеет такой же рост, какой был у Оскара Уайльда, — 1,9 м. В XVIII и XIX веках американцы европейского происхождения были в среднем самыми высокими людьми на свете. Сейчас самыми высокими считаются жители Боснии и Герцеговины, а также Черногории, где средняя высота мужчины составляет 186 см. Следом идут голландцы — 185 см. В конце XIX века голландцы считались низкорослыми. За последние две тысячи лет самые низкорослые лондонцы жили во времена королевы Виктории, самые высокие — во времена саксов.

Гиганты и лилипуты могут достигать редких крайних значений высоты, отклоняясь до 20% от среднего. Самым высоким человеком был американец Роберт Вадлоу (1918–1940) с ростом 2,72 м.

В основном в нашей повседневной жизни мы сталкиваемся с объектами размером от 1 до 10 м, все крупные сухопутные животные не выходят за эти рамки. Взрослые жирафы обычно достигают высоты от 4,8 до 5,5 м. Самый высокий зафиксированный случай — 5,87 м.

10–100 м (10^1 – 10^2 м)

Самое длинное сухопутное животное — питон. Длиннейший экземпляр был пойман в Индонезии в 1912 году — его длина составила 10,91 м. Синий кит может достигать 30 м в длину, если доживет. На них охотятся, поэтому большинство не доживает: мировая популяция сократилась с 200 тыс. до 10 тыс. Рекорд по длине среди всех животных принадлежит немертине, *Lineus Longissimus*. Образчик, обнаруженный на побережье Шотландии, имел длину 55 м.

Сухопутные животные в прошлом были крупнее. До недавнего времени считалось, что самый крупный хищный динозавр — это *Tyrannosaurus rex*. Экземпляр по кличке Сью (или, более формально, *FMNH PR2081*) — крупнейший образчик *T. rex*, обнаруженный на сегодняшний день. Это была самка 12,8 м длиной, весила она, вероятно, 6 или 7 тонн¹, а жила, как полагают, 67 млн лет назад. Окаменелые останки *Giganotosaurus*, другого представителя хищных динозавров, были найдены в Аргентине в 1993 году, этот чемпион достигал 13,2 м в длину. Некоторые считают, что самым большим был *Spinosaurus* — от 16 до 18 м, но единственный образчик, найденный в Египте в 1910 году, был уничтожен во время Второй мировой войны, и с тех пор находок не было, кроме одинокого черепа.

Сколько бы у нас ни было окаменелостей, это лишь несколько видов динозавров из всего многообразия видов. И они все состоят из небольшого количества костей. Имеется скелет *Brachiosaurus brancai* (он же *Giraffatitan*), необыкновенно целый, но составленный из кусочков разного происхождения. Он насчитывает 12 м в высоту, 22,5 м в длину, а само животное предположительно весило около 60 тонн и проживало в конце юрского периода, около 140 млн лет назад. С 1970-х годов были найдены и другие, более крупные травоядные динозавры, но их размеры базируются на неполных, иногда очень неполных скелетах. Самым длинным и крупным динозавром был, по всей видимо-

1 Тонна — мера веса, соответствующая 1000 кг и почти не отличающаяся от имперской (британской) тонны.

сти, *Amphicoelias fragillimus* — 58 м, 122 метрических тонны, но, поскольку он был восстановлен по рисунку единственного позвонка (настоящая кость была утеряна), его размеры носят несколько спекулятивный характер.

Колонна Нельсона (включая 5,5-метровую статую Нельсона) имеет 51,659 м в высоту (169 футов и 53/4 дюйма). До 2006 года считалось, что ее высота составляет 185 футов. Никому не приходило в голову измерить.

100–1000 м (10^2 – 10^3 м) _____

С трудом дотягивается до этого диапазона красное дерево — самое высокое растение, высотой 112,51 м, обнаруженное в 2006 году. Некоторые ротанговые пальмы (род *Daemonorops*) растут как вьющиеся растения и могут достигать в длину более 200 м.

Дети любят забираться повыше и обозревать окрестности. У взрослых тоже сохраняется эта тяга. Люди всегда строили здания, высота которых ограничивалась только возможностями строителей (и законами физики). Примерно в 2600 году до н. э. розовая пирамида Снофру (Египет) была самой высокой рукотворной постройкой в мире. Другая египетская пирамида, Великая пирамида в Гизе, построенная около 2570 года до н. э., насчитывает 146 м (481 фут) в высоту и оставалась самой высокой существующей постройкой в мире, пока в 1311 году не был закончен Линкольнский собор, который возвышается на 160 м (525 футов). Несколько веков соборы соревновались друг с другом за

пальму первенства. Кельнский собор (строился с 1248 по 1880 год) был самым высоким зданием в мире между 1880 и 1884 годами. Следующие пять лет первенство держал мемориал Вашингтона со своими 169 м (555 футов), пока в 1889 не была закончена Эйфелева башня, высота которой составила 300,65 м или 312,27 м вместе с флагштоком.

На короткий промежуток времени небоскреб по адресу Уолл-стрит, 40 стал высочайшим зданием — 282,5 м (927 футов). Его построили за 11 месяцев, но еще до конца стройки вперед вырвался небоскреб “Крайслер”. Втайне достроенный шпиль прибавил “Крайслеру” высоты, которая составила 319 м (1047 футов). Уолтер Крайслер владел самым высоким зданием в мире не больше года. Титул перешел к Эмпайр Стейт Билдинг в 1931 году — 381 м (1250 футов).

Сегодня самой высокой башней в мире является “Бурдж Дубай” в Дубае. В сентябре 2007 она достигла отметки 555,3 м, превысив высоту Си-Эн-Тауэр в Торонто на два метра. Башня была закончена в 2010 году, ее высота составила 828 м.

1–10 км (10^3 – 10^4 м)

На местности средней холмистости горизонт находится на расстоянии нескольких километров¹. Горизонт ус-

¹ Должно быть, на востоке штата Кентукки расстояние до горизонта называют “видимостью” как раз из-за того, насколько может видеть глаз.

танавливает предел возможностям невооруженного глаза, так же как длина руки или шага определяет пределы перемещения нашего тела в пространстве.

Если смотреть вдаль на равнине или в море, при среднем росте смотрящего максимальная удаленность горизонта составит около 5 км (примерно 3 мили) — следствие размеров нашей сферической планеты. Мы видим гораздо дальше, если впереди видны горы. Самая высокая гора в мире — Эверест, 8850 м.

Самая глубокая шахта, золотая шахта Тау-Тона (что означает “Большой лев”), находится в Южной Африке — ее глубина 3,6 км.

Толщина земной коры под океанским дном составляет от 5 до 7 км.

10–100 км (10^4 – 10^5 м)

Хотя самое высокое здание на свете не выше одного километра, теоретически из современных материалов можно выстроить башню высотой 18 км.

Самая глубокая точка Тихого океана находится на отметке 11 034 м ниже уровня моря.

Многие дети принимаются рыть ямки в надежде докопаться до другого конца Земли. Глубочайшая яма, вырытая когда-либо человеком, была глубиной 12 262 м. Этот проект начался 24 мая 1970 года на Кольском полуострове (Россия), недалеко от норвежской границы. Самая глубокая скважина была вырыта в 1989 году. Бурение остановили в 1992 году, когда стало ясно, что при

температуре под 3000 °C невозможно остановить плавление самого бура.

Толщина земной коры под континентами составляет в среднем 34 км, а максимальные значения достигают 80—90 км.

Самые высокие облака имеют сине-серебристый цвет и обычно образуются в летние месяцы на высоте около 80 тыс. м над полюсами, хотя в последние годы их число выросло и их наблюдали даже в штате Юта.

В США астронавтом называют любого, кто поднимался на высоту более 80,5 км над поверхностью Земли.

У земной атмосферы нет четкой границы, она просто бесконечно утоньшается. Тем не менее 3/4 атмосферной массы содержатся ниже отметки 11 км от поверхности Земли. В практических целях границей атмосферы считается линия Кармана, названная в честь американского инженера венгерского происхождения Теодора фон Кармана (1881—1963), который обнаружил, что на стокилометровой отметке с трудом достигается подъемный эффект крыла.

Когда Земля проходит сквозь облако пыли и мелких обломков — обычно такой мусор остается после комет, — эти частицы разного размера попадают в верхние слои атмосферы. Трение, возникающее в процессе столкновения, мы наблюдаем в виде падающих звезд. Персеиды, или метеоритный дождь, называемый также “слезами св. Лоуренса”, последние 2 тыс. лет каждый август наблюдается в северном полушарии. Каждый год сотни тонн мелких пылевых частиц просто оседают на поверхность Земли из открытого космоса. Более круп-

ные куски материи, достигающие поверхности планеты, называются метеоритами.

100–1000 км (10^5 – 10^6 м)

Военные спутники обращаются вокруг Земли на расстоянии 500 км и могут разглядеть на поверхности объекты длиной в 20 см.

В 1990 году был запущен телескоп “Хаббл”. Он располагается над атмосферой Земли, на высоте 600 км. Информация, собранная этим телескопом за ночь, удваивает число известных звезд в нашей галактике — Млечном пути.

Некоторые спутники взрывают, когда у них заканчивается ресурс. 11 января 2007 года Китай взорвал свой погодный спутник *Fengyun 1C*, который разлетелся на 2400 кусочков чуть больше апельсина каждый. Пройдет несколько веков, прежде чем все эти кусочки упадут на Землю. А некоторым спутникам пришлось в итоге поменять орбиты. Было подсчитано, что на высоте менее 1 тыс. км вокруг Земли вращается около 18 500 объектов космического мусора более 10 см шириной каждый и около 600 тыс. объектов более 1 см шириной каждый.

Всего вокруг Земли на высоте между 160 и 2000 км от поверхности планеты вращаются 417 спутников, высота их орбит попадает в текущий диапазон и наползает на следующий. Спутники на этих орбитах называются *LEO*-спутниками (низкоорбитальные спутники). Международная космическая станция (МКС) также является *LEO*. Ее орбита располагается в коридоре между

319,6 и 346,9 км над Землей, она совершает 15,77 оборотов за сутки. Ее можно наблюдать с Земли невооруженным глазом. В 1948 году Фред Хойл предсказывал, что первая фотография Земли из открытого космоса произведет мощный эффект, станет толчком “к новой идеологии, самой влиятельной за всю историю”. Первое изображение было получено в декабре 1968 года с “Аполлона-8”, который находился на орбите 181,5–191,3 км. Эта фотография, названная “Восход Земли”, действительно оказала серьезное воздействие на философию энвайронментализма — движения, зародившегося в 1970-х. Теле трансляция с “Аполлона” с командой, читающей Книгу Бытия в сочельник 1968 года, привлекла самое большое на тот момент количество зрителей в истории.

1 тыс. — 10 тыс. км (10^6 – 10^7 м) _____

47 искусственных спутников вращаются на орбитах между 2 тыс. и 35 800 км от поверхности планеты, попадая тем самым в оба диапазона — в этот и в следующий. Они называются спутниками средних околоземных орбит. Самый известный из таких спутников — вероятно, первый коммуникационный спутник “Телстар”, запущенный в 1962 году. Сначала он должен был передать приветствие президента Кеннеди, но тот не успел подготовиться, так что пришлось передавать часть игры высшей бейсбольной лиги между “Филадельфия Филлиз” и “Чикаго Кабс”. “Телстар” прекратил вещание в 1963 году, но до сих пор находится на орбите.

Длина Великой китайской стены — около 4 тыс. км. Расстояние до центра Земли — 6370 км. Самая длинная река на свете — Нил, протянувшийся на 6695 км.

10 тыс. — 100 тыс. км (10^7 – 10^8 м) _____

Ее одно следствие проживания на планете нашего размера: мы никогда не сможем оказаться дальше чем на 19 тыс. км от дома. Если, конечно, не будем ходить кругами или возвращаться длинной дорогой.

Так называемая Голубая жемчужина — фотография Земли, сделанная с высоты 28 тыс. км с “Аполлона-17” в 1972 году, — еще одно изображение, сильно подтолкнувшее энвайронменталистов.

Сегодня на отметке 35 786 км и выше вращается 351 искусственный спутник. Это спутники высоких околоземных орбит.

100 тыс. — 1 млн км (10^8 – 10^9 м) _____

Vela 1A — пример спутника высокой околоземной орбиты. Его запустили в 1963 году, через три дня после подписания договора о запрещении ядерных испытаний, и он был предназначен для обнаружения ядерных взрывов из космоса. Он вращается на орбите чуть больше 100 тыс. км над поверхностью Земли.

Нам остается только покинуть Землю, оставив позади привычные небольшие (в масштабах вселенной)

размеры земных объектов. Пришло время выйти за пределы атмосферы, дальше искусственных спутников, и поискать ближайший крупный объект.

Луна, естественный спутник Земли, находится на среднем расстоянии в 384 399 км от нас, то есть около четверти миллиона миль. Самая удаленная от Земли точка ее орбиты — 405 696 км, самая близкая — 363 104 км. Луна освещается Солнцем, как и все в Солнечной системе, поскольку Солнце — звезда, а собственным светом светят только звезды. Луна — второй по яркости объект после Солнца, но то, что мы видим и называем лунным светом, на самом деле лишь отраженный свет Солнца. Луна — самый яркий объект ночного неба, но даже во время полнолуния ее свет уступает по интенсивности солнечному в 500 тыс. раз: он такой слабый, что мы не можем различать цвета. В ясную ночь, когда Луна висит в небе серпом, можно наблюдать солнечный свет, отражаемый обратно к Луне. В такие ночи помимо яркого серпа видны темные очертания всей остальной Луны. Яркий серп — это часть Луны, освещенная Солнцем, а темный контур — Луна, освещенная отраженным светом с Земли. Леонардо да Винчи (1452–1519) первым объяснил это природное явление правильным образом.

1 млн — 10 млн км (10^9 – 10^{10} м) _____

Межзвездное пространство не зря называется именно так. Нужно очень постараться, чтобы встретить в этой зоне что-либо, кроме случайного метеорита или редкого пролетающего астероида. Пространство,

однако, вовсе не пустует — излучение и отдельные атомы есть везде.

10 млн — 100 млн км (10^{10} – 10^{11} м) _____

Солнце освещает планеты Солнечной системы. Ближайший яркий объект на небе после Луны — Венера, чья видимая яркость довольно низка для ее размера и удаленности от Земли. В ближайшей точке Венера находится в 40 млн км от нас.

100 млн — 1000 млн км (10^{11} – 10^{12} м) _____

В среднем Солнце находится на расстоянии 150 млн км от нас. Среднее расстояние между Солнцем и Землей называется астрономической единицей (а. е.) — это удобная единица измерения, которую астрономы используют для обозначения расстояний внутри Солнечной системы и ее окрестностей. 99,9% материи всей Солнечной системы — это Солнце, поэтому гравитационное воздействие планет на Солнце ничтожно по сравнению с воздействием Солнца на них. Мы обычно говорим, что планеты вращаются вокруг Солнца, но лучше говорить аккуратнее — что они кружат вокруг общего центра масс. Учитывая превосходящую массу Солнца, этот центр масс располагается очень близко к центру самого Солнца.

Хотя мы почти не обратили внимания на Венеру на предыдущем шаге, ее орбита простирается в преде-

лах настоящего диапазона. В среднем орбита Венеры слегка заходит за отметку 100 млн км от нас. Марс и Меркурий сходным образом колеблются между предыдущим и настоящим диапазонами — это зависит от того, с какой стороны Солнца они оказываются по отношению к Земле.

И здесь нам следует притормозить и задуматься — разумно ли вообще отсчитывать дистанцию до столь далеких от Земли объектов? Солнце заявляет себя центром Солнечной системы по той простой причине, что оно сконцентрировало в себе практически всю ее массу (хотя в целом оно весьма неплотно — средняя плотность составляет примерно 1,5 от плотности воды, что означает очень большой его радиус, около 1,4 млн км в поперечнике). Мы можем продолжать измерять расстояния от Земли, но некоторая искусственность такого подхода будет становиться все более заметной. Вселенная проявляет себя как пространство, где материя находится в движении, и, если мы посмотрим на материю и на то, как она движется, мы заметим, что движение планет соотносится с Солнцем (а вовсе не с Землей). Меркурий находится на ближайшей к Солнцу орбите, следом идет Венера, третья планета — Земля, затем — Марс. Вместе они составляют земную группу планет.

Пояс астероидов — это полоса каменистого мусора, оставшегося со времен возникновения планет. Он отделяет планеты с видимой поверхностью от газообразных планет и охватывает пространство, располагающееся в диапазоне от 270 до 675 млн км от Солнца (или от 1,8 до 4,5 а. е.). Астероиды разнятся в размерах — от

пылинки до карликовой планеты Цереры (950 км в диаметре). Там есть еще три крупных осколка, примерно 400 км в диаметре каждый, вместе они составляют основную массу пояса. Слоановский цифровой обзор неба (*SDSS*), который начал учет небесных объектов в 2000 году, пока что зафиксировал 600 тыс. астероидов в поясе. Предполагается, что к 2017 году *SDSS* сфотографирует уже миллион астероидов.

Орбита некоторых астероидов иногда пересекается с земной, порой в одной точке одновременно оказываются и сами небесные тела. В среднем, столкновения с астероидами 5 км в поперечнике происходит каждые 10 млн лет, с астероидами 1 км в поперечнике — каждый миллион лет, а с 50-метровыми — каждые 1 тыс. лет. Каждый год в верхних слоях атмосферы взрывается астероид 5–10 м в поперечнике, взрыв достигает мощности атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму. Астероид размером в 50 м (может быть больше) взорвался над рекой Тунгуской в Сибири в 1908 году и уничтожил при падении 2 тыс. кв. км леса. Астероид 1940DA, трехсотметровый астероид 4581 Асклепий, миновал Землю на расстоянии 700 тыс. км 23 марта 1989 года — он прошел ровно там, где Земля находилась шестью часами ранее. Если бы столкновение произошло, взрыв соответствовал бы мощности хиросимской атомной бомбы, взрывающейся каждую секунду на протяжении 50 дней. Такие близкие прохождения часто становятся известны только задним числом.

В настоящий момент зафиксировано 800 так называемых потенциально опасных астероидов. Полагают, что есть еще около 200. По специальному мандату Кон-

гресса США НАСА каталогизирует все околоземные объекты (то есть все, что пересекает земную орбиту, и не только астероиды) более 1 км в поперечнике. Астероид 1940DA, 1 км в поперечнике, может столкнуться с Землей 16 марта 2880 года.

Первая (и самая крупная) газообразная планета, которая нам встречается, — Юпитер. Его масса в два раза превышает остальные планеты вместе взятые. Среднее расстояние его от Солнца составляет чуть больше 778 млн км (около 5 а. е.). Юпитер видится нам четвертым по яркости объектом на небе после Солнца, Луны и Венеры.

1 млрд — 10 млрд км (10^{12} – 10^{13} м) _____

Сатурн — шестая планета, если считать от Солнца, и вторая по величине после Юпитера. В среднем он находится на расстоянии чуть большем, чем 1,4 млрд¹ км от Солнца. Мы так далеко углубились в космос, что наши измерения все равно попадают в один диапазон — меряем ли мы от Солнца или от Земли. Расстояние от Сатурна до Земли составляет в среднем немного меньше чем 1,4 млрд км.

1 *Миллиард* — это тысяча миллионов. Астрономы привыкли выделять большое из очень большого, и в этом случае отлично помогает изменение единицы измерения. В повседневной жизни мы часто используем “миллион” вместо “много” или “один на миллион” вместо “редко”. Ученые, особенно космологи, делают тоже самое с “миллиардом” — они очень часто говорят “миллиард” вместо “много”, когда пытаются получить более точную информацию. Вы будете удивлены, если узнаете, как часто ответом на вопрос является “миллиард”.

Уран — седьмая планета, она находится на расстоянии 2,8 млрд км от нас. Это третья планета по размерам и четвертая по массе. Ее открыли достаточно недавно — 13 марта 1781 года английский астроном Уильям Гершель обнаружил, что объект, считавшийся до того звездой, явно имеет совсем другие свойства. Сперва он принял Уран за комету, но в 1783 году стало ясно, что открыта новая планета. Это открытие впервые в новой истории расширило пределы Солнечной системы, а Хершель получил за него пожизненную пенсию в 200 фунтов годовых от короля Георга III.

Нептун — восьмая планета по удаленности от Солнца, четвертая по размерам и третья по массе. Он находится на расстоянии примерно в 4,5 млрд км от Солнца.

Мы видим благодаря тому, что предметы отражают солнечный свет, но мы можем также “увидеть” гравитационное воздействие одного тела на другое. В самом начале XIX века было замечено, что орбита Урана испытывает искажение, как будто на нее воздействовало какое-то массивное, но невидимое тело. Это наблюдение и привело к открытию Нептуна. Наука часто действует таким методом: предсказание о существовании какого-то объекта направляет ученых на его поиски. Если предсказание справедливо, значит, ученые имеют хорошие шансы вытащить этот объект на свет и как следует его рассмотреть.

Поскольку свет и тяготение являются нашими главными методами наблюдения за тем, что есть в космосе, это наводит на мысль о возможной связи между ними.

Что это за связь — на данный вопрос отвечают история современной физики и наша книга.

Уран и Нептун отличаются от прочих газовых планет большим количеством льда, потому что там холоднее, отсюда их название — ледяные гиганты.

Все объекты Солнечной системы, расположенные за орбитой Нептуна, называются транснептуновыми. Плутон, некогда считавшийся самой маленькой планетой Солнечной системы, теперь перешел в разряд транснептуновых объектов вместе с Хароном, который числился луной Плутона, пока тот был планетой. Открытый в 1930 году Плутон перестал быть планетой в августе 2006-го, когда его понизили в статусе до карлика¹ и присвоили номер 134340. Это было похоже на астрономический эквивалент отправки нерадивого ученика на последнюю парту. Когда писалась эта глава, статья о Плуtone на “Википедии” была закрыта из-за вандализма. По всей видимости, предпринимались попытки восстановления его планетарного статуса. Статус Плутона был подорван обнаружением Эриды — транснептунового объекта размером больше Плутона.

¹ Планеты — это такие астрономические тела в Солнечной системе, которые вращаются вокруг Солнца и обладают достаточной массой, чтобы стать более или менее круглыми под действием собственной гравитации. Наша Луна была бы планетой, если бы не находилась под гравитационным воздействием Земли. Карликовая планета достаточно массивна, чтобы иметь гравитационное поле, но все же не настолько, чтобы очистить пространство вокруг от небольших тел, которые меньше, чем планеты, и поэтому называются малыми телами Солнечной системы.

Многие транснептуновые объекты располагаются в зоне пояса Койпера, который простирается от Нептуна на расстояние примерно 7,5 млрд км (50 а. е.). В поясе Койпера находится около 35 тыс. малых тел Солнечной системы более 100 км в поперечнике. Все кометы с короткими орбитами живут здесь же, хотя с учетом их расстояния от Солнца слово “короткий” очень относительно. Например, есть комета Галлея, которая возвращается каждые 75 или 76 лет. Кометы состоят из льда и пыли. Некоторые, как и комета Галлея, обладают вытянутыми орбитами, которые приводят их близко к Солнцу. В такие моменты, вырываясь из холодных глубин Солнечной системы, кометы подставляют свой ледяной панцирь под солнечный жар, и лед плавится. Мы с Земли видим это, называя увиденное хвостом, но на самом деле это пар, образующийся перед кометой в результате воздействия частиц, испускаемых Солнцем (так называемый солнечный ветер).

Считается, что обитатели пояса Койпера остались неизменными с самых первых дней возникновения Солнечной системы, что делает эти кометы ценнейшими объектами для исследования. *Wild 2* — комета, которую недавно исследовали аппараты НАСА, — первоначально принадлежала поясу Койпера, но потом, во времена, когда Солнечная система была моложе и подвижнее, передвинулась на более близкую к Солнцу орбиту под воздействием какого-то большого небесного тела. Это сделало ее особенно интересным объектом для исследования, поскольку до нее теперь проще добраться. Состав кометы должен сообщить

нам много интересного о раннем периоде существования Солнечной системы.

10 млрд — 100 млрд км (10^{13} – 10^{14} ме) _____

Стоит выбраться за границы пояса Койпера, как начинается зона практически полной пустоты. В три раза дальше Плутона мы наткнемся на крохотную Седну ($2/3$ размера Плутона), впервые обнаруженную в ноябре 2003 года; она происходит либо из пояса Койпера, либо, учитывая ее эллиптическую орбиту, из облака Оорта (до него мы пока не добрались). Седна располагается в 13,5 млрд км от Солнца и является самым далеким наблюдаемым объектом в Солнечной системе. Неудивительно, что она же и самый холодный объект, температура там близка к -2400 °С. Седна, названная так в честь эскимосской богини моря, живущей в самой глубокой части Атлантики, всего через 72 года достигнет ближайшей к Земле точки своей орбиты протяженностью в 11 487 лет.

Солнечный ветер выталкивает межзвездный газ (водород и гелий, оставшиеся с самого зарождения вселенной), создавая огромный пузырь с радиусом большим, чем расстояние до Седны. Иногда по границам этого пузыря определяют пределы Солнечной системы. Его внешняя граница, проходящая там, где ветер недостаточно силен, чтобы вытолкнуть газ, окружена турбулентностью и называется гелиопаузой (в честь Гелия, греческого бога Солнца).

Самый далекий от нас и самый быстрый рукотворный объект во вселенной приближается к этой зоне

турбулентности. “Вояджер-1” начал свой путь за пределы Солнечной системы в 2004 году. Он чуть дальше Седны, в 14,4 млрд км от Солнца, хотя это “чуть” весьма относительно. “Вояджер-1” сейчас отстоит от Седны на шестикратную дистанцию между Солнцем и Землей. Он покинул Землю в 1977 году, чтобы отправиться к Юпитеру и Сатурну.

100 млрд — 1000 млрд км (10^{14} – 10^{15} м) _____

Мы пересекаем еще более далекое царство пустоты. Или оно только кажется таковым, потому что мы не можем там ничего разглядеть. Солнце — единственный фонарь в Солнечной системе, поэтому мы видим только то, что попало в круг его света. Чтобы найти другие источники света, нам нужно идти дальше по улице, к другим звездам. Солнце — имя нашей звезды, но это лишь одна из многочисленных звезд, светящихся тел вселенной.

Мы различаем другие солнца (и скопления солнц, называемые галактиками) лучше, чем видим границы собственной Солнечной системы. В определенном смысле мы меньше знаем о Солнечной системе, особенно о ее самых отдаленных уголках, чем о вселенной в целом. Одной из проблем является свет — как освещать эти зоны Солнечной системы, если единственный источник света — Солнце? А на таком расстоянии его свет слабеет. Там может быть много объектов, даже довольно крупных, которые мы просто не можем увидеть, поскольку они не отражают достаточно солнечного света, чтобы быть видимыми, и нахо-

дятся слишком далеко, чтобы проявиться гравитационно.

Высказывалось предположение, что сильная вытянутость орбиты Седны доказывает наличие темного двойника Солнца. Дело в том, что при образовании звезд наблюдается тенденция к парному образованию — или группами по три. В этом смысле одинокое Солнце было бы достаточно необычным явлением (хотя и не уникальным). Но если Солнце в действительности образует двойную систему, как нам объяснить тот факт, что мы ни разу не видели звезду-напарника? Предполагалось, что мы на самом деле наблюдали ее воздействие — некоторые далекие планеты смещались на более близкие орбиты. Но это небольшое гравитационное воздействие нельзя признать достаточным для того, чтобы предположение перешло в ранг теории.

1 тыс. — 10 тыс. млрд км (10^{15} – 10^{16} м) _____

На самой периферии Солнечной системы, на расстоянии, в 50 тыс. раз превосходящем дистанцию от Земли до Солнца, и в тысячу раз дальше, чем самые далекие планеты, на границе солнечного тяготения располагается облако Оорта — или по меньшей мере такова рабочая гипотеза. Прямых доказательств его существования не обнаружено, но в 1950 году голландский астроном Ян Оорт обнаружил, что ни одна комета не появляется из межзвездного пространства, или, иными словами, нет комет, чьи орбиты были бы шире, чем зона солнечной гравитации.

Облако Оорта считается местом обитания комет с длинными орбитами. Их там, вероятно, более миллиарда или даже триллиона (тысячи миллиардов). Предположительно, этот район назван облаком из-за обилия комет. Но кометы так далеки друг от друга и так рассеяны, что слово “облако” скорее сбивает с толку. Любопытно, что облако Оорта населяют объекты, которые раньше были ближе к Солнцу, чем кометы пояса Койпера (расположенного ближе к центру системы). Облако Оорта содержит легкие (и невидимые нам) тела, которые были вытянуты массивными газовыми планетами на более далекие орбиты. Ослабевающее гравитационное поле Солнца и планет еле-еле удерживает их на этих огромных расстояниях. За последние 300 лет было зафиксировано 300 таких длинноорбитных комет.

Как и объекты пояса Койпера, тела, составляющие облако Оорта, не менялись с момента возникновения Солнечной системы.

Есть вероятность, что в этой зоне вокруг Солнца кружит его невидимый двойник. Это темное солнце не обладает достаточной плотностью, чтобы самому испускать свет. Так сложилось, что гравитационная граница Солнечной системы чуть-чуть недотягивает до отметки в 1 световой год. 1016 м — это очень близко к световому году, то есть расстоянию, преодолеваемому светом за год. При текущей скорости 0,006% от скорости света “Вояджер-1” пересечет эту границу примерно через тысячу лет.

Если бы Солнце было единственным массивным телом во вселенной, мы наблюдали бы, как его притяжение распространяется бесконечно, постоянно убывая. На практике на этих расстояниях и по мере того,

как мы входим в зону воздействия других массивных тел, сила притяжения Солнца сходит на нет. Световой год — это привычная единица измерения пространства, хотя по звучанию она напоминает единицу времени. Романтичность такого названия намекает на связь пространства и времени, природа которой нам станет яснее в дальнейшем. Когда мы бросаем взгляд в сторону гравитационного края Солнечной системы (которого мы как раз видеть не можем), мы смотрим на целый год назад.

1–10 световых лет, или 10 тыс. — 100 тыс. млрд км
(10^{16} – 10^{17} м) _____

Ближайший космический объект, который нам встречается, — это соседняя звезда Проксима Центавра, она находится примерно в четырех световых годах от нас. Невооруженным глазом с Земли ее увидеть невозможно. Как и большинство тусклых звезд с массой менее половины Солнца, Проксима Центавра входит в категорию называемых красными карликами. Впервые ее наблюдали с Земли в 1915 году. Немного дальше, на отметке в 4,37 светового года, находятся Альфа Центавра А и В: А немного больше и ярче Солнца, а В, наоборот, меньше и тусклее. Они видны с Земли как одна звезда, но даже с помощью простейшего телескопа становится ясно, что там две звезды. Их двойная структура известна человечеству более 200 лет. Сейчас предполагается, что Проксима Центавра вместе с ними образует тройную звездную систему. Далее

следуют: звезда Барнарда (5,96 светового года), Вольф 359 (7,78 светового года), Лаланд 211 85 (8,29 светового года), Сириус *A* и *B* (8,58 светового года), Лейтен 726—8 *A* и *B* (8,78 светового года) и Росс 154 (9,64 светового года).

Среднее расстояние между звездами в нашей галактике составляет 3,3 световых года — немногим меньше, чем дистанция между нашим Солнцем и Проксимой Центавра.

10–100 световых лет (10^{17} – 10^{18} м) _____

Следующие по дальности звездные системы располагаются на отметках 10,32, 10,52, 10,74, 10,92, 11,27, 11,40 светового года и так далее. В гигантской пространственной сфере радиусом 16,31 светового года, окружающей Солнце, на сегодняшний день насчитывается 50 звездных систем. Этот список не окончателен — без сомнения, в ближних окрестностях есть еще не обнаруженные звезды. Исследовательская программа по каталогизации всех близлежащих звездных систем насчитывает 2029 систем в сфере радиусом 32,6 светового года. Эти звезды находятся на самых разных стадиях жизненного цикла. Звезда с массой около 0,5 массы Солнца к концу активного цикла многократно увеличивается. Ее внешние слои рассеиваются, звезда выглядит невероятно огромной. В этой фазе она называется красным гигантом. С нашим собственным солнцем такого не случится еще 5 млрд лет. Арктур — красный гигант на расстоянии 36,7 светового года от

нас. Хотя его масса и не превышает полуторной массы Солнца, мощь его излучения превосходит солнечное в 180 раз, что для нас делает Арктур третьей по яркости звездой на небосводе.

51 Пегаса — звезда на расстоянии 50,1 светового года от нас. Это первая зафиксированная в истории человечества солнечная система, отличная от нашей. 51 Пегаса сходна с Солнцем (хотя и немного старше), вокруг нее вращается как минимум одна планета. После открытия этой планеты в 1995 году было открыто около 300 так называемых экзопланет. Теперь считается, что каждая четырнадцатая звезда является центром собственной солнечной системы. Ипсилон Андромеды — тройная звезда, расположенная на расстоянии 44 световых лет от нас, вокруг ее главной звезды обращается несколько планет.

Другой красный гигант — Альдебаран (также известный как Альфа Тельца) — в 65 световых годах от нас. Его диаметр в 38 раз превышает солнечный, и он в 150 раз ярче. Альдебаран виден с Земли как четырнадцатая по яркости звезда на небосклоне. Акрукс (самая яркая звезда созвездия Южный Крест) — красный гигант в 88 световых годах от Солнца.

Чтобы добраться до этих огромных небесных тел, нам следовало бы отправиться в самых разных направлениях. Мы различаем возможные путешествия между собой, соотнося их с созвездиями на ночном небе Земли. Созвездия — это произвольно выбранные наборы звезд, которые получали разные имена в разных культурах в разное время истории. К примеру, когда мы сегодня говорим, что 51 Пегаса находится в созвездии

Пегаса, мы имеем в виду, что могли бы добраться до этой звезды, если бы отправились в направлении ку-сочка неба, где когда-то наши предки различили очертания крылатого коня. Альдебаран находится в созвездии Тельца, что подразумевает его расположение примерно в том направлении, где древние увидели на небе быка. Созвездия — это компасы, и, как всякий компас, они нам ничего не говорят о дистанции до объекта, на который указывают. Сами созвездия состоят из нескольких ярких объектов, которые могут находиться на весьма и весьма различных расстояниях. Эти странные компасы сами состоят из тех объектов, на которые указывают. Странно и то, что они постоянно изменяются: ведь в течение больших периодов времени (бóльших, нежели насчитывает история человечества) картина звездного неба менялась. С нашей, человеческой точки зрения, звезды неподвижны, но в действительности они движутся, а нам кажутся неподвижными лишь из-за того, что находятся так далеко. Мы движемся в разных ритмах.

100–1000 световых лет (10^{18} – 10^{19} м) _____

Бетельгейзе — красный гигант с необычным именем. Эта звезда находится на расстоянии 427 световых лет от нас и имеет диаметр, равный четырехкратному расстоянию от Земли до Солнца (4 а. е.). “Бетельгейзе” происходит из арабского языка, но от какого именно слова — не до конца ясно. Может быть, от слова, обозначающего черную овцу с белым пятном посередине

может быть, от слова *yad al-jawz* — “рука центрального” (близнеца), что было записано на латыни как *Bedalgueze*. В эпоху Возрождения считалось, что это слово происходит от *bait al-jawza* — “подмышка центрального”, что транскрибировалось на латыни как *Betelegeuse*.

Постепенно материя вокруг ядра звезды рассеется, и, возможно, ядро взорвется, превратившись в сверхновую. На этот счет нет единого мнения, но, если Бетельгейзе станет сверхновой, в течение нескольких месяцев звезда будет сиять так ярко, как Луна. Некоторые ученые полагают, что это уже случилось, просто мы еще не успели об этом узнать. Свет от взорвавшейся звезды будет идти до нас 427 лет.

1 тыс. — 10 тыс. световых лет (10^{19} – 10^{20} м) _____

Туманность Ориона, или M42, — разреженное облако пыли и газа в 1500 световых годах от Солнца, тысячи звезд сформировались там из остатков взрыва, когда звезды предыдущего поколения превратились в сверхновые. Туманность насчитывает 30 световых лет в поперечнике и является ближайшей к нашей галактике звездобразующей формацией.

“M42” означает “объект Мессье № 42”. Шарль Мессье — французский астроном XIX века, который занимался описанием и каталогизацией звездного неба. Его каталог, где небесным телам присвоены метки от M1 до M103, с семью позднейшими дополнениями используют по сей день.

Большие супергиганты называются гипергигантами. Звезда VY Большого Пса — это гипергигант в 5 тыс. световых лет от нас. Она в два раза больше Бетельгейзе (и в 1800–2100 раз больше Солнца), что делает ее самой большой (хотя и не самой массивной) из известных нам звезд.

Крабовидная туманность находится на расстоянии 6300 световых лет от нас. В отличие от туманности Ориона, это облако образовалось в результате взрыва одной-единственной звезды. В 1054 году ее впервые наблюдали китайские и арабские астрономы, она была самым ярким объектом на звездном небе. В момент взрыва сверхновая превосходит по яркости свою галактику в течение нескольких недель и излучает больше энергии, чем Солнце сможет выбросить за всю свою жизнь, то есть за 10 млрд лет. Сегодня мы наблюдаем эту сверхновую как облако 6 световых лет в поперечнике, названное Крабовидной туманностью третьим графом Россом, Уильямом Парсонсом. В 1844 году он зарисовал свои наблюдения, полученные с помощью телескопа, и набросок получился похожим на краба. В 1848 году он опять наблюдал туманность, уже в больший телескоп, и понял, что сходство не так велико, но название прижилось. В 1968 году в центре туманности была обнаружена нейтронная звезда — оставшийся после взрыва сверхновой крайне плотный сгусток материи всего 30 км в поперечнике. Нейтронная звезда в основном состоит из плотно упакованных нейтронов — элементарных частиц, входящих в атомные ядра. Кусочек такого вещества размером с кубик сахара весит 100 млн тонн. Эта нейтронная звезда делает 30 оборотов в секунду вокруг своей

оси и излучает радиацию во всех частях спектра — от радиоволн до гамма-излучения. Вращающаяся нейтронная звезда называется пульсаром, и нейтронная звезда Крабовидной туманности стала первым наблюдаемым пульсаром в истории. Пульсары обладают самым сильным магнитным полем во вселенной, примерно в 100 млрд раз сильнее, чем поле Земли.

Туманность Бумеранг — самая необычная туманность, обнаруженная до сих пор. Она располагается в 5 тыс. световых лет от нас и является одним из самых холодных мест во вселенной, ее температура $-272\text{ }^{\circ}\text{C}$, всего на один градус теплее, чем самая низкая возможная температура. Температура является мерой движения молекул, так что она тем ниже, чем меньше двигаются молекулы. При абсолютном нуле ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$), который является абстрактной, в реальности недостижимой величиной, молекулы вообще не двигаются. А по законам квантовой физики для молекул невозможно находиться в полном покое.

До сих пор до конца не понятно, почему газовое облако, окружающее звезду в центре туманности Бумеранг, имеет такую низкую температуру. Похоже, оксид углерода выделяется звездой каким-то особенным образом, действуя как очень холодный ветер, который остужает все вокруг. Сама туманность была открыта в 1998 году космическим телескопом “Хаббл”.

10 тыс. — 100 тыс. световых лет (10^{20} – 10^{21} м) _____

SN1604, или сверхновая Кеплера, была впервые замечена 9 октября 1604 года. Она названа в честь велико-

го немецкого астронома Иоганна Кеплера (1571–1630), который в это время находился в Праге. Он был не самым первым наблюдателем этой звезды, но все же в числе первых и опубликовал о ней целую работу. Она находится в 13 тыс. световых лет от нас и на данный момент является последней зафиксированной сверхновой в нашей галактике. Когда звезду впервые стали наблюдать, она светила с яркостью Венеры в течение нескольких недель. Яркий свет, отмеченный наблюдателями в Праге, прошел 13 тыс. световых лет, прежде чем достиг их¹. Свету Венеры требуется всего лишь несколько минут, чтобы достичь Земли. Мы смотрим на ночное небо и, записывая то, что видим, склонны считать, что зафиксировали момент, некоторое “сейчас”. Но это “сейчас” состоит из множества “сейчас”, наложившихся друг на друга и сложившихся в некое целое, воспринимаемое нами как отражение определенного события жизни вселенной. Где во вселенной находится “сейчас”, ничуть не понятнее того, где ее центр.

Карликовая галактика в Большом Псе, содержащая миллиард звезд (что для галактики немного), является ближайшей из соседних галактик. Она была открыта лишь недавно, в ноябре 2003 года. Иногда бывает трудно рассмотреть то, что находится (с поправкой на астрономию, конечно) прямо у нас перед глазами. Сложно вычислить форму и состав нашей собственной галактики (которую мы называли Млечным путем),

¹ До нас этот свет шел примерно столько же, но спустя несколько столетий источник был уже не так ярк. Ярким он был всего несколько недель.

поскольку мы находимся внутри и не имеем возможности взглянуть со стороны. Сходная проблема есть и со вселенной, только сложнее — взгляд извне возможен, пожалуй, только в нашем воображении.

Галактика в Большом Псе отстоит от гравитационного центра Млечного пути на 42 тыс. световых лет, но находится всего в 25 тыс. световых лет от Солнечной системы. И теперь мы должны решить, что является нашим домом, нашей стартовой отметкой — Солнечная система или наша галактика. Мы смещаем центр от Солнца (гравитационного центра Солнечной системы) к гравитационному центру Млечного пути по одной простой и весомой причине — физически доказано, что звезды нашей галактики обращаются вокруг ее гравитационного центра.

Когда мы начинаем рассматривать вселенную как систему массивных объектов, движущихся относительно друг друга, становится ясно, что у Солнца более заметная позиция в Солнечной системе, чем у нашей Земли. Теперь, следуя иерархии размеров, мы передаем эстафету центру вселенной. Мы могли бы описать устройство Млечного пути и расположение близлежащих галактик с точки зрения Солнечной системы, но гораздо более изящным образом оно описывается через обращение вокруг общих гравитационных центров все больших и больших структур. Планеты вращаются вокруг солнца, солнце вращается вокруг гравитационного центра галактики. Мы начинаем понимать, что наше путешествие в космос — это обнаружение ряда структур, каждая из которых больше предыдущей.

Типичная галактика имеет около 10 тыс. световых лет в поперечнике, хотя именно наш Млечный путь в 8–10 раз больше среднего. Карликовые галактики, которые гравитационно цепляются к более крупным, как сделала галактика Большого Пса по отношению к нашей, могут быть шириной всего в несколько десятков световых лет.

Считается, что Солнечную систему отделяют от центра Млечного пути 26 тыс. световых лет. Эта оценка менялась за последние годы сильно изменилась, уменьшившись от первоначальной цифры в 35 тыс. световых лет. Не только наша Земля не является центром Солнечной системы, но и сама система находится вовсе не в центре галактики. По сути, мы даже ближе к галактике — спутнику Большого Пса, нежели к центру собственной галактики.

Впрочем, если учесть, что в центре нашей галактики расположена черная дыра по имени Альфа Стрельца, может быть, и неплохо, что мы от него на некотором удалении. Тайна возникновения и существования черных дыр придала им некую романтическую загадочность. Черные дыры являются такими плотными сгустками материи, что даже свет не может оттуда выбраться, — это такая нейтронная звезда, только еще плотнее. Хорошо известный пример: ракета должна достигнуть определенной скорости, чтобы покинуть поле притяжения Земли, — скорости убегания (она же вторая космическая скорость). Свет движется так быстро (с максимально возможной скоростью, согласно сегодняшнему пониманию законов природы), что для того, чтобы скорость убегания от данного космического тела пре-

вышла скорость света, это тело должно обладать невероятной массой (а гравитационное поле, соответственно, должно быть невероятно сильным). Черные дыры именно таковы. Свет не может преодолеть их притяжение.

Альфа Стрельца, чье существование было наконец признано научным сообществом в 1996 году, превосходит массой Солнце в 3 млн раз. Сегодня принято считать, что в центре большинства (если не всех) галактик находится черная дыра.

Оценка количества звезд в Млечном пути колеблется между 200 и 400 млрд. Если большинство из них меньше Солнца, как, в общем-то, считается, то верхняя оценка выглядит более правдоподобной. Наша галактика представляет собой вращающийся плоский диск 100 тыс. световых лет в поперечнике, состоящий из спиралеобразных скоплений звезд, пыли и газа, окруженных большой и не слишком плотно населенной сферой из звезд, называемой гало. Спиральные рукава создают рисунок той же формы, что мы наблюдаем на ракушке моллюска наутилуса или у циклона. Он состоит из четырех основных рукавов: рукав Персея, Стрельца (никак не связан с черной дырой Стрелец А), Центавра и Лебеда. Солнечная система расположена на внутреннем крае рукава Ориона — небольшого рукава, помещающегося между внешним рукавом Персея и внутренним рукавом Стрельца. Орион даже, возможно, просто отросток рукава Персея. Внутри этих спиральных газовых рукавов, с небольшой плотностью населенных молодыми звездами наподобие нашего солнца (звезды по-

пуляции I), происходит основное звездоформирование Млечного пути.

В центре этого диска находится утолщение (балдж) около 10 тыс. световых лет шириной и 3 тыс. световых лет толщиной с высокой концентрацией звезд. Поперек центрального утолщения располагается продолговатое звездное образование шириной около 27 тыс. световых лет. Этот “брусок” был открыт в 2005 году, в основном он состоит из старых звезд — либо красных гигантов, либо маленьких тусклых звезд, красных карликов.

100 тыс. — 1 млн световых лет (10^{21} – 10^{22} м) _____

Спиральный диск нашей галактики окружен огромной сферой, гало, более чем 200 тыс. световых лет в диаметре, которое переводит нас в следующий диапазон. Гало состоит из старейших звезд галактики, некоторые из них объединились в шаровые скопления. В этих районах уже не происходит формирования новых звезд. Во всем Млечном пути насчитывается порядка 150 шаровых скоплений, но предполагают, что может обнаружиться еще пара десятков. Каждое скопление содержит сотни тысяч старейших звезд галактики, звезд популяции II (старые звезды были сформированы немного иначе, нежели новые вроде нашего солнца). Скопления вращаются вокруг центра галактики на огромных, более 100 тыс. световых лет, расстояниях.

Несколько карликовых галактик — например, галактика в Большом Псе — примкнули к нашей, то есть

они не являются гравитационно независимыми. Самая большая из них — Большое Магелланово Облако, оно видимо только в южном полушарии, свое имя получило в честь португальского исследователя Фернана Магеллана (1480–1521). Он наблюдал облако во время знаменитого путешествия 1519 года, когда европейцы впервые пересекли Тихий океан в направлении на Запад. Большое Магелланово Облако также наблюдал итальянский первооткрыватель Америго Веспуччи (1454–1512) несколькими годами ранее. На сотни лет раньше это явление обнаружил персидский астроном Абд-ар-Рахман ас-Суфи и написал об этом в своей “Книге неподвижных звезд” (около 964 года), где он называет облако Белым Буйволом. Большое Магелланово Облако находится на расстоянии в 179 тыс. световых лет от центра, его населяют около 10 млрд звезд. Оно составляет примерно половину ширины от средней галактики (или 5% от диаметра нашей нетипично широкой галактики).

Облаку, хотя оно и оказалось привязано к нашей галактике, предстоит быть поглощенным Андромедой — ближайшей галактикой, гравитационно не зависимой от нас. Карликовая галактика в Большом Псе, напротив, будет присоединена к Млечному пути.

24 февраля 1987 года в Большом Магеллановом Облаке вспыхнула сверхновая звезда. Это самая близкая к нам зафиксированная сверхновая со времен сверхновой Кеплера, вспыхнувшей в 1604 году.

Существует также и Малое Магелланово Облако — карликовая галактика с менее чем миллиардом

звезд. Она находится на расстоянии 210 тыс. световых лет от нас.

Возможно, как раз сейчас настал подходящий момент, чтобы отметить: вселенная, описываемая до сих пор, представляет культурный интерес местного значения. У инопланетян были бы собственные достопримечательности, среди которых Большое Магелланово Облако, скорее всего, просто не числилось бы.

1 млн — 10 млн световых лет (10^{22} – 10^{23} м) _____

Галактика Барнарда — еще одна карликовая галактика, привязанная к нам гравитацией, — находится на расстоянии 1,6 млн световых лет от нас. Ее диаметр — 200 световых лет. Одна из самых легко наблюдаемых в телескоп галактик, галактика Барнарда была открыта в 1881 году, хотя в то время и не квалифицировалась как галактика. До 20-х годов XX столетия считалось, что есть только одна галактика и что вся вселенная — это Млечный путь.

В 2,5 млн световых лет от нас мы наблюдаем Андромеду — ближайшую крупную галактику-соседку. Она в два раза превышает размеры нашей и имеет 14 галактик-спутников, обе наши галактики нетипично велики. Андромеда, как и Млечный путь, спиральная. Не все галактики устроены так же, некоторые имеют форму эллипса, располагаясь на шкале от *E0* до *E8* (*E0* — наиболее круглые, *E8* — наиболее вытянутые). Галактика, которую нельзя отнести ни к спиральным, ни к эллиптическим, попадает в разряд неправильных.

До сих пор неизвестно, каким образом формировались старые эллиптические и неправильные галактики, возможно, они — результат столкновения спиральных галактик.

Андромеда (она же М31, то есть объект каталога Мессье под номером 31) — тот самый далекий объект, который мы можем наблюдать невооруженным глазом: она выглядит как тусклая звезда.

10 млн — 100 млн световых лет (10^{23} – 10^{24} м) _____

Сила тяжести тянет галактики друг к другу точно так же, как она сдерживает планеты около солнца или притягивает яблоки к земле. Млечный путь принадлежит к небольшому кластеру гравитационно-связанных галактик, называемому Местной группой. Ее поперечник — около 10 млн световых лет, она состоит примерно из 40 галактик, некоторые из них совсем маленькие — как карликовая в Большом Псе, галактика Барнарда или карликовая эллиптическая в Стрельце. Самыми большими галактиками в группе являются Андромеда и Млечный путь, затем, поотстав, идет галактика Треугольника. Млечный путь располагается не в центре Местной группы, а на ее краю.

Хотя про Млечный путь и Андромеду принято говорить, что они гравитационно независимые, это не совсем так. Судьба карликовых галактик предreshена: они будут поглощены и разорваны на части своими превосходящими хозяевами. Судьба Андромеды и Млечного пути тоже определена, но для этого нуж-

но заглянуть в будущее. Эти две массивные галактики, вращаясь вокруг общего гравитационного центра, похожи на двух борцов, кружащих друг вокруг друга. Через 3 млрд лет они столкнутся, и этот процесс столкновения займет еще несколько миллиардов лет, пока их черные дыры не объединятся, чтобы образовать суперогромную черную дыру в центре новой сверхгалактики.

Ближайшее к нам скопление галактик — это скопление Девы, находящееся на расстоянии 60 млн световых лет от центра Местной группы. Оно настолько велико — в него входят 2500 галактик, — что притягивает Местную группу к себе.

В процессе этого путешествия центр Млечного пути уступил место центру Местной группы, который, в свой черед, уступил место гравитационному центру между Местной группой и скоплением Девы. Охота за центром вселенной продолжается.

100 млн — 1 млрд световых лет (10^{24} – 10^{25} м) _____

Галактические скопления, такие как Местная группа и скопление Девы, вместе образуют сверхскопления, то есть скопления скоплений галактик. Местная группа входит в сверхскопление Девы (не путать со скоплением Девы), которое состоит из 2500 ярких галактик — тех, которые мы можем видеть, но вообще-то их может быть больше. В сверхскопление Девы входит около сотни галактических скоплений, его размер — 200 млн световых лет. Местная группа находится на внешнем краю

сверхскопления, а скопление Девы по причине своего размера и гравитации оказалось в центре. Мы, и это становится понятнее, всегда находимся в стороне от центра, не считая того, что “мы” включает в себя все больше и больше.

Ближайшим к нам сверхскоплением является сверхскопление Гидры-Центавра в 100–200 млн световых лет. Сверхскопление Волосы Вероники, еще один сосед, — в 300 млн световых лет. Всего же насчитывают около 10 млн сверхскоплений во вселенной и ни одной самостоятельной, не вошедшей ни в одно сверхскопление галактики.

Сверхскопление Волосы Вероники расположено в центре открытой в 1989 году Великой Стены — второй по величине структуры из обнаруженных во вселенной. Это полоса галактических сверхскоплений, которая находится на расстоянии около 200 млн лет от нас и насчитывает около 600 млн, если не больше, световых лет в длину. Ее ширина — 300 млн световых лет, а толщина — всего 15 млн.

1 млрд — 10 млрд световых лет (10^{25} – 10^{26} м) _____

Самая крупная структура во вселенной называется Великой Стеной Слоана, она была обнаружена 20 октября 2003 года в данных, собранных Слоановским цифровым обзор неба. Структура находится на расстоянии в миллиард световых лет от нас, а ее протяженность — почти 1,5 млрд световых лет. Потребовалось бы расположить друг за другом 250 000 000 000 000 эк-

земляков Великой китайской стены, чтобы покрыть это расстояние.

За первые пять лет деятельности Слоановского цифрового обзора неба¹ было сфотографировано 200 млн небесных тел. К 2020 году планируется сфотографировать 20 млрд.

Более 10 млрд световых лет (более 10^{26} м) _____

Самые далекие объекты, доступные нашему наблюдению, — это квазары. Некоторые из них находятся на расстоянии 13 млрд световых лет и даже дальше. Это самые старые из известных объектов во вселенной, некоторые из них очень массивные и яркие и превосходят по яркости триллионы звезд. Квазар (от англ. *quasi-stellar radio source* — квазизвездный радиоисточник) — это гало из материи, окружающей черную дыру и поглощаемой ею. До тех пор пока поблизости есть материя, то есть до тех пор, пока в пределах ее гравитационного поля ничего не останется, черная дыра будет расти в размерах. В то время, когда на этой активной стадии квазара идет поглощение материи, он ярко светит. По сути квазары — это черные дыры, поглощающие материю, именно по этой причине они не только не черные, но и весьма яркие.

¹ Назван в честь знаменитого американского филантропа и бывшего генерального директора *General Motors* Альфреда П. Слоана-мл. (1875–1966).

Такова наша вселенная: 30–50 млрд трлн ($3 \times 10^{22} - 5 \times 10^{22}$) звезд, организованных в 80–140 млрд галактик. Эти миллиарды галактик, в свою очередь, собираются в скопления, сверхскопления и цепочки сверхскоплений (как Великая стена). Сегодняшний развитой ребенок мог бы записать свой адрес так: Земля, Солнечная система, рукав Ориона, Млечный путь, Местная группа, сверхскопление Девы. Однако можно ли сказать, что мы куда-то продвинулись? Как нам интерпретировать собственное присутствие среди этих звездных структур? И если это самые большие структуры во вселенной, что находится за их пределами? Мы приблизились к краю вселенной, при этом совершенно не представляя себе, как у нее вообще может быть край. Так что не время останавливаться.

Мера за меру

В первоначальном взгляде человека на мир, который мы наблюдаем у примитивных народов, пространство и время являются очень условными величинами. Они стали "жесткими" концепциями только в ходе ментального развития человека, в основном благодаря введению единиц измерения.

Карл-Густав Юнг, "Синхрония",
пер. О. Чистякова и С. Удовик

Очевидно, ученые не отправлялись измерять вселенную с линейками наперевес. Человечество только-только сделало первый шаг в космическое пространство. Все, что мы знаем о вселенной, пришло к нам извне. Это не мы отправились вглубь вселенной, а сама вселенная пришла к нам — в форме света.

Мы верим, что вселенная такова, какой мы ее описываем, потому что мы верим своим средствам измерения и описания, а также благодаря нашей вере в то, что реальность "там" совпадает с реальностью, которую мы наблюдаем на Земле. Мы верим в научный метод. Но что есть научный метод и что мы в действительности делаем, когда производим измерения?

С незапамятных времен человечество пыталось измерить время и пространство. Мы видим мир сконструированным из отдельных предметов, как-то связанных во времени и пространстве, но при этом движущихся. Это наша отправная точка: не то, что мы хотим выяснить о мире, а то, каким он, как мы считаем, безусловно является. Восточного типа мышление утверждает, что верно обратное: вещей вообще не существует, только нераздельное единство цельных явлений, — но такое восприятие реальности труднодостижимо и встречается примерно столь же часто, как будды. Наш естественный ответ миру не таков. Мы абсолютно уверены — так же как в собственном существовании (еще одна иллюзия, сообщают нам философы и мистики), — что пространство простирается (и в нем имеются отдельные объекты), а время течет (позволяя предметам возникать в разных частях пространства). Большинство из нас — тех, кто борется за свое существование (и не имеет возможности на досуге рассматривать вероятность собственного несуществования), — излишне тяжеловесный внешний мир пригибает к земле, загоняя в рамки времени и пространства. Личность может быть плодом воображения, как утверждал шотландский философ XVIII века Дэвид Юм (1711–1776), а время и пространство — иллюзией, как доказывал его современник, немецкий философ Иммануил Кант (1721–1804), но жить в материальном мире — значит жить по правилу доктора Сэмюэля Джонсона¹:

1 Ирландский философ епископ Бишоп Беркли (1685–1753) задавался вопросом, можно ли считать существующим дерево, которое

когда мы видим камень, мы знаем, что можем его пнуть.

Нас могут ошеломлять пространство и время, но попытки дать определение тому, что мы называем этими словами, вызывают куда больше проблем.

Мы можем предполагать, что человечество назначило себя отправной точкой для всех измерений. Мы можем видеть в этом эгоцентризм или приписать это простому факту: мы смотрим на мир отсюда, что, вероятно, может объяснять и наш естественный эгоцентризм. В таком случае не слишком удивительно, что километры, метры, сантиметры, а также мили, ярды и дюймы или другие старинные единицы измерения особенно удобны для использования на земле, поскольку и выбирались они из соотношения с человеческим телом и человеческими действиями в окружающем мире, где под миром мы подразумеваем Землю. Слово “фут” говорит само за себя². Происхождение “ярда” неизвестно, хотя, согласно популярной легенде, это длина между кончиком носа и большим пальцем английского короля Генриха I (1068–1135). Но с тем же успехом это может быть (а по некоторым источникам — на самом деле является) мерой талии или шага или просто двумя кубитами (старинная мера длины). Соответствующий египетский иероглиф изображал предплечье, что передает длину кубита — расстояние от локтя до середины ладони. Локоть, некогда бывший в ходу у портных, возник из ча-

мы не наблюдаем. Английский публицист, лексикограф и знаменитый остроумец Сэмюэль Джонсон (1709–1784) сказал в ответ: “Я опровергну его так”, — и с силой пнул ногой камень.

2 Foot — “нога” по-английски. (Прим. перев.)

сто использующегося расстояния от плеча до запястья. Причем английский, шотландский, фламандский и польский локти были разной длины.

Большинство единиц измерения создавались по человеческой мерке — именно поэтому мы легко определяем разницу в пару градусов, чувствуем ушными перепонками, когда давление меняется на несколько сотен миллиметров ртутного столба, легко поднимаем одной рукой несколько килограммов и так далее. Но на первых же измерениях появилась неразрешимая проблема. Как условиться, что мы используем одну меру для своих измерений? Сегодня проблема не сильно уменьшилась. Когда мы меряем протяженность, мы знаем, что такое метр, хотя просто взять и определить его нам не удастся. Дать определение метру — неразрешимая проблема, плотно связанная с нашей неспособностью дать определение времени и пространству.

Древние цивилизации, естественно, не использовали метров или ярдов, но проблемы у них были точно такие же. В Египте был найден кусок черного мрамора длиной в кубит, датируемый 2500 годом до н. э., что делает его самой древней известной мерой длины. Этот каменный кубит подтверждает, что существовало местное соглашение, как мерить длину, и выступает последней инстанцией в вопросе, что такое кубит. Аналогичным образом король Эдуард I (1239–1307) повелел всем английским городам иметь официальную меру, так называемую палку с локоть, она же — пояс Ориона. Договорившись о мере, можно перейти от “Я нахожусь здесь, я — центр, я — мера всех вещей” к “Мы нахо-

димся здесь, мы — центр, мы — мера всех вещей”, что по меньшей мере является небольшим шагом от эгоцентризма.

Человечество не могло прийти к глобальной договоренности о мерах несколько тысяч лет. В разных культурах и нациях существовало бесконечное количество мер для разных субстанций — от золота до яблок. Англия не предпринимала попыток унификации мер вплоть до XIII века. До 1824 года там действовали три разных галлона — для эля, вина и зерна. В Америке и Англии до недавнего времени были разные дюймы, только в июле 1959 года все согласились на 2,54 см, хотя ни одна из этих стран еще не зашла так далеко, чтобы принять метрическую систему мер.

По крайней мере ученые достигли договоренности об использовании метра при измерении длины. Иногда об этом забывают, как случилось в 1998 году. Тогда *Mars Climate Explorer* врезался в поверхность планеты из-за того, что независимый источник передал НАСА информацию о расположении аппарата в милях вместо километров. Ошибка обошлась в 125 млн долларов.

Первую попытку определить метр сделали во Франции в 1793 году, когда метром называли “одну десятиллионную часть расстояния от Северного полюса до экватора по поверхности земного эллипсоида на долготе Парижа”¹. Даже самый далекий от науки чита-

¹ Поскольку Земля не является идеальной сферой, расстояние было бы другим, если бы проходило через другую точку планеты.

тель мог бы заподозрить в таком определении что-то неладное, на худой конец — что-то французское.

В последнее время наука пытается давать универсальные определения, которые работали бы во вселенной, а не только в нашем мире. Наука исходит из предположения, что наше местонахождение не играет роли: реальность, которую мы воспринимаем, одна и та же в любом месте. В древности все было иначе — реальность делилась на разные сферы. Земля и ее окрестности протяженностью до Луны (подлунный мир) жили по законам, отличавшимся от законов более далекого пространства. Современная наука исходит из предпосылки, что действительность едина и одинакова в любом месте. Ученые выдвигают императив — когда мы пытаемся описать вселенную посредством измерений, мы должны договориться, чем именно мы ее измеряем.

Эти “мы”, которые описывают вселенную, — странная компания. Мы, земляне, еще не забирались далеко от дома, мы не знаем, занимается ли еще кто-то во вселенной таким же описанием природы, но наука уверена, что существует универсальная перспектива. Это предполагает, что однажды люди смогут путешествовать по вселенной либо что во вселенной уже есть другие формы жизни — инопланетяне, способные к описанию окружающего их мира, — которые занялись тем же научным предприятием, что и земляне. Неудивительно, что ученых особенно интересуют инопланетяне и научная фантастика. Идея инопланетян почти столь же важна, как и их реальное существование. Ученые нуждаются в “другой” перспективе для устранения человеческой предвзятости.

Если существуют инопланетяне, которые меряют реальность палкой, то нам следует убедиться в том, что мы одинаково определяем длину. Если же такой договоренности нет, то всегда будет шанс получить в описаниях две совершенно разные реальности. И кто потом сможет сказать, какая из них настоящая?

Определение метра 1793 года, не говоря об универсальности, не является даже глобальным (от слова "глобус") — здесь у парижан привилегированное положение. Пожалуй, мы смогли бы убедить всех обитателей вселенной использовать этот специальный кусочек парижского меридиана в качестве единицы измерения длины, только пустив в ход свой авторитет, то есть, видимо, путем войны.

Французская попытка провалилась, но по более приземленным причинам. Не взяли в расчет сплюснутость Земли из-за ее вращения. Первый эталон метра, сделанный в 1874 году, получился короче на 0,22 мм. Это упущение указывает на более серьезную проблему: недостаточно было бы (тогда) взять в расчет сплюснутость Земли, потому что она медленно изменяется с течением времени. Даже если бы мы чудом уговорили всех обитателей вселенной принять парижский эталон метра, он все равно не был бы универсальным во времени, хотя мог бы и стать таковым в пространстве.

Новый эталон был изготовлен в 1889 году, а новое определение метра появилось сперва в 1927-м, а потом еще одно — в 1960-м, когда метр был определен как число $1\,650\,763,74$, умноженное на длину волны оранжевой линии спектра, излучаемого изотопом криптона

в вакууме. Это определение, возможно, очень точное, вот только более произвольное и громоздкое определение сложно себе представить. Если мы и вправду верим, что вселенная изящно выкроена по неким законам (что и впрямь относится к вере в математику, поддерживающую все прочие научные построения), то вряд ли нас удовлетворит такое уродливое определение столь важного элемента, как мера пространства. С 1983 года метр определяется как расстояние, которое свет преодолевает в вакууме за $1/299\,792\,495$ секунды, что вряд ли выглядит более убедительно. Но нельзя не признать, что последний вариант наконец может быть признан истинно универсальным.

В данный момент мы верим, что скорость света едина в любой точке вселенной; тем самым, вкладывая нашу веру в это постоянство, мы можем быть уверены, что, используя такую линейку, все, кто во вселенной что-либо измеряет, будут получать одинаковые результаты.

Предположительно взвешенные формы жизни вряд ли выбрали метр единицей измерения, но если они достигли достаточного развития, чтобы установить универсальную постоянную скорости света, то мы всегда сможем договориться между собой (путем простого обоюдного перевода мер) о том, как выглядят наши вселенные, будучи подвергнуты измерениям.

Но и с этим определением есть свои проблемы. Недавно сама идея скорости света как константы была подвергнута сомнениям, что означает, что и этот эталон метра окажется проходным эпизодом. То есть действительность взвешенных форм жизни, возможно, слег-

ка отличается от нашей — либо по причине их большей развитости, либо из-за другого подхода.

И затруднения на этом не заканчиваются. Наш лучший эталон метра происходит из самых сложных научных понятий и открытий, которые, в свою очередь, базирувались на старых определениях метра, вовсе не универсальных. Внутри определения метра обнаруживается вся наука и вся история науки. Мы оказываемся в ловушке. Философский (потому что бессмысленный, с точки зрения многих ученых) вопрос — насколько этот замкнутый круг реален или иллюзорен. Ученые-практики могут сказать, что научный прогресс заключается в постепенном уточнении измерений. А философ возразит, что наука сама определяет прогресс, и это не вызволяет нас из ловушки.

Ученые измеряют вселенную посредством линеек и часов. Сейчас мы определяем длину через время: метр — это расстояние, которое свет преодолит за крошечную долю секунды. Так что, если мы хотим знать, что такое метр, нам следует хорошенько представлять себе, что такое секунда. Но то, что мы имеем в виду, говоря о времени, гораздо сложнее определить, чем то, что мы имеем в виду, говоря о пространстве. Время течет, но что именно течет? Один момент становится другим, но как? И что такое момент? Почему время течет только в одну сторону — в будущее? И вообще, линейно ли время? Его круговая природа иногда представляется даже более логичной теорией.

Греческий философ Гераклит (535–475 до н. э.) пытался определить время. Один из немногих дошедших до нас отрывков гласит: “На в потоки те же самые вхо-

дящих натекают все новые воды”¹. Считается, что это высказывание относится к течению времени или течению существования и обычно переводится свободнее: “В одну и ту же реку нельзя войти дважды, это будет другая река и другой человек”. В любом случае Гераклит говорит, что, несмотря на смену воды, река остается неизменной; эта идея близка к его же фрагменту: “Ты в потоки те же самые дважды не войдешь”. Парменид, философ-досократик², живший в начале V века до н. э., полагал время иллюзией, а глубинную реальность — вечной и неизменной. Большинство греческих философов придерживались мнения, что время не создавалось, оно всегда было. Блаженный Августин (354–430 н. э.) считал время субъективным опытом: “Если никто меня об этом не спрашивает, я знаю, что такое время; если бы я захотел объяснить спрашивающему — нет, не знаю”³. Немецкий философ Готфрид Лейбниц (1646–1716) полагал, что категории времени и пространства не имеют реального воплощения, являясь только средствами описания взаимосвязи между материальными объектами. Иммануил Кант описывал время как свойство мышления, которое позволяет управлять нашим восприятием окружающей действительности. Он скептически относился к идее мира, существующего во времени и пространстве, и нас самих, воспринимающих этот мир в ощущениях. В XX веке

1 Здесь и далее — пер. С. Муравьева. (*Прим. перев.*)

2 Так называли философов, которые, как и Гераклит, жили до Сократа (ок. 469–399 до н. э.).

3 Пер. М. Сергеевко. (*Прим. перев.*).

американский физик Джон Уиллер (1911–2008) определял время как нечто, “что не дает событиям происходить одновременно”. Каковы бы, однако, ни были философские соображения, ни одно из них не помогает ученому, которому нужно практическое определение времени, а не его описание.

Вероятно, впервые необходимость в измерении времени, что бы оно ни значило, возникла около 12 тыс. лет назад, когда человечество занялось земледелием. Сев и сбор урожая лучше всего производить в определенное время года. Для достижения большей эффективности в этой деятельности следует заранее знать, когда какой период наступит, для этого и был создан календарь.

Первые календари строились на астрономических явлениях. День — это время, за которое Земля делает оборот вокруг своей оси. Год — время, за которое Земля делает полный оборот вокруг Солнца. Нет никакого резона полагать, что дни и годы каким-то образом соответствуют друг другу, и это действительно не так. История календаря — это история об их прилаживании друг к другу, а также о встраивании в эту систему дополнительного усложнения в виде Луны. Луной сложно пренебрегать, принимая во внимание эффект приливов два раза в день и ежемесячные воздействия на биологические ритмы. Хотя все это — небесные явления (наши попытки определить метр были привязаны к Земле), но Луна и Солнце — предметы достаточно локальные (как нам скажет любой инопланетянин). Будучи учеными, мы стремимся найти ракурс, общий для землян и инопланетян. Ученые размышляют о мире, который можно увидеть “как он есть”, абстрагировавшись

от нас, — тот же самый мир, который можно одинаково наблюдать любому наблюдателю из любой точки.

История календаря так же обусловлена культурой, как ранние попытки определения длины. Юлианский календарь просуществовал без изменений со времени появления (его ввел Юлий Цезарь в 46 году до н. э. в порядке реформы римского календаря), пока его не упорядочили 4 октября 1582 года по инициативе Папы Григория XIII, и за этим днем сразу последовало 15 октября. Такая поправка требовалась для компенсации сдвига сезонов, который происходил уже несколько веков. Англия и Америка сопротивлялись григорианским нововведениям до 2 сентября 1752 года, Россия — до 1918 года. Точность григорианского календаря составляет 26 секунд в год, или 1 день каждые 3,323 года.

Ученые обращаются с временем как с пространством — считают его измерением, которое может делиться на маленькие части. Науке нужно, чтобы время текло равномерно. Без этого Ньютон (1643–1727) не смог бы сформулировать законы движения. Точный календарь также подразумевает такую природу времени: оно делится на куски — месяцы, дни, часы, минуты. Это было не всегда. В Европе до XIV века было распространено понятие дня в рамках от восхода солнца до его захода, и, соответственно, день делился на часы. В результате дневные и ночные часы оказывались разной протяженности, и это отличие увеличивалось с течением года. Ночные часы ощущались особенно длинными зимой, потому что они и в самом деле были длинными.

В Китае часы известны с VIII века, а в Европе механические часы появились в начале XIV века. Первые такие часы были огромными механизмами, которые размещались в церковных колокольнях. Эти часы используют анкерный механизм — устройство, которое постепенно и плавно переводит вращательную энергию взведенной пружины в колебательное движение маятника. Первые маятниковые часы были изобретены и запатентованы в 1656 году голландским ученым Христианом Гюйгенсом (1629–1695). Первым, кто изучил движение маятника, стал Галилей (1564–1642), это случилось в 1602 году. Галилей понял, что однообразные толчки маятника можно использовать для отсчета времени. С 1637 года он разрабатывал идею создания маятниковых часов, но умер прежде, чем смог воплотить идеи в реальность. Физическое движение маятника позволяет нам считать (независимо от того, как все обстоит на самом деле), что время течет гладко и может быть поделено на части, точно так же, как, мы полагаем, может быть поделено и измерено пространство. Возможно, маятник Галилея был основной причиной того, что научная революция произошла на Западе, а не на Востоке (хотя в эпоху Возрождения там и разворачивались дебаты о линейной или циклической природе времени). В общих чертах на Востоке и в так называемых примитивных культурах история воспринималась как бесконечный замкнутый цикл. Даже сегодня в языках народа хопи и некоторых других коренных американских племен отсутствуют линейные временные конструкции. Впервые в Западном, а теперь и во всем мире время развернулось в линию, направленную

прямо в будущее, — в линию, вдоль которой выстраиваются история и прогресс.

Маятниковое время отличается от небесного, что следует из цикличности сезонов. Собственно, в научных терминах небесное время не является линейным. Земля находится в наиболее удаленной точке от Солнца 4 июля, а в ближайшей — 3 января. Скорость Земли увеличивается по мере ее приближения к Солнцу, поэтому промежуток времени между двумя восходами изменяется. В небесном времяисчислении нет постоянной единицы времени, в отличие от маятникового исчисления, которое позволяет нам представить себе искусственную единицу (секунду), весьма отличающуюся от естественных мер времени (день или год).

Несмотря на это, первые попытки определить секунду относили ее к естественным временным периодам. Некогда секунда определялась как $1/86\,400$ солнечного дня, это определение не было универсальным, а солнечный день сам по себе не был постоянен. Раньше Земля вращалась вокруг своей оси быстрее, и тот период, который мы сегодня называем днем, полмиллиарда лет назад длился на несколько часов меньше. Определение секунды оказывается обусловленным как исторически, так и культурно.

Было несколько разных определений секунды, пока в 1967 году не установилось окончательное: секунда определялась как 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями квантового состояния атома цезия-133. Естественно, наше определение оказывается столь же условным, как и определение длины.

Когда мы производим измерения, мы, по всей видимости, не в состоянии отделить единицу измерений от нашей собственной природы. Что, впрочем, не очень беспокоит большинство ученых ("Заткнитесь и считайте!"): хотя мы и не слишком уверены в своих действиях, когда измеряем пространство и время, наука движется вперед и все равно измеряет. История науки — это история все более точных измерений, что, в свою очередь, позволяет все точнее определять единицы измерений. Научный метод имеет важное отличие от философской дилеммы: он работает. Когда мы говорим "работает", мы имеем в виду то, чему являемся свидетелями, — окружающую нас технологическую реальность (мы называем ее прогрессом), в которой мы живем и которую считаем своим домом. Если идея прогресса есть иллюзия, разворачивающаяся на воображаемой оси времени, это, безусловно, очень устойчивая иллюзия, и имя ей — материализм.

На протяжении всей истории науки вселенная, которую описывали ученые, росла в размерах и возрасте. Хотя нам и кажется, что вселенная сводит наши единицы измерений к ничтожно малым величинам, нельзя быть уверенными, что секунда для вселенной не является очень долгим промежутком времени, а метр — очень большой длиной. Ученые пытаются дать универсальную картину мира, а не домашний вариант, исторически или культурно искаженный; соответственно, они стремятся заменить человеческий фактор чем-то более постоянным. Возможно ли это на самом деле — такой вопрос странным образом остается открытым.

Убеждает другое: на научных измерениях (сводимых в конечном итоге к часам и линейке) строятся сложнейшие теории, описывающие многообразие явлений, присущих окружающей действительности. Поэтому наше внимание уже не так приковано к шатким основаниям, на которых выстроено это знание. Мы верим в существование электричества не потому, что знаем, что это такое, — на самом деле мы только догадываемся, — а потому, что его научное описание объясняет большое число разных явлений. Электричество вписывается в общую картину и не противоречит пониманию других явлений — скажем, магнетизма. Мы можем сплести целую описательную паутину, нити которой крепнут, будучи частью общей структуры, охватывающей все больше и больше материальной реальности.

Наука занимается систематическим измерением. Она измеряет вселенную и ее содержимое, а под измерением мы понимаем акт наблюдения за окружающим миром. Наука формализует наблюдение, то есть проводит эксперимент, который, что важно, может быть повторен. Научный эксперимент изолирует некий аспект реальности, наблюдает его и делает знание общедоступным. В принципе любой эксперимент может быть повторен. Хотя на практике это, возможно, труднодостижимо. На данный момент авторитет научного метода держится на доверии и системе экспертных оценок.

Объект научного исследования должен быть воспроизводим и доступен для измерения. План эксперимента предусматривает изоляцию объекта, отделение его от окружающей вселенной, чтобы его можно было

измерить. Именно акт отделения превращает это нечто в измеримый объект.

Научный метод заключается в разделении, в делении мира на части и присваивании им имен в качестве первого шага к описанию взаимодействия этих частей между собой. Само слово “наука” (*science*) заимствовано из староанглийского *sceans*, то есть “разделять”, и из латинского *sciens* — “знающий”. Но верить в то, что наука сама делится, — значит смешивать методологию с ее объектом. Наука делит на части, чтобы лучше описать объединенную реальность. Части стыкуются друг с другом.

Ты веришь во что-то, потому что знаешь, что существуешь. Веришь в собственное “я”. Наука — это способ перевести индивидуальный опыт реальности в коллективный. Мы можем лично проверить научное описание реальности, повторив эксперимент либо веря в его воспроизводимость или, что наиболее вероятно, просто отметив изменения в том мире, который создает вокруг нас технология. Технология — это наше подтверждение успешности науки. Под успешностью мы в данном случае понимаем способность к созданию подобий реальности, которые и есть материальный мир. Паровой двигатель, лекарства, центральное отопление, оружие, ускорители частиц, айфоны — все это убеждает нас в реальности мира, причем мир становится тем реальнее, чем более сложной оказывается эта материальная реальность. Иногда мы забываем, что, как бы сложен ни становился материальный мир, природа всегда будет еще сложнее, поскольку материальный мир — это только некоторая отсеянная ситом ее часть.

Твердолобый материалист мог бы даже утверждать в порядке веры, что наука в конечном итоге просеет все явления природы через сито научного метода.

Некоторые явления сложно воспроизвести. Можно даже сказать, что крайне сложно воспроизвести большинство явлений. И ученые отвергают определенные явления как не заслуживающие научного исследования или не подходящие для него — те, которые нельзя изолировать и воспроизвести. Что, например, мы будем делать с причудами любви? Попадают ли подобные явления в отдельную сферу, не имеющую ничего общего с наукой и доступную только поэтам и мистикам, или же они дождутся когда-то материалистического описания? Писательница Хилари Мантел напоминает¹ нам:

Весь наш опытный мир доступен нам субъективно, но это не значит, что мы не можем делать о нем справедливых выводов. Нам просто нужно различать измеряемые и неизменяемые свойства, не отбраковывая последние как менее полезные. Мы можем проследить электрические импульсы сердца, но не импульсы любви и ненависти. И тем не менее кто может утверждать, что последние не играют в мире никакой роли? Кто не верит в то, что нельзя измерить и исчислить, ступает на шаткую почву: их внутренняя реальность грозит сильно разойтись с реальностью большинства их окружающих...

¹ В предисловии к книге Джейн Хайнс «Кто тот, кто сможет сказать мне, кто я?» (2007).

Любопытным образом один факт, который нам кажется известным, — достоверность нашего собственного существования — закрыт для научного исследования, поскольку по определению не является доступным для общественности. Если цель науки — выявление материалистичного описания всего на свете, то в конечном счете все формы знания должны будут каким-то образом слиться воедино. Тайна материалистичного описания перестанет отличаться от мистики поэтического описания. Либо же этим двум мирам суждено оставаться вечно отделенным друг от друга: “Мы чувствуем в одном мире, мыслим, наименовываем в другом, мы способны установить между двумя мирами соответствие, но неспособны заполнить разделяющее их расстояние”¹.

Технология развивается, потому что теории, описывающие мир, становятся все более сложными, они объединяют больше и больше явлений в едином описании. А теория развивается, потому что мы используем все более сложный математический аппарат для ее создания. Это, возможно, самая большая загадки науки — почему природа описывается математически? Дальше обращаться не к кому: наша научная вера покоится на математике и той совокупности явлений, которую охватывает математическое описание. Технологии — это внешний и хорошо заметный признак веры. Мы больше не верим ни в способность человека к совершенствованию, ни в уро-

¹ Марсель Пруст, “В поисках утраченного времени” (1909–1922), пер. Н. Любимова. (*Прим. перев.*)

ки истории, ни в какую-либо другую форму прогресса, однако научный прогресс не сдает позиций, потому что технологическая сторона нашей жизни постоянно меняется. Материальный мир предоставил человеку возможность запереться дома и полностью с физической и философской точек зрения отгородиться от природы.

Прогресс — это цикл обратной связи между технологией, теорией и математикой. Обновляемая и углубляемая теория переписывается с использованием также обновляемого и усложняемого математического аппарата. Ученые препарируют мир с помощью последних технологических достижений в поисках доказательств теоретических построений. Более глубокое понимание устройства материального мира дает возможность производить все более тонкие измерительные приборы. Наши способности к восприятию мира расширяются при участии таких технических приспособлений, как телескоп или микроскоп. Хотя скорее можно говорить только об улучшении зрения, так как вселенная недоступна для нас через запах, вкус, тактильные ощущения и даже слух (в том числе и Большой Взрыв).

Наука — это постоянное измерение. Мы ожидаем от мира, что он не изменится к моменту повторного измерения независимо от того, кто будет это измерение производить. Наука подразумевает повторяемость. Феномены, возникающие в нестандартных условиях при посредстве нестандартных индивидуумов, — не самый подходящий объект для научных исследований. Но все мы — нестандартные индивидуумы. Сложноор-

ганизованные индивидуалистические люди всегда будут малодоступны для научного исследования. Наша собственная природа оказывается самым сложным объектом для измерения.

Сама по себе вселенная, видимо, всегда будет недостижима для науки, поскольку чем еще можно измерить вселенную, кроме нее самой? Других вселенных для сравнения нет. На практике же вселенная постоянно находится в процессе переопределения. Всегда имеется новое, расширенное представление о вселенной, с которым сопоставляется "старое". В компьютерную эпоху мы можем генерировать модели возможных вселенных. Предполагается, что однажды мы будем способны создавать вселенные, подобные нашей, и этот процесс неизбежно сведет понятие вселенной к чему-то более локальному. Парадоксальным образом, если наука когда-либо достигнет своей цели в описании природного единства, чем бы оно ни оказалось, это не будет объектом научного постижения. Научный метод, построенный на сравнении объектов, будет неизбежно приведен единым общим описанием вселенной к полной остановке.

Но, хотя мы все ближе, как нам кажется, приближаемся к полному пониманию, похоже, подобное описание всегда будет держаться за пределами нашей досягаемости. Химера вселенной оборачивается чем-то совершенно иным, Вселенная всегда будет превосходить самые смелые плоды нашего воображения, что вряд ли удивительно, учитывая, что мы сами являемся порождением вселенной, "обнадеживающим и безнадежным стремлением всего живого к самопознанию, к тому,

чтобы природа рылась в самой себе — в конечном счете совершенно тщетно, так как природа не может превратиться в познание, жизнь сама не может уловить последние глубины живого”¹.

¹ Томас Манн, “Волшебная гора” (1924), пер. В. Станевича. (*Прим. перев.*)

Это не про тебя _____

*Не от начала все открыли боги смертным,
но постепенно, ища, находят лучшее.*

КСЕНОФАН, "Фрагменты", пер. А. Маковельского

Наше представление об устройстве Большой вселенной, то есть иерархически организованного вращения звезд, есть результат сотен лет научных исследований. Научный метод не всегда был таким, как сегодня. Он развивался нога в ногу с нашим пониманием вселенной и, без сомнения, будет развиваться и дальше, по мере углубления знаний об устройстве вселенной. Наука и вселенная неразделимы.

Чтобы добраться до края вселенной, нам нужно совершить долгое путешествие сквозь историю. Чтобы найти ответ на неприятные вопросы — откуда произошла вселенная, из чего она состоит, — нам нужно вернуться к началу научной мысли и понять, как мы пришли к ее нынешнему состоянию.

Грубо говоря, и наука, и вселенная имеют два прошлых — древнее и современное.

Наука — это коллективное предприятие, хотя и без конституции, и ее значение проявляется с течением времени. До каких бы пределов ни дошла наука сегодня, ее история простирается далеко в прошлое, когда

само слово еще не имело смысла. Сегодня мы знаем звездную структуру вселенной, что делает очевидным наше нецентральное положение в ней. Но так было не всегда. Древняя наука началась с другого конца. Во времена Аристотеля (ок. 384–322 до н. э.) Земля неподвижно располагалась в физическом центре вселенной, и эта часть космологии была неизменной с самого начала того, что мы называем цивилизацией.

Цивилизация в нашем понимании зародилась в городах-государствах Ближнего Востока. Самой развитой древней цивилизацией (в западной истории) была Месопотамия — плодородный регион между реками Тигр и Евфрат (современный Ирак). Слово “Месопотамия” происходит от греческого слова “междуречье”. Есть свидетельства, что торговля там началась в 10 000 году до н. э., примерно когда на Земле случилось значительное потепление, сделавшее возможным земледелие. Кочевые группы, по 20–30 человек в каждой, находили постоянные стоянки, численность групп увеличивалась. Имеются свидетельства существования укрепленного земледельческого поселения в районе Иерихона площадью около 74 акров, существовавшего примерно за 7 тыс. лет до н. э.

Племя шумеров прибыло в Месопотамию около пятого или четвертого тысячелетия до н. э., причем до сих пор непонятно откуда. Шумерское общество — первое, о котором известно, что там читали и писали. Одно из старейших литературных произведений — датируемый третьим тысячелетием до н. э. “Эпос о Гильгамеше”, собрание легенд Вавилонского царства, южного соседа Месопотамии. В этой истории царя Уруки

упоминаются многие из первых городов-государств, положивших начало цивилизации: Ур, Эриду, Лагаш, Ниппур. Также там содержатся первое упоминание о великом наводнении и первое упоминание о сновидениях. В Библии рассказывается, что Авраам, прародитель евреев и арабов (израэлиты произошли от его сына Исаака, а исмаилиты — от сына Исмаила), путешествовал из Ура Халдейского. Халдея была районом Вавилонского царства.

“Энума элиш”, история творения, вероятно, относящаяся к XVIII веку до н. э., рассказывает о создании Месопотамии и человека. Ее пересказывали в храмах в течение сотен лет. Эти первые истории творения были одновременно и первыми проявлениями религии, и первыми космологиями. Элементы “Энума элиш” вошли в еврейскую космологию и в библейский рассказ о сотворении мира. Земля там фигурирует в качестве плоского диска, окруженного водой со всех сторон. Небесный свод удерживает воду от затопления Земли, но пропускает ее в качестве дождя. Снизу вода проступает в форме рек и морей. Шумеры изучали небеса, но скорее в целях получения знамений от богов, чем в астрономических.

В мире развивались и другие цивилизации: в Египте — за 3 тыс. лет до н. э., в долине Инд — за 2700 лет до н. э., в Китае — за 2100. Но, какие бы причины тому ни назывались (а их приводится много), история науки в основном пишется в западном мире. Восточный образ мысли представляется противоположностью идеи прогресса, лежащей в основе науки. Высказывалось предположение, что китайское иероглифическое пись-

мо не способствовало абстрактному мышлению, и, по мнению философа Джона Грея, в результате этого “китайские мыслители не путали идеи с фактами”¹. От египтян и вавилонян не осталось никаких следов изучения материального мира, хотя в Вавилоне изобрели шестидесятеричную систему счисления, наследие которой мы до сих пор можем видеть в 60 минутах (составляющих час) или в 360 градусах (составляющих полный круг). У египтян был календарь, построенный на наблюдениях за звездами, а самая ранняя записанная дата тоже пришла из Египта — 4236 или 4241 год до н. э. (в зависимости от того, как интерпретировать их календарь).

Начиная с 2000 года до н. э. Эгейское море бороздили греческие племена, иногда обосновываясь на берегах. Олимпийские игры появились в 776 году до н. э. Гомер (который, вероятно, все же был традиционным сказителем, а не самостоятельным писателем) не мог жить ранее VIII века до н. э. Эту цивилизацию немецкий философ Фридрих Ницше (1844–1900) назвал “самой удачной, самой прекрасной, самой завидной”². Некоторые историки считают началом греческой философии 28 мая 585 года до н. э. Считалось, что в этот день Фалес Милетский (624 — 546 год до н. э.), первый из философов-досократиков, предсказал затмение. Сегодня скорее считают, что Фалес наблюдал затмение, а не предсказал его, а знание о нем он получил от вавило-

1 *Straw Dogs, John Gray, 2002.*

2 Фридрих Ницше, “Рождение трагедии”, 1872, пер. А. Рачинского. (Прим. перев.)

нян. Халдейские мудрецы, путешествуя, распространяли познания об астрологии и ранние астрономические наблюдения среди греков и римлян.

Что бы там ему ни приписывали, Фалес, безусловно, затмил своих предшественников, за что его часто и называют отцом науки. Именно он ввел слово “космос” для описания вселенной — это греческое слово помимо значения “порядок” также имеет значение “не-что украшающее” (тот же корень, что в слове “косметика”) и является антонимом греческого слова “хаос”. Фалес считал, что все состоит из воды в той или иной форме. И именно он начал изыскания в целях установления физических компонентов мира — из этого зародился материализм. Фалес не делал различий между живым и неживым. Согласно Фалесу, даже магнитная руда обладает душой — эта мистическая идея дожила до XVI века, где фигурировала в работах английского физика Уильяма Гилберта (1544–1603), одного из первых и яростных приверженцев гелиоцентрической коперниковской модели вселенной и одного из первых употребивших слово “электричество”.

Древняя греческая философия передавалась от учителя к ученику в традиции менторства. Слово “ментор” произошло из “Одиссеи” Гомера, где Ментор заменял отца Телемаху, когда Одиссей (его настоящий отец) был в военном походе. Фалес был ментором для Анаксимандра (610—546 до н. э.), а Анаксимандр — для Анаксимена (585—525 до н. э.). Все трое родились в Милете, древнем греческом городе, ныне находящемся на территории Турции. Анаксимен вслед за учителями продолжил поиски простого описания мира. По

его теории, в основе всего сущего находилась не вода, а воздух.

Самым знаменитым из досократиков стал Пифагор (между 580—572 годами до н. э. и 500—490 годами до н. э.), который первым назвал себя философом, что буквально означает “любитель мудрости”. Он учился у мудрецов в Египте и позднее в Финикии (древняя прибрежная цивилизация, сегодня там находятся Ливан и Сирия). Вероятно, именно в Египте он заинтересовался геометрией и тригонометрией.

Пифагор основал школу, которая просуществовала тысячу лет, хотя пифагорейство было скорее братством, нежели школой. Называя себя математиками (*mathematikoi*), то есть, буквально, “изучающими все на свете”, пифагорейцы были строгими вегетарианцами и вели монашеский образ жизни. Особенное внимание они уделяли изучению арифметики, геометрии, музыки и астрономии, и это осталось основой образования вплоть до Средних веков, когда начало называться *quadrivium*¹ (“перекресток четырех дорог” на латыни). Пифагорейцы верили, что в основе всего лежит математика, и эта вера жива по сей день. Важное отличие состоит в том, что для нас форма и число — лишь атрибуты вещей, а для математиков-пифагорейцев форма и число были их сутью, нумерология являлась частью пифагорейской традиции. Различия, ко-

1 Еще есть тривиум (*trivium*) — слово, обозначающее место встречи трех дорог и породившее другое слово — “тривиально”. Три дороги, которые имеются в виду, — грамматика, риторика и логика. “Перекресток четырех дорог” вместе с тривиумом составляет семь свободных искусств.

торое проводит современный научный метод между мистикой и тайной, в древнем мире не существовало. Нумерология лежит и в основе китайской книги предсказаний И-Цзин (составленной, видимо, около IX века до н. э., но, согласно легенде, датируемой 2800 годом до н. э.), и в основе Каббалы — эзотерического течения внутри иудаизма, датируемого примерно 1000 годом н. э.

Самой совершенной формой природы для пифагорейцев была окружность. Пифагор поместил Землю в центр сферической вселенной, а простые числа описывали движение нескольких известных тогда планет. Поскольку ни сам Пифагор, ни его последователи не оставили практически никаких записей, еще вопрос, что точно можно приписать Пифагору. Сегодня доподлинно известно, что не он сформулировал теорему своего имени¹ и не он открыл связь между музыкальными интервалами и простыми числами (что обычно тоже приписывалось ему)².

Гераклит (535–475 до н. э.) описывал то, каким образом космос был создан из первородного хаоса. Космос — это порядок, наведенный в хаосе, то есть то, что мы наблюдаем в качестве материального мира. Упорядочивающий принцип называется *logos* (отсюда происходит суффиксология), что иногда переводится как

1 Теорема Пифагора, как известно любому школьнику, гласит, что квадрат длины гипотенузы прямоугольного треугольника равен сумме квадратов длин его катетов.

2 Согласно приписываемому Пифагору закону, главные созвучия определяются простыми числовыми отношениями 2/1, 3/2, 4/3. Половина струны звучит в октаву, 2/3 — в квинту, 3/4 — в кварту с целой струной.

“слово” вслед за английским переводом оригинальной греческой версии Евангелия от Иоанна: “В начале было Слово”. А хаос — это состояние, где нет вещей, где ничто не имеет имени. Отсутствие чего-то или ничто — это совсем разные вещи. Именно называние вещей выстраивает космос из хаоса. Очевидно, это и было исходным смыслом акта Сотворения мира, когда Бог выделил из хаоса то, что затем стало вещами со своими именами (свет, земля, рай, ночь, день и т. д.). Идея средневекового богословия о создании мира *ex nihilo* (из ничего) опиралась именно на этот момент истории творения.

Гераклит писал, что изменение, характеризующее также как огонь, — фундаментальное свойство мира, это вполне созвучно с современным “все есть форма выделения энергии”.

От философии Парменида (ок. 510 — ок. 450 до н. э.) остались лишь фрагменты одной поэмы. Он писал, что существование вечно и неизменно: то, что мы воспринимаем как изменение, например при движении тел, есть лишь иллюзия. Парменид отрицал небытие и провозглашал реальность неизменной глобальной сущностью. Платон признавал его (“наш отец Парменид”), идеи Парменида значительно повлияли на его философию, но сами они дошли до нас в редуцированной форме латинского изречения *ex nihilo nihil fit* (из ничего ничто не возникает).

Эмпедокл (ок. 490 до н. э. — 430 до н. э.) синтезировал философии предшественников. Космос Эмпедокла состоял из земли, воздуха, огня и воды, а также из двух принципов — притяжения и отталкивания (они

же — любовь и борьба). Эти четыре элемента стали строительными кирпичами материального мира вплоть до европейского Возрождения.

Левкипп жил в первой половине V века до н. э. От него не осталось ни одного слова, и мы знаем о нем лишь потому, что он был ментором Демокрита (ок. 460 до н. э. — ок. 370 до н. э.), который предложил философию атомизма, по-видимому заимствованную у учителя. Аристотель был поклонником Демокрита, и только благодаря аристотелевой критике атомизма мы хоть что-то знаем об этой теории. От большого наследия Демокрита осталось лишь несколько фрагментов, его труды в основном известны через свидетельства других философов. Атомизм гласит, что все состоит из маленьких, неделимых и всегда существовавших частиц, называемых атомами. Некоторые атомы, например, с шипами, другие — круглые. Разница между атомами, их поверхности и формы, то, как они присоединяются друг к другу, — все это объясняет, почему разные субстанции имеют различные свойства. Атомы, из которых состоит пища, воздействуют на язык по-разному, что объясняет вкусовые ощущения. Вкус не является существенным свойством пищи, ее главное свойство — атомарная структура. Даже душа имеет атомарную структуру и состоит из лучших атомов.

Демокрит первым произнес, что во вселенной существуют другие миры с другими солнцами и лунами.

Философия в том виде, в каком она бытовала у древних греков, была верой в то, что мудрость — суть космоса. Досократики унаследовали двухтысяче-

летнюю традицию поэтической мудрости от шумеров. И если их собственные труды далеко не всегда представляли в поэтической форме, они часто имели силу поэзии.

Книги Екклесиаста, Притчи Соломоновы, Иова, Песнь песней и другие библейские тексты были написаны в то же время. Конфуций (551—479 до н. э.) был почти современником Пифагора. Будда, по примерным оценкам, жил между 563 годом до н. э. и 483 годом до н. э., хотя современные ученые склоняются к более поздней дате — вокруг 400 года до н. э. Согласно китайским источникам, философ Лао Цзы жил в VI веке до н. э., хотя теперь историки относят его к IV веку до н. э. Вполне вероятно, что и персидский поэт и пророк Заратустра жил в эту же эпоху, хотя информация о годах его жизни крайне спорна: он мог жить и в 60 веке до н. э.

Сократ (ок. 470 до н. э. — 399 до н. э.) был прозван мудрейшим из греков дельфийским оракулом и был ментором, вероятно, самого знаменитого философа на свете. Английскому математику Альфреду Норту Уайтхеду (1861—1947) принадлежит известное высказывание о Платоне (428 или 427 до н. э. — 348 или 347 до н. э.): все, что было сделано после Платона, — не более чем сноски к философии. Платон основал свою Академию в роще, принадлежавшей Академу, откуда происходят само слово и выражение “сады Академа”. Академия просуществовала до 529 года н. э., более 900 лет. Оксфорд и Кембридж были основаны в 1231 году — со-

ответственно, только после 2180-го они превзойдут годами школу Платона.

Платон видел, что материальный мир подвержен разрушению и исчезновению, то есть является временным и иллюзорным. Для него реальным миром был вечный мир идеалов. Например, в платоническом мире существуют совершенные геометрические формы. Движение небесных сфер происходит по кругу, как и в философии Пифагора, потому что круг — совершенная, идеальная форма. Небесные тела являются сферами по той же причине. Информация о том, что планетные орбиты являются эллипсами, а не окружностями, до сих пор слегка шокирует нас, настолько мы вслед за древними склонны полагать, что все движение небесных сфер происходит по кругу.

Платон развил модель пифагоровой сферической вселенной как серии вложенных сфер, вращающихся одна внутри другой, с Землей в центре. Всего насчитывалось семь небесных сфер, несущих известные на тот момент планеты и Луну. Бог располагался за седьмым небом. По Платону, природа не чиста, в ней нет совершенных форм. Подлинная сущность вещей постижима только разумом, мудростью. Космос как средоточие порядка и добра — философия, также унаследованная от Пифагора. Вселенная музыкальна и обладает душой, она живет и движется, а Земля является ее центром. При этом Платон был первым, кто задался вопросом о смысле существования вселенной.

Платон настаивал на математических основаниях природы, что мало интересовало его ученика Аристотеля (ок. 384 до н. э. — 322 до н. э.). Аристотелю было

интереснее то, как небесные сферы движутся внутри друг друга, чем их идеальная природа. В его космологии насчитывается 54 сферы, включая внешнюю, где располагаются неподвижные звезды. Аристотель заимствовал четыре элемента Эмпедокла и добавил к ним собственный, пятый — тонкую субстанцию, названную эфиром (или квинтэссенцией), из которого состояли небесные сферы и тела. К Средневековью эфир понемногу затвердел и превратился в хрусталь.

Согласно Аристотелю, все изменения происходят только в пространстве от Земли до Луны, вне этой подлунной сферы царит вечный, никогда не изменяющийся эфирный мир. В подлунном мире тяжелые предметы падают на землю, потому что в них больше земли, чем в более легких предметах, что тянет их к месту более присущего им нахождения. Предметы с более воздушной природой, такие как перья, будут стремиться к более воздушной среде. Аристотелевы воззрения на мир слишком обтекаемы, что не очень допустимо в рамках современного научного метода. Чтобы получить из этого точное научное описание, нам следовало бы вычислить количественный состав объектов и вывести математические соотношения, которые выстраивают причинно-следственные связи между явлениями и позволяют делать достоверные предсказания.

Как и многие ученики, Аристотель в чем-то противостоял ментору. В частности, Аристотель верил, что лучшее постижение мира — наблюдение. “Нет ничего в уме, чего первоначально не было бы в чувствах” — этими словами теолог XIII века Фома Аквинский описывал методологию Аристотеля. Тем не менее Аристо-

телевы наблюдения никогда не доходили до исследования природы. Он рассматривал мир со стороны и вместо пристального наблюдения, которое характерно для наших нынешних экспериментов, делал выводы о том, каким тот должен быть. Например, Аристотель объявил, что у мужчин и женщин разное количество зубов, хотя даже самое поверхностное наблюдение тут же выявило бы ошибку в рассуждении. Однако вера Аристотеля в физически существующий мир, который можно наблюдать в целях постижения, — шаг по направлению к современному научному методу. Отличие состоит в том, что у Аристотеля человеческое восприятие мира преобладает над исследованием реального положения вещей. Для Аристотеля было очевидным, что тяжелые предметы падают быстрее, чем легкие. Потребовалось 2000 лет исследовать природные явления, чтобы доказать, что это не так.

В IV веке до н. э. самый знаменитый ученик Аристотеля Александр Великий (356 до н. э. — 323 до н. э.) захватил Месопотамию, которая служила перекрестком путей между аккадской, вавилонской и ассирийской (и многими другими) империями, но вскоре после этого ее историческое значение стало уменьшаться. В 331 году до н. э. Александр основал город Александрию. В начале III века до н. э. была построена библиотека, названная храмом муз (отсюда слово “музей”), а первым библиотекарем стал Деметрий, еще один ученик Аристотеля. Библиотека превратилась в самое большое хранилище знаний того времени, ее стены вмещали около полумиллиона манускриптов. Одним из известных хранителей Алек-

сандрийской библиотеки был Эратосфен (ок. 276 до н. э. — ок. 194 до н. э.), который сделал первый точный расчет длины экватора Земли. К тому времени греки уже знали, что Земля должна иметь форму сферы, поскольку она бросает искривленную тень на поверхность Луны. Используя полученную от одного из посетителей библиотеки информацию о том, что в полдень солнце светит прямо в колодец неподалеку от Асуана, Эратосфен понял, что сможет вычислить длину окружности Земли. Зная расстояние от Александрии до Асуана, угол тени, отбрасываемой колышком, в полдень в Александрии, и тот факт, что в Асуане в это время тени нет, Эратосфен смог вычислить искривление Земли между двумя точками. Исходя из этих данных было уже делом техники высчитать длину целого круга, сегментом которого была дуга между Асуаном и Александрией. Этот круг — экватор Земли.

Его расчет дал цифру в 250 тыс. стадий, хотя историки до сих пор не могут точно сказать, какова была длина греческой стадии. Современные археологические изыскания позволяют заключить, что расчеты Эратосфена менее чем на процент отклонялись от реальной цифры (чуть более 40 тыс. км). Это самый поразительный расчет в череде точных измерений, сделанных древними греками, не повторенный вплоть до новейшего времени¹.

1 Христофор Колумб (1451–1506) игнорировал измерения Эратосфена и его последователей, будучи уверенным, что Земля гораздо меньше. Возможно, если бы он был убежден в обратном, он бы не отправился в путешествие.

Библиотека сгорела при осаде города Юлием Цезарем в 48 г. до н. э., но была восстановлена. Большую часть ее содержимого сожгли в III веке н. э. по приказу императора Аврелиана, а в 391-м оставшиеся спрятанные манускрипты были уничтожены тогдашним епископом Александрии Феофилом вместе с прочими языческими храмами. Последним библиотекарем стал Теон, отец Гипатии, последовательницы платонической школы, математика, астронома и жрицы Изиды. Гипатия была убита — с нее содрали кожу обломками ракушек¹ — бандой христиан в 415 году в возрасте 45 лет. В 642-м оставшиеся в целости манускрипты, по некоторым источникам, использовались арабскими завоевателями Египта в качестве топлива для подогрева ванн. Это, скорее всего, апокриф, сочиненный позднее с целью дискредитировать мусульманских завоевателей, но, как бы то ни было, к концу VIII века от тысячелетней истории библиотеки не осталось ровным счетом ничего.

Ко времени заката Александрийской библиотеки — к слову, она была не единственным хранилищем древнего знания, у нее был соперник в Пергаме в 200 году до н. э. — большая часть накопленного древним миром была либо утрачена навсегда, либо потеряна для Запада на века. В конце IV — начале V века святой Августин переработал идеи Платона в русле христианской

¹ Греческое слово *ostrakois* имеет и другое значение — “черепица”. (Греки придумали систему, при которой гражданин может быть изгнан после голосования, причем “голоса” писали на кровельной черепице, отсюда произошло слово *ostracise* — подвергать остракизму, или, дословно, изгонять из общества.)

веры. Римский философ VI века Аниций Манлий Сестерин Боэций (480–524 или 525) посвятил жизнь сохранению античного знания, переведя многие греческие тексты на латынь. Он был одним из последних ученых — знатоков греческого языка перед окончательной потерей Западом контакта с классическим миром Античности. Иногда Боэция называют последним классическим автором, его шедевр *Consolatio Philosophiae* (“Утешение Философией”) был написан в тюрьме в ожидании казни. Тракта́т перевел на английский язык Джеффри Чосер (ок. 1343 — ок. 1400) в XIV веке, когда западный мир, в особенности Италия, начал восстанавливать свою связь с Античностью.

Возрождение — небывалый расцвет разума, последовавший за Темными веками — обозначило не только повторное открытие Западом классического знания, но и открытие нового, выросшего за века в арабском мире. Багдад был центром цивилизованного мира в течение 100 лет, последовавших после смерти пророка Мухаммеда (ок. 570–632), практически недоступным для Запада. Веками арабский мир охранял и приумножал то, что осталось от античной культуры. Как правило, история науки рассказывается как история Запада, а четыре (или более) сотни лет арабской мысли оказываются на обочине. Порой то самое единое “мы”, которым наука хотела бы оперировать во вселенском масштабе, оборачивается разобщением даже в земном масштабе.

Длительное время знание было именно арабским знанием. Особенное отражение это нашло в алхимии — от арабского слова *al-kimiya*, в свою очередь

происходящего от египетского слова *ketē*, “черная земля”, то есть черный нильский ил. Алхимия изучает дух и материю как части единой системы, которые разделились только в новое время. Ньютон написал очень много на тему алхимии, включая комментарий к “Изумрудной скрижали” — тексту, который предположительно открывает секрет превращения изначальной космической субстанции в другие формы. Согласно легенде, “Изумрудная скрижаль” была написана египетским богом Тотом (он же Гермес Трисмегист) и некогда хранилась в Александрийской библиотеке. Этот текст был широко известен на Западе и привел к развитию целой системы познания — герметизма, построенного на секретности и непонятности для непосвященных. Современник Ньютона и отец химии Роберт Бойль также очень интересовался алхимией и герметизмом. Его “Диалог о трансмутации металлов” был утерян, но впоследствии восстановлен из фрагментов. Вся история химии, как и этимология самого слова, прослеживается от алхимии.

Во времена Возрождения многие классические произведения, сохранные и переработанные арабским миром, переводились на латынь, но не с греческого оригинала, а с арабского. Искусство перевода надолго стало одним из высших достижений Возрождения. *Corpus Hermeticum*, собрание греческих герметических текстов II–III веков, было переведено на латынь в 1460 году флорентийским философом Марсилио Фичино (1433–1499), который ради этого даже отложил перевод диалогов Платона. Флоренция была центральным местом для гуманистической традиции и Возрож-

дения в течение всего XV века, и *Corpus Hermeticum* стал необычайно влиятелен на сотни лет — даже после Возрождения. Философия гуманизма — идеи о том, что человечество само вершит свою судьбу, — во многом произошла от этих текстов. Возможно, покажется удивительным, что гуманизм не преследовался Церковью. Скорее, случилось обратное: христианское и герметическое знания объединились в гуманистическом христианстве. Древнегреческое членение любви (эрос, агапе, потос и химерос) было рассмотрено и вошло в гуманистическую философию. От Платона нам стало известно об особом отношении Сократа к Алкивиаду — том, что позже станет называться платонической любовью, — и оно нашло новое выражение во времена Возрождения, став любовью между человеком и Богом. Гуманизм не столько отрицает Бога, сколько утверждает недостаточность веры при познании мира — к ней необходимо присовокупить рациональное мышление и наблюдение. Законы природы либо являются законами божьими, либо существуют сами по себе, но в любом случае человеку они доступны только через мышление и измерение. С другой стороны, божественный замысел постижим посредством созерцания.

На сотни лет Запад лишился греческого языка. Итальянский поэт Петрарка (1304–1374) пытался изучить греческий, но претерпел неудачу. Данте знал о Гомере, но не мог его читать. Итальянский писатель Боккаччо (1313–1375) был одним из первых, кто научился греческому, и он настоял на том, чтобы его изучали в университете Флоренции. Греческий язык

восстановил свои позиции в Италии к середине XV века. Именно изучение греческих религиозных манускриптов привело Мартина Лютера (1483–1546) к идее протестантизма.

В XIII веке философ и теолог Фома Аквинский (ок. 1225–1274) почти в одиночку объединил христианскую мысль с Аристотелем. Эта философская система продержалась весь XVI и весь XVII века и, можно сказать, жива до сих пор. Вселенная же описывалась, пусть и с небольшими изменениями, в терминах космологии Аристотеля даже в самый расцвет Возрождения.

Церковь была последней инстанцией как в вопросах веры, так и в вопросах материальных, и если первым представителем Бога на Земле был папа, то вторым — Аристотель. К Аристотелю волей-неволей сводились все полемические споры. Но даже он ничем не смог помочь Церкви в проблеме со сдвигающейся датой Пасхи: за полторы тысячи лет весеннее равноденствие сдвинулось с 21 на 11 марта. Решение этих календарных проблем принадлежит истории науки, но поиски решения неразрывно вплетены в историю христианства.

Были надежды на то, что Птолемеи уточнения к Аристотелю, открытые в переводе XV века, помогут разрешить ситуацию. Космология Аристотеля была расширена и улучшена Клавдием Птолемеем (ок. 100 — 170 н. э.), египетским астрономом, который работал в Александрии и писал на греческом языке. Перевод IX века его центральной работы, “Альмагеста”, на арабский не получил на Западе полноценного статуса, а перевод XII века на испанский и более поздний — на ла-

тынь не смог передать многие технические детали Птолемеевой космологии. Только восстановление статуса греческого языка к XV веку позволило работам Птолемея занять подобающее им место.

Птолемей был астрономом и мистиком. Как и Аристотель, он помещал Землю (а с ней и человечество) в центр своей космологии, то есть предположительно и в духовный центр космоса. Он также представлял себе ничтожность человечества в ошеломляющих масштабах вселенной. Он писал, что Земля, несмотря на ее центральное положение, может рассматриваться всего лишь как математическая точка (то есть безразмерная величина) по отношению к целой вселенной.

До сих пор неизвестно, насколько Птолемей был оригинален. Похоже, он многое заимствовал у Гиппарха (190–120 до н. э.), который жил тремя веками ранее и чьи труды были утрачены. Название главного трактата Птолемея “Альмагест” — латинская форма арабского слова, означающего “великая книга”, а сам трактат — собрание 800-летних астрономических наблюдений, который дает представление о познаниях греков в астрономии. Птолемей, последователь Платона, добавил к совершенным окружностям планетарных орбит так называемые эпициклы, расшатав тем самым физическую реальность аристотелевой космологии. Эпициклы (идея заимствована у Аполлония Пергского, III век до н. э.) — это дополнительные небольшие круговые орбиты, носящие абстрактный математический характер (платонический) и призванные компенсировать наблюдаемое неравномерное движение планет, отклоняющееся от идеальных расчетных орбит.

Птолемей никогда не объявлял свою модель чем-то большим, чем математическое описание. Его система предлагала различные формулы для вычисления позиций каждой планеты, по сути являясь просто сводом таблиц с данными, при этом не всегда точными. Птолемея система не могла похвастать и большим единообразием — тем, чего мы ждем от современной научной теории. Испанскому королю и астроному Алонсо Х (XIII век) приписывают следующий отзыв об эпициклах: “Если б я присутствовал во время творения, я бы дал совет получше”.

Уже XVI веку было ясно, что великий труд Птолемея оказался не тем, чего от него ожидали.

Церковь была вынуждена благословить попытки построить улучшенную космологию, которая обеспечивала бы более надежный календарь. Очевидным источником свежих идей были вновь открываемые античные авторы. Польский астроном и клирик Николай Коперник (1473–1543) вдохновлялся Аристархом (III век до н. э.), чьи идеи дошли до нас только в передаче Архимеда (ок. 287 до н. э. — ок. 212 до н. э.). Аристарх первым предложил модель гелиоцентрического космоса. Он также понимал, что движущаяся земля доказывает удаленность звезд, потому что они не движутся. В обычной жизни, когда мы двигаемся вокруг близких предметов, мы замечаем, что их расположение относительно друг друга меняется. Это параллакс — изменение положения объекта относительно его фона при движении наблюдателя. В аристотелевой космической модели между Землей и звездами нет параллакса, потому что все они неподвижны:

Земля неподвижно закреплена в центре вселенной, а звезды зафиксированы на неподвижной небесной сфере, расположенной за орбитами Солнца и планет. Любая теория, в которой Земля движется, должна была бы учитывать тот факт, что звезды вроде бы неподвижны. Дело, однако, в том, что параллакс между Землей и звездами имеется, поскольку звезды находятся далеко, они выглядят неподвижными. Столь малое изменение перспективы было так сложно заметить, что звездный параллакс впервые обнаружили лишь в XIX веке, когда достаточно возросла мощность телескопов. В течение многих веков аргумент Аристарха о большой удаленности звезд воспринимался аргументом против его гелиоцентрической теории, а во все не в ее поддержку.

Коперник, знавший Птолемея «Альмагест» вдоль и поперек, понял, что можно упростить модель Птолемея, если расположить Солнце в центре космоса. Его модель, как и модель Аристарха, строго говоря, не столько гелиоцентрична, сколько гелиостатична — неподвижная Земля заменяется на неподвижное Солнце. Коперник продолжал верить в хрустальные сферы, но сократил их количество — в птолемеевой системе их со временем стало около 80, у Коперника их 34.

Коперник откладывал публикацию своей работы, *De revolutionibus orbium coelestium*, почти до самой своей смерти в 1543 году. Часто говорят, что он не спешил с обнародованием своих идей из боязни гнева Церкви, но скорее он опасался реакции коллег или просто был слишком занят: помимо занятий астронома и католического клирика он также был врачом, дип-

ломатом, философом, астрологом, переводчиком, юристом и чиновником. Как и Аристарх, он не знал, как объяснить кажущуюся неподвижность Земли. Не было у него и объяснения тяготения предметов к Земле. Коперник постулировал существование притягивающей силы, но не смог разработать теорию с достаточной предсказательной мощностью. Его сила была мистической — “не что иное, как некоторое природное стремление, сообщенное частям божественным провидением творца Вселенной, чтобы они стремились к целостности и единству, сходясь в форму шара”¹. Также было не до конца ясно, превосходит ли эта система Птолемею в простоте или точности. В любом случае, будучи опубликованной, она не встретила почти никакой реакции и никак не преследовалась до 1616 года, чуть менее 70 лет. Идеи Коперника могли и вовсе бесследно исчезнуть, если бы ими не заинтересовался Галилей.

С XIII века было известно, что линзы могут приближать далекие предметы, но только в XVII веке телескоп был изобретен голландцами. Новинка использовалась для подсматривания за людьми на улицах. Галилео Галилей (1564–1642) создал первый телескоп, руководствуясь устным описанием голландского изобретения, но даже его улучшенная система линз давала расплывчатое изображение, не имеющее ничего общего с кристально чистыми картинками современных устройств. Гали-

1 Пер. проф. И. Веселовского. (*Прим. перев.*)

лей, возможно, и наводил свой телескоп на людей, но день, когда он направил его в небо, вошел в историю. Английский астроном Томас Хэрриот (1560–1621), видимо, стал первым человеком, использовавшим телескоп в астрономических целях². В 1609 году он начал картографирование Луны. Но именно Галилей первым понял, что на Луне есть свои горы и долины.

В космосе Аристотеля подлунный мир был местом разложения вещей, поскольку только здесь они подвергались изменениям. Не будучи центром космоса, Земля была дном вселенной, местом падения земных объектов. Такая точка зрения нашла свое отражение в христианской теологии прямиком из времен св. Августина (354–430 н. э.). Данте Алигьери (1265–1321) в “Божественной комедии” располагает ад в центре вселенной, а Сатану — в центре ада. Даже в XVII столетии, во времена Реформации, Земля рассматривалась как самая ничтожная из планет. Гуманизм был реакцией на эту тягостную теологию и попыткой отыскать для человека в космосе место повыше.

В космологии Аристотеля рай начинался от Луны и простирался дальше, оставаясь неизменным, безукоризненным, в буквальном смысле незапятнанным, а в христианской теологии, разумеется, еще и самым желанным местом на свете. Когда Галилей описал наблюдаемые им лунные горы, это дало повод подозревать космологию в изъянах или как минимум в несовершенстве разработки.

2 Кроме того, считается, что именно он впервые завез табак на Британские острова.

Иезуиты утверждали, что наблюдаемые Галилеем искажения идеальной поверхности Луны являются побочным эффектом самих линз, а не отражением реальной ситуации. Но для большинства из нас это стало моментом, когда мы доверили технологии расширить горизонты нашей чувствительности, когда мы поверили, что вселенная обладает многими свойствами, наблюдаемыми нами на Земле, и что рай не так уж серьезно изолирован.

По мере того как Галилей продолжал наблюдения, обе системы — и Аристотеля, и Птолемея — начали рассыпаться. 7 января 1610 года Галилей зафиксировал три “звезды” около Юпитера. В последующие ночи он обнаружил, что они изменили свое положение друг относительно друга, и это сразу выводило их из разряда неподвижных звезд. 10 января Галилей заметил исчезновение одной из них. Так состоялось открытие трех лун Венеры, одна из которых скрылась за ней. 13 января была обнаружена четвертая луна. Всего за неделю Галилей получил первое убедительное доказательство того, что не все небесные тела вращаются вокруг Земли, как предполагалось в рамках системы Птолемея. Позднее Галилей проводил наблюдения за фазами этих лун. Системы Коперника и Птолемея давали разные прогнозы о видимости этих фаз при наблюдении с Земли, наблюдения Галилея согласовывались с гелиоцентрической системой, в которой Венера вращалась вокруг Солнца, а не вокруг Земли.

Серьезный вызов Птолемею мог быть воспринят как вызов авторитету самой Церкви, которая, не отри-

чая открытий Галилея, не принимала модель Коперника в качестве объяснения. Благосклонность Церкви была отдана другой модели, которая также могла объяснить новые открытия.

Тихо Браге (1546–1601) был датским аристократом, астрономом и астрологом, его главным научным вкладом стала точность астрономических наблюдений. Именно на основании наблюдений Браге немецкий астроном, математик и астролог Иоганн Кеплер (1571–1630) открыл законы движения планет, названные позже его именем. В его модели небесные тела имели эллиптические орбиты, что Галилей странным образом был не готов принять. (Законы Кеплера подтвердились позднее, когда уже был провозглашен закон Ньютона о всемирном тяготении.)

Тихо Браге верил в геоцентричность космоса и разработал модель, которая сохраняла этот аспект птолемеевой системы и одновременно объясняла новые наблюдения Галилея. Модель Тихо Браге допускала вращение вокруг Солнца всех планет, кроме Земли, а само Солнце продолжало вращаться вокруг неподвижной Земли. Математически модели Коперника и Браге эквивалентны. Более того, у системы Коперника есть недостаток — предполагаемое движение Земли и звездный параллакс еще нуждаются в объяснении.

В 1633 году инквизиция заставила Галилея отказаться от утверждения о том, что Земля движется, что он сделал, но, согласно легенде, прошептал: “И все-таки она вертится!” (*E pur si muove!*). По сути, Галилея заставили отказаться от нового научного метода, который ставил стройную математическую симмет-

рию Коперника ближе к истине, чем систему Тихо Браге.

Попытка Галилея выбрать модель Коперника как наиболее соответствующую физической реальности противопоставляла математическую стройность церковному авторитету (подтвержденному Библией), а также некоторым классическим идеям, освященным Церковью. Его могли заставить отступить назад, но прямая апелляция Галилея к математике как к последней инстанции заложила новый научный курс.

Возможно, было обоснованно со стороны Церкви осудить Галилея как зашедшего слишком далеко. В некотором смысле Церковь делала то же самое, что и наука, отказываясь принимать новую модель, пока та не начала описывать больше явлений, к тому же подтверждаемых экспериментальными наблюдениями. Чтобы бросить вызов авторитету Церкви, нужно иметь смелость, точно так же нужно ее иметь, чтобы бросить вызов науке: ни одна ни другая не торопятся раскрывать объятия навстречу чему-то новому. Разница заключается в том, что, несмотря на степень догматизма научного истеблишмента, сама методология науки обеспечивает временный характер всех теорий, на смену которым рано или поздно придут новые, если только прогресс не остановится.

Из боязни перед инквизицией научные исследования в католическом мире приостановились, зато расцвели в Англии и Голландии. Церковь могла сделать ставку на систему Браге, но в повседневном использовании система Коперника негласно завоевывала преимущество, особенно среди мореплавателей, по той

причине, что была значительно легче в использовании. Зачем ставить в центр Землю, если в гелиоцентрической модели получаются ровно такие же результаты, только расчеты проще? Даже сегодня невозможно опровергнуть модель Браге, хотя наличие звездного параллакса и относительное движение крупных структур вселенной вокруг своих центров тяжести делают эту теорию как минимум эксцентричной.

Можно сказать, что современная наука началась в 1543 году, когда Коперник убрал Землю из центра вселенной, заменив ее Солнцем. Одним простым движением он установил принцип, которому наука впредь неукоснительно следовала: человечество не находится не только в физическом, но и вообще ни в каком центре вселенной — ни буквально, ни метафорически. Научная революция началась не с помещения Солнца в центр космоса (откуда, впрочем, позже оно было смещено), а с удаления оттуда Земли. Вся эта история не про нас.

Сквозное движение _____

*Наше любопытство простирается
до отступающего горизонта.*

Адам Филиппс

Две тысячи лет человечество жило с особенным, сформулированным Аристотелем представлением о движении: объекты не движутся без внешнего воздействия и тяжелые объекты падают быстрее, чем легкие.

Галилей потратил значительную часть жизни на описание движения в новом ключе. Его первая работа называлась *De Motu* ("О движении"), а его последняя книга, "Диалог о двух системах мира" (напечатанная в 1638 году в Нидерландах без разрешения инквизиции), вновь возвращалась к этой теме. Галилей революционизировал идею движения, показав, что все тела независимо от их массы, будучи брошенными с одинаковой высоты, достигают земли в одно и то же время (по меньшей мере в безвоздушном пространстве). Скорее всего, он пришел к этому выводу путем размышлений, а не эксперимента. Связь между размышлениями и измерениями довольно тесна, но и непрочна — знаменитый эксперимент с пушечными ядрами разного размера, падающими с Пизанской башни, в действительности не имел места. Ядра из Галилеева мысленного

эксперимента, падающие одновременно только в вакууме, являются платоновской идеализацией мира, подсматриванием за тем, как все устроено на самом деле, а не как предстает перед нами в нашем искаженном мире. Однако из этих идеальных представлений создается теория, которую можно проверить. Эксперименты в конце концов показывают, что мир в действительности не таков, каким он нам представляется. Гений, подобный Галилею, иногда настолько уверен в постигнутом интеллектом устройстве мира, что им уже заранее предусмотрены результаты эксперимента. Галилей, возможно, не всегда проверял свои теории, зато простые смертные их проверяли. В отсутствии гениев наука обычно пользуется этими методами: природу наблюдают и измеряют, а на основании полученных данных выстраивают идеальную теорию. Современный научный метод может быть охарактеризован как продолжение и синтез философий Платона и Аристотеля. Наблюдение унаследовано от Аристотеля, а идеальное математическое описание процесса — от Платона. Хотя существует риск, что такой ретроспективный взгляд устанавливает слишком серьезные различия между двумя великими философами, не имеющие смысла в их собственную эпоху.

Именно Галилей, а не Эйнштейн первым осознал, что все движения относительны. В другом мысленном эксперименте он представил себе два корабля, идущих на постоянной скорости по пустому и идеально гладкому морю (совершенно платоническая ситуация). Одним только мысленным усилием Галилей пришел к выводу, что пассажиры кораблей не смогут сказать, кто

движется, они смогут зафиксировать только движение кораблей друг относительно друга. То есть нет такого эксперимента, который подтвердил бы мое движение, если экспериментатор двигается на другом корабле или мы оба двигаемся. Требуется береговая линия, нечто неподвижное, чтобы измерить движение относительно него. Но и берег не является неподвижным. Если Земля движется, как утверждал Галилей, и все остальные небесные тела тоже движутся относительно друг друга, то во вселенной нет настоящего движения. Во вселенной нет береговой линии, нет даже так называемых неподвижных звезд, потому что на самом деле они только кажутся таковыми из-за своей удаленности от нас.

В космосе Птолемея в центре располагалась неподвижная Земля — береговая линия вселенной, относительно которой можно было судить об остальных движениях. В космосе Галилея неподвижной точки уже нет — как, собственно, нет и самой идеи неподвижности. Отсутствие движения — это очень специфическое движение, которого не существует во вселенной, где все движется друг относительно друга, вселенная не знает отдыха. В мире Галилея каждый имеет собственную систему отсчета, от которой и меряется относительное движение остальной вселенной.

Исаак Ньютон (1643–1727) формализовал и развил идеи Галилея, получились три знаменитых закона движения. Аристотель близко подошел к пониманию принципа инерции: в вакууме, без трения, объекты двигаются до бесконечности, пока их не остановит внешнее воздействие. Но реакция на платоновские идеальные явления (типа вечности, вакуума и абсолютно

гладкой поверхности) привела его к обратным выводам. Он стал утверждать, что в вакууме вообще не может быть движения, да и самого вакуума в природе существовать не может. В последующие две тысячи лет принцип инерции открывался несколько раз, в том числе китайским философом Мо-цзы в III веке и арабскими философами в XI веке, но новое понимание движения не вошло в употребление, пока Ньютон его не сформулировал в рамках полного пересмотра нашего понимания физической действительности. Своими тремя законами Ньютон ввел математическое описание физического мира, в котором фигурируют такие понятия, как масса, скорость, ускорение и момент движения. В этом новом мироописании появилась еще одна сила, новая и ни на что не похожая, которой Ньютон посвятил отдельную теорию всемирного тяготения. Как и Коперник, Ньютон постулировал присущее всей материи качество действовать сквозь пространство, притягивая объекты друг к другу. Отличие заключалось в том, что Ньютон придумал, как описать природу этой силы на языке математики. В одном уравнении он показал, что сила тяготения прямо пропорциональна массе тела, на которое действует, и убывает пропорционально квадрату расстояния до него. Ньютон и Галилей придумали, как соотносить математику и познание. Природа “придумана на языке математики, — писал Галилей, — ее буквы — треугольники, круги и другие геометрические фигуры, без них невозможно понять ни слова, без них — тщетное блуждание по темному лабиринту”.

Ньютоновские три закона движения вместе с его теорией тяготения создали целый новый мир, описы-

ваемый в терминах силы, массы, тяготения и так далее. Его мир настолько реален для нас, что вряд ли что-то сможет его пошатнуть¹.

Сила тяготения Ньютона не менее загадочна, чем сила, которую предложил Коперник. Но на этот раз мы даже готовы купить билет, чтобы победить свое недоверие, настолько важной кажется нам теория Ньютона. Сила тяготения объединяет небо и землю, одна и та же сила заставляет яблоко падать, а Луну — вращаться вокруг Земли. В аристотелевой физике для разных частей космоса были разные описания: движение планет объяснялось не так, как движение объектов на Земле. Французский философ Рене Декарт (1596–1650) пытался объяснить движение планет действием воронок в своего рода жидкости, пронизывающей пространство. Ньютон предложил единое описание для больших и малых объектов по всей вселенной, причем не локальное, а подлинно универсальное. Он описывает, как должна выглядеть загадочная сила Коперника, как она должна себя вести с точки зрения математики, если мы жаждем объяснить, почему движение Земли незаметно для нашего глаза. Тяготение жестко скрепляет на Земле все, включая атмосферу, как будто это корабль, бороздящий пустоту. В любом приближении тяготение удерживает космические структуры вместе — планетные системы, галактики, галактические кластеры и кластеры галактических кластеров.

¹ Американский литературный критик Гарольд Блум утверждал, что Шекспир “придумал” нас как современных людей. Можем ли мы представить, что значит быть человеком до шекспировского изобретения языка современной чувственности? (“Шекспир. Изобретение человека”, Гарольд Блум, 1998.)

Ньютоновы законы движения объясняют, почему планеты находятся в постоянном движении. Планеты ближе к платоническому идеальному миру в своем бесконечном беге в пространстве без трения. На Земле законы Ньютона не столь очевидны. Двигающиеся объекты замедляются и останавливаются, поскольку наличествует сила трения: движение встречает препятствие, а его истинная, платоническая природа мутнеет.

В сугубо механистическом мировоззрении такую мистическую вещь, как тяготение, следовало бы запретить, но ученые — большие прагматики. Хорошо работающей теории немного мистики не помешает (на время) — это лучше, чем слишком много тайны. Декартова попытка механического объяснения движения планет более соответствует духу материализма, но теория Ньютона, пусть и основанная на нематериальных силах, имеет неоспоримые преимущества — универсальность и математическую стройность. Недаром же ньютоновская теория известна как теория всемирного тяготения.

Галилей и Ньютон устранили неподвижность, лежавшую в основе старого космоса, — заменили покой на относительность. Вращающаяся Земля перемещает людей, находящихся на экваторе, со скоростью полкилометра в секунду относительно Солнца. Земля обращается вокруг Солнца на скорости около 30 км/с, что подразумевает следующее: если предположить, что Солнце неподвижно, Земля движется относительно него со скоростью 30 км/с. Но Солнце движется — например, вращается вокруг центра галактики. Солнеч-

ная система оборачивается вокруг центра галактики за 225–250 млн лет, двигаясь на сверхзвуковой скорости 217 км/с. Млечный путь стремится к Андромеде со скоростью 88 км/с. Местная группа движется относительно центра сверхскопления Девы со скоростью 600 км/с. А сверхскопление Девы, в свою очередь, обращается вокруг галактического комплекса под названием Великий аттрактор. Вся вселенная находится в движении независимо от масштаба.

Покой — иллюзия. Мы определяем движение по отношению к осям времени и пространства, которые всегда с нами. Это обнаружил Декарт (1596–1650), который, наблюдая муху, летающую по комнате, понял, что каждый объект может быть описан четырьмя координатами: три координаты в пространстве и одна — во времени. Мы убеждаемся, что равномерное движение повсеместно измеряется одинаково — путем простого прибавления или вычитания, которое переводит его из одной системы координат в другую: я — на Земле, ты — в спиральном рукаве другой галактики. Было бы проявлением крайнего эгоцентризма определять, что будет считаться покоем. Мы, человечество, можем объявить Землю неподвижным центром вселенной разве что на уровне указа.

Ньютоновский универсум из отдельных двигающихся объектов разыгрывается на сцене, обрамленной пространством и временем. Пространство и время неизменны, вечны и бесконечны. Пространство бесконечно в своей протяженности, а время словно отмеряется маятником, раскачивающимся в вечности. В пустой вселенной, утверждает Ньютон, все равно будут

присутствовать время и пространство. Пустота будет наделена смыслом. Что бы ни было, пространство и время есть всегда, даже когда нет ничего.

Ньютоновское описание вселенной отлично работало несколько столетий. Но в современном, более быстром мире мы видим, что его теория перестает работать. Она работает для повседневных скоростей, но, приняв менее эгоцентричную точку зрения, мы увидим, что теория не универсальна, она не работает на очень высоких скоростях. Выясняется, что ньютоновская идея движения верна только для некоторых видов движений, что это приблизительное описание, как, впрочем, и любые научные теории.

Иногда теорию можно спасти путем модификации, в иных случаях, для более подробного описания мира, требуется описывать его совсем иначе.

Альберт Эйнштейн (1879–1955) переосмыслил вселенную, чтобы объяснить новые явления, необъяснимые в рамках ньютоновой механики. Эйнштейновское средство получилось сильнодействующим. Время и пространство оказались не просто не абсолютны, какими они были у Ньютона, но даже не таковы, какими мы их себе представляли. Эйнштейн показал, что есть более фундаментальные вещи, чем время и пространство.

Слово “фундаментальный”, как и слово “уникальный”, не предполагает сравнительной или превосходной степени. Не бывает ничего “уникальнее” или “уникальнейшего”. Если что-то фундаментально, ничего фундаментальнее уже не будет, но в научном дискурсе всегда обнаруживается еще одно дно. Мы не можем

быть уверены, что какие-то фундаментальные свойства мира останутся таковыми надолго. Истина в науке всегда временна. По сути, наука могла бы вообще оставить идею истины в стороне, поскольку есть только “ближе к истине” и “дальше от истины”. Даже научный прогресс может пониматься как знание того, что есть какое-то еще более фундаментальное свойство.

Эйнштейн выдвинул новую идею о том, что такое движение. Он понял, что все движения суть одно движение света. Чтобы это понять, нужна привычка. В нас настолько сильна идея движения, что воспринять его иначе — почти за пределами нашего воображения. Мы так свыклись с ньютоновской моделью пространства и времени, задающей систему координат всех прочих объектов, что теория Эйнштейна шокирует нас и спустя сто лет.

Знаменитая теория Эйнштейна, специальная теория относительности, впервые появилась в 1905 году под не очень удачным названием “Об электродинамике движущихся тел” (*Zur Elektrodynamik bewegter Körper*). Нынешнее название теории дал Макс Планк (1858–1947), хотя Эйнштейн полагал, что слово “относительность” может ввести в заблуждение и лучше использовать слово “инвариантность”, которое противоположно по смыслу.

Эйнштейн заимствовал у Галилея не столько его принцип относительности, сколько идею Коперника, лежащую в основе этого принципа: реальность должна быть одной и той же для всех наблюдателей, движущихся с равномерной скоростью. Эксперименты, проведенные на разных кораблях, движущихся с разными (но

постоянными) скоростями, будут давать одни и те же результаты. На Эйнштейна также повлияли работы австрийского философа и физика Эрнста Маха (1838–1916). Умозрительные эксперименты привели Маха к выводу, что нет смысла рассматривать движение отдельного объекта в пустой вселенной. Мы используем кажущуюся неподвижность далеких звезд как береговую линию для оценки движения нашего корабля — Земли. В ньютоновой вселенной движение отдельного объекта тоже осмысленно, потому что его можно наблюдать относительно вечных осей времени и пространства. Принцип Маха, до сих пор не до конца понятый, утверждает, что в каждом движении задействуется вселенная целиком. Вселенная отвечает противодействием на каждое действие, приложенное к объекту. Используя этот принцип, Эйнштейн смог учесть небольшие колебания Земли, выходящие за рамки ньютоновской механики и обусловленные влиянием остальной вселенной за пределами солнечной системы. Принцип Маха предполагает, что вселенная каким-то образом “узнает” о колебаниях Земли, более того, вселенная “узнает” даже о падении яблока наземь. Но главное, что Мах позволил Эйнштейну уйти от идеи обязательных осей пространства и времени в описании движения. Мах открыл подлинную относительность движения объектов без привязки к этим фундаментальным осям. Не ограничивая вселенную рамками времени и пространства, Эйнштейн смог переместить ее на другую сцену.

Конечная скорость света была известна за века до того, как Эйнштейн установил, что это — самая большая возможная скорость. Французский физик Арман

Физо (1819–1896) впервые тщательно замерил скорость света в конце 1840-х годов. К 1862-му погрешность измерения уже составляла не более 1%. Мгновенная передача информации, подразумевавшаяся в ньютоновской теории, была не разрешена в эйнштейновской. В мире Эйнштейна нельзя передать информацию со скоростью большей, чем скорость света, поскольку таковой просто не может быть. Одно только это утверждение подрывает ньютоновскую идею об относительности движения. Эйнштейн утверждает, что движение света не может быть относительным. Независимо от того, каков характер движения какого-либо объекта относительно света, его скорость никогда не будет превышать эту скорость (потому что скорости выше просто не существует). В ньютоновской модели относительная скорость двух пучков света, направленных друг навстречу другу, составит двойную скорость света. В эйнштейновском мире сложение этих скоростей не даст результата выше скорости света. Особенная природа света позволила Эйнштейну понять, что движение устроено иначе, нежели это описывал Ньютон. Высказывание “ничто не движется быстрее света” равносильно высказыванию, что скорость света инвариантна или не относительна. В ньютоновском мире, в котором мы якобы живем, мы считаем, что можем сказать, чем одно движение отличается от другого, хотя бы потому, что видим, как объекты двигаются относительно нас с разной скоростью. Мы даже полагаем, что знаем, как измерить эти относительные скорости. Врезаться прямым в стену ровно в два раза лучше, чем в лоб встречного автомобиля, двигающегося с той же скоро-

стью, что и наш. Эйнштейн же показывает, что мир устроен не так: то, что мы видим, — это мир, кажущийся нам таковым на низких скоростях, к которым мы привыкли в повседневной жизни. Можно сказать, описание Ньютона — это очень хорошее приближение. И дело не в том, что ньютонова модель перестает работать на скоростях, близких к скорости света, она не работает ни на каких скоростях. Просто на низких скоростях это сложнее заметить. В конце концов, наука нацелена не на приблизительные оценки, а на постоянное уточнение результатов измерения. Порой, чтобы уточнить измерения, нужно измерить другим способом. Для предметов, движущихся на сверхвысоких скоростях (близких к скорости света), сложение относительных скоростей не работает в привычном для нас виде. Чтобы объяснить несостоятельность ньютоновской модели, Эйнштейну пришлось определить движение совершенно иным образом. В едином описании вселенной нет места для движений разных типов, разной природы. Это невозможно, утверждает Эйнштейн: нужно что-то подправить в нашей концепции мироустройства.

Эйнштейн отбрасывает идею относительных скоростей в пользу более глубокого понимания: во вселенной есть одна скорость, которая не является относительной. Это и есть ключ к пониманию любого движения. Но как это понять? Как может движение пешехода быть одновременно и движением света? Звучит как бессмыслица. Но только потому, что мы якобы знаем, что такое движение, и рассуждаем в ньютоновских терминах. Эйнштейн описывает движение иначе, объединяя

пространство и время на более глубоком уровне. Пространство и время объединены, говорит Эйнштейн, в единую четырехмерную сущность, называемую пространственно-временным континуумом (или пространством-временем), и именно в этой реальности все движения суть одно. Они только кажутся нам разными, потому что мы воспринимаем пространство и время по отдельности. Даже обидно, что не нашлось лучшего слова для обозначения пространственно-временного континуума, — так это больше похоже на осторожное сочетание двух традиционных идей, а не на революционно новое явление.

Эйнштейн отменяет вечную и абсолютную реальность ньютоновских пространства и времени и заменяет их новым абсолютom — неизменной природой света. Время и пространство становятся относительными категориями, поскольку скорость света таковой не является. Одним из следствий этого “относительного” нового мира, по Эйнштейну, становится то, что часы идут медленнее для тех, кто движется относительно нас (наблюдателя). Что еще страннее, люди, которых мы наблюдаем, думают точно так же — что это наши часы идут медленнее. Но такая симметрия должна иметь место, если соблюдается принцип Коперника, согласно которому все мы наблюдаем вселенную одинаково. Наблюдая за движением света, мы видим, что “его” часы замедляются настолько, что не идут вообще. Свет не движется во времени, исключительно в пространстве. Для него времени не существует. Исходя из этого наблюдения, стоит попытаться понять, каким образом движение света можно сравнивать со всеми прочими

движениями. Любое движение можно рассматривать как частичное движение во времени, частичное — в пространстве. Пешеход движется очень медленно по сравнению со светом, потому что значительная часть его движения происходит во времени, а не в пространстве. Но если бы мы могли увидеть движение “как оно есть”, в пространственно-временном континууме, мы увидели бы, что движение пешехода и движение света ничем не различаются.

Но у эйнштейновской модели есть серьезная проблема. Его теория не объясняет, почему в реальности мы воспринимаем время и пространство по отдельности. Трудно согласиться с тем, что мы живем в четырехмерном мире, а не в трехмерном пространстве с четвертой координатой — временем. Смогли бы мы воспринять это глубинное единство, будь мы сознательнее, или же в эйнштейновской модели не хватает чего-то, что делает ее математическим, а не физическим описанием действительности, то есть платоновой моделью, а не аристотелевой? С другой стороны, не следует забывать и о нашей естественной реакции на окружающий мир — поместить самих себя в его центр, что явным образом также не совпадает с реальным устройством этого мира.

Эйнштейн стремился сделать свою теорию общей. Специальная теория относительности учитывает равномерное движение и ускорение, но не силу тяготения. Простой (но нереализуемый) мысленный эксперимент показывает, что нечто в природе тяготения вступает в противоречие с известной нам природой света. В самом деле, если Солнце в один миг исчезнет из вселен-

ной, мы почувствуем это мгновенно, поскольку, по Ньютону, сила тяготения действует мгновенно. Но увидим мы это только через восемь минут — столько требуется свету, чтобы дойти от Солнца до нас. Этот явный парадокс требует какого-то разрешения.

Эйнштейн нашел способ объединить разные картины — гравитационную и световую. Прорыв случился в тот момент, когда он увидел симметрию между ускорением и тяготением. Он назвал это озарение “счастливейшей мыслью своей жизни”. Но победа далась тяжело. Эйнштейн, никогда не считавший себя математиком, был вынужден изучить некоторые весьма сложные математические разделы, чтобы записать свою теорию на языке этой дисциплины. Потребовалось десять лет. Уравнения теории достаточно сложны, в отличие от пресловутого изящного уравнения $E = mc^2$, лежащего в основе специальной теории относительности. Английский писатель Ч. П. Сноу (1905–1980) однажды заметил, что, не будь Эйнштейна, мы все еще могли бы ждать появления общей теории. Эта позиция поддерживается не всеми, да и в любом случае знать мы этого не можем.

Триумф общей теории относительности заключается в том, что мистическая природа ньютоновской силы тяготения исчезает в геометрии пространственно-временного континуума. Присутствие массы искажает пространство-время, тяготение и есть это искажение. Орбита планеты — просто курс, проложенный в пространстве-времени массой ее солнца. Земля вращается вокруг Солнца, потому что солнечная масса (и в меньшей степени — масса Земли) искажает пространство-

время и Земля движется согласно искривлению. Если бы Солнце было массивнее, пространство искривлялось бы круче, делая орбиту ближе и короче. Вокруг объектов с относительно небольшой массой типа нашего солнца искривление пространства-времени в большей степени выражается в искажении пространства. Рядом с более массивными объектами, например нейтронными звездами, становится заметным также и искажение времени. Эйнштейн избавил ньютоновское всемирное тяготение от мистицизма. “Материя диктует пространству, как ему искривляться, а пространство диктует материи, как ей двигаться”, — изящно подытожил знаменитый физик Джон Уиллер. Или, как сказал американский физик Митио Каку (р. 1947), “в некотором смысле тяготения нет; планеты и звезды движутся искривлением пространства и времени”. Меркурий, самая близкая к Солнцу планета, ощущает на себе гравитационный эффект сильнее всех. Небольшие странности его движения по причине нахождения в сильном гравитационном поле объясняются общей теорией относительности.

Гравитационный эффект наблюдается не только в астрономии: фактор замедления времени был измерен во вполне земных условиях. Часы на самом верху 25-метровой башни Гарвардского университета идут быстрее — на одну секунду каждые 100 млн лет — часов у ее основания, где гравитация немного сильнее. Разница в точности часов была предсказана общей теорией относительности. Но теперь это подтверждено точными измерениями.

Если бы Солнце внезапно исчезло из эйнштейновской вселенной, пространственно-временной контину-

ум распрямился бы, создав волну, мчащуюся в нашу сторону со скоростью света. Мы ощутили бы исчезновение гравитации Солнца одновременно с тем, как увидели бы его собственное исчезновение. Теория Эйнштейна подводит к сходству между светом и гравитацией, которая отнюдь не очевидна в теории Ньютона. И свет, и гравитация являются способами передачи информации, оба ограничены скоростью света. Возможно, гравитация и свет — одно и то же, и мы могли бы это доказать, погрузившись в постижение действительности еще глубже и найдя объединяющую их симметрию. Эйнштейн провел вторую половину жизни в попытках объединить эти два фундаментальных явления природы. Такие попытки продолжаются и поныне.

Современная космология начинается с общей теории относительности. Математика общей теории настолько сложна, что поначалу даже непонятно, какова ее физическая интерпретация. Размышляя о применении своей теории ко вселенной в целом, Эйнштейн осознал, что придется исходить из некоторых упрощающих допущений о природе сущего, о том, какой должна быть вселенная. Эйнштейн сделал допущение, что вселенная должна выглядеть одинаково из любой точки наблюдения, что вселенная изотропна. Это допущение называется космологическим принципом и является очередным подтверждением идеи Коперника: никто не находится в привилегированном положении, никто не располагается в центре вселенной (бук-

вально или фигурально). Эйнштейн переворачивает принцип Коперника с ног на голову: раз центра вселенной нигде нет и вселенная одинакова со всех точек обзора, значит, центр повсюду. В итоге мы оказываемся в центре вселенной, но на равных со всем остальным.

Когда в 1915 году была опубликована общая теория относительности, появились предположения о том, как далеко простирается вселенная. Многие считали, что Млечный путь, возможно, и есть вся вселенная. Но с нашей Земли мы наблюдаем Млечный путь в виде дороги поперек всего неба — то, что римляне называли *Via Lactea* (буквально — “молочная дорога”)¹. Если бы *Via Lactea* и была целой вселенной, она бы выглядела иначе для других наблюдателей, смотрящих не с Земли, и, следовательно, согласно космологическому принципу Эйнштейна, она не могла быть вселенной.

Еще одно допущение Эйнштейна: содержимое изотропной вселенной распределено равномерно. Это, конечно, большое допущение. Очевидно, вселенная не является равномерной и однородной при любом приближении, которые мы рассматривали, но при самых больших масштабах наблюдения — за пределами структур из кластеров галактических кластеров — есть причины полагать эйнштейновское допущение корректным, хотя возникает неизбежный порочный круг в аргументации: исходя из допущенной однородности вселенной, мы открываем ее однородность. Но, повто-

1 Слово “галактика” происходит из греческого γαλαξίας — “молочный” (от γάλα — “молоко”).

рим еще раз, нас не должны останавливать такие философские уловки. Космологический принцип позволяет ученым применять общую теорию относительности к вселенной в целом, а отсюда возникает более глубокое понимание, подтверждаемое экспериментом и находящее выражение в технологическом прогрессе. Забудьте и считайте!

В течение нескольких месяцев после публикации общей теории относительности немецкий физик Карл Шварцшильд (1873–1916) нашел математическое следствие теории, которое предсказывало существование черных дыр (само название они получили только в 1967 году). Поначалу идея о таких странных объектах вселенной была встречена в штыки, в том числе и самим Эйнштейном. Но постепенно эти суперплотные космические тела получили признание в качестве одного из самых важных явлений вселенной.

К 1917 году Эйнштейн и другие ученые поняли, что уравнения общей относительности содержат некоторые нестабильности. Эйнштейн исправил положение, введя так называемую космологическую константу (не путать с космологическим принципом), которая удерживала равновесие уравнений. В первые годы освоения общей теории относительности было не очень понятно, как физически интерпретировать ее уравнения. Позже Эйнштейн даже называл космологическую константу самой большой ошибкой в своей жизни. Эйнштейновские ошибки, однако, имели свойство глубже проникать в суть вещей, нежели озарения других. Вскоре стало ясно, что динамическое решение уравнений может трактоваться как расширение самой вселенной, а кос-

мологическая константа вселенную как раз уравнивала. В то время идея расширяющейся вселенной представляла полнейшим абсурдом.

Ученые неохотно идут на введение дополнительных и произвольных элементов в теорию. Поддержание на плаву теории Птолемея путем постоянного добавления эпициклов служил хорошим примером. Всегда можно выстроить систему эпициклов для объяснения новых данных в движении планет, но ценой математической громоздкости теории и отсутствия физической реальности за ней. В современном научном методе физическая интерпретация теории является первостепенным условием. Без нее наука сводится к математическим абстракциям.

В 1922 году русский математик Александр Фридман (1888–1925) обнаружил, что уравнения общей теории относительности без константы в действительности описывают расширяющуюся вселенную. Эйнштейн поначалу опять возражал, утверждая, что за такой интерпретацией его уравнений не может стоять никакой физической реальности.

Бельгийский аббат и астроном Жорж Леметр (1894–1966) решил рассмотреть уравнения Эйнштейна в первоначальном виде, без константы. Если вселенная расширяется, она должна расширяться из чего-то меньшего. Доводя идею до ее логического завершения, Леметр предположил, что пространство и время могут быть свернуты в некое состояние, когда вся вселенная находилась одновременно в одной точке, что вселенная имела начало, до которого не было ни пространства, ни времени.

Рассуждения Леметра вряд ли могли кому-то показаться вовсе лишенными смысла, даже когда он описал вселенную как “космическое яйцо, взрывающееся в момент творения”. Но постулировать начало вселенной было, по мнению многих ученых, не самой удачной идеей: это походило на едва закамуфлированную христианскую догму, которую преподносит общественности католический священник в облики астронома. Но у Леметра нашлось оправдание своей двойной жизни: “Есть два пути к истине, я решил идти сразу обоими”.

До 20-х годов XX века наука следовала, пусть и невольно, общей для некоторых восточных религий точке зрения: вселенная вечна, бесконечна и беспричинна, она не нуждается ни в акте, ни в истории творения. Вселенная Ньютона никогда не заканчивается и никогда не начинается, в соответствии с вечным и неизменным Богом. Именно Божьи законы Ньютон стремился познать. Бог создал мир и законы природы, но сама вселенная существует вечно, как и Бог. Смотреть во вселенную Ньютона означает вечно всматриваться в прошлое, наблюдая все более удаленные объекты.

Английский астрофизик сэр Артур Эддингтон (1882–1944), оставив в стороне личное неприятие идеи создания вселенной, обнаружил у Леметра возможное объяснение загадочному наблюдению Хаббла, которое тот сделал двумя годами позже работы Леметра. Тут необходимо небольшое отступление. Одним из важных научных допущений является предположение о консистентности вселенной. Что бы мы ни понимали под свойствами, скажем, элементов, исходя из их поведения на Земле, мы ожидаем от них проявления тех же ка-

честв и в других уголках вселенной. Когда элементы сгорают, испускаемый ими свет дает определенный цветовой спектр на атомном уровне, который наблюдается посредством процесса, именуемого спектроскопией. Каждый элемент обладает уникальным спектром. В 1929 году американский астроном Эдвин Хаббл (1889–1953) обнаружил отчетливый водородный спектр в излучении далекой звезды, но с одной особенностью: спектр был как будто сдвинут, цвета — немного смещены в сторону красного. Поскольку мы исходим из того, что водород одинаков во всей вселенной, этот феномен определенно требовал объяснения.

Легкое объяснение этому нашлось благодаря эффекту Доплера. Австрийский физик Кристиан Доплер (1803–1853) первым объяснил эффект, который мы все постоянно наблюдаем в повседневной жизни. Самый простой пример — автомобиль скорой помощи, проезжающий мимо на большой скорости. Сначала звук выше, чем реальная высота тона сирены, а в момент проезда мимо он становится ниже. Звучит это так, будто высота тона вдруг падает, хотя в действительности резко падает сила звука, а высота падает постоянно в процессе движения автомобиля. Как и параллакс, эффект Доплера есть следствие изменяющегося соотношения наблюдателя и наблюдаемого¹. Аналогичное явление мы наблюдаем, когда спектр излучения сдвигается в красную сторону. Красное смещение указывает на то,

¹ Если вы не наблюдаете эффекта Доплера, когда автомобиль приближается, это значит, что он движется прямо на вас. В таком случае лучше отойти в сторону.

что у света падает энергия. А эффект Доплера объясняет, что наблюдаемое уменьшение энергии соответствует удаляющемуся от нас объекту. Падение интенсивности вызвано движением, а не какими-то свойствами объекта. Другими словами, мы наблюдаем тот же водород, но удаляющийся от нас. Объяснение простое, а выводы из него значительны, и именно они предсказывались Леметром.

Леметр высказал смелое предположение, что далекие небесные тела удаляются, и чем они дальше, тем выше будет скорость их удаления. Эти тела разбегаются не благодаря их собственному движению, а из-за расширения самого пространства. Наблюдения Хаббла в 1929 году и последующие исследования подтвердили эту интерпретацию. Практически все далекие объекты звездного неба кажутся удаляющимися от нас, и это явление лучше всего объясняется не случайно совпавшим направлением движения, а расширением самого пространства, уносящим их вдаль¹. Одним из первых наблюдений этого загадочного красного смещения стало наблюдение спектра туманности Андромеды. Сдвиг спектральных полос в красный конец спектра мог быть объяснен тем, что Андромеда удаляется от нас с самой большой известной на тот момент в астрономии скоростью. Повторяющиеся наблюдения космических тел с красным смещением (первоначально принимаемых за

¹ Галактики движутся по-своему, некоторые приближаются к нам, а некоторые удаляются. Важно понять, что расширение пространства уносит их дальше и дальше. И расширение пространства становится более значимым, чем собственное движение галактик, — это трудно, но необходимо понять.

звезды) стали подтверждением как расширения вселенной, так и существования других галактик. Андромеда и все прочие удаляющиеся объекты были подняты в ранге до галактик, но главное — произошло небывалое объединяющее событие: знания об атомном мире позволили понять вселенную в астрономическом масштабе. Как при первом взгляде Галилея в телескоп, вселенная вновь перестроила свою конфигурацию. Мы можем постигать вселенную, не только глядя на нее вдаль, но и тщательно вглядываясь в ее микроскопические глубины.

С устранением космологической константы из математики общей относительности вышло новое решение — так называемая теория Большого Взрыва, хотя и в этом случае автор теории сперва выступал против. Теперь, когда мы смотрим в космос, мы оглядываемся не обратно в ньютоновскую вечность, а в начало вселенной. Смотреть за горизонт означает листать историю вселенной в обратную сторону. Медленная материя, которую мы наблюдаем вокруг нас, движется тем быстрее и становится тем ближе к излучению, к свету, чем меньше становится вселенная. Когда вселенная возникла, существовал только свет с очень высокой энергией, из которого возникла вся материя вселенной. Вселенная — это развившийся свет.

Остатки того самого света, сохранившиеся со времен после Большого Взрыва, сегодня достигают нас, пропутешествовав через всю вселенную с самого начала времен. Этот свет попадает к нам в форме радиации, называемой реликтовым излучением. Оно было открыто в 1965 году и остается самым сильным экспе-

риментальным подтверждением того, что Большой Взрыв действительно имел место. Это излучение было впервые нанесено на карту вселенной с помощью спутника COBE (*Cosmic Background Explorer*), запущенного НАСА в 1989 году, результаты его наблюдений были обнародованы 23 апреля 1992 года. Новая разметка была проведена с помощью аппарата WMAP (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) в начале нового тысячелетия. Эти измерения дали, во-первых, самую детальную на сегодняшний день картину вселенной после Большого Взрыва, а во-вторых, наиболее точную датировку ее возраста. 11 февраля 2003 года НАСА объявила, что возраст вселенной составляет 13,7 млрд плюс-минус 200 млн лет. Карта трехлетних наблюдений была выпущена 17 марта 2006 года, пятилетних — 28 февраля 2008-го. Последние данные позволяют датировать вселенную еще точнее — 13,73 млрд плюс-минус 12 млн лет.

Эйнштейн произвел новую идею о том, что такое движение, с целью сделать любое движение частью единого явления. Природа света показывает, как можно провести такую унификацию. Эйнштейн пошел дальше, чтобы показать глубокую связь между светом и тяготением — тем, благодаря чему мы видим и постигаем вселенную. Большой Взрыв показывает, как началась вселенная — со светового шара 13,7 млрд лет назад. Спустя все эти годы мы знаем, что во вселенной есть сложные объекты, например человеческие существа, которые обнаружили, что все было некогда неразличимым излучением. Но, если однажды все было светом, вполне резонно задаться вопросом: как этот

свет превратился в материю? И как эта материя превратилась в нас?

До сих пор мы вглядывались вглубь вселенной посредством света и благодаря наличию тяготения. Развивающаяся наука тоже постоянно намекает на связь между светом и материей.

С помощью света и тяготения мы воспринимаем вселенную как некое ограниченное вместилище, заполненное движущимися объектами. Ограничивает ее горизонт; она простирается настолько, насколько мы можем видеть, — это и называется видимой вселенной. Есть все причины полагать, что вселенная простирается и за горизонт (и, возможно, бесконечно далеко), где законы природы могут быть весьма отличны от наших. Выражаясь фигурально, мы также наблюдаем вселенную, пытаясь ее понять. В случае вселенной это метафорическое погружение в ее природу совпадает с нашей буквальной зрительной способностью. Если мы хотим проникнуть глубже, нам необходимо более тщательное понимание природы и глубинных связей света и гравитации.

Другой выход

Но когда доходишь до определения “даже не мал”, масштабы теряются; “даже не мал” — это все равно что “чудовищно велик”, а приближение к атому оказывалось без преувеличения действительно роковым, ибо в миг последнего деления и дробления материальной частицы внезапно раскрывался астрономический космос!

ТОМАС МАНН, “Волшебная гора”,
пер. В. Станевича

Крохотные звезды постоянно напоминают о величине вселенной. Бескрайнее небо превозносилось в культуре со времен возникновения этой самой культуры. На небесах живут боги, к которым мы обращаемся в поисках знамений и смыслов.

Но ничто видимое невооруженным глазом не напоминает нам, что вселенная может быть и очень маленькой. Одним из первых эту новую территорию стал исследовать английский ученый и архитектор Роберт Гук (1635–1703). Его книга “Микрография” (*Micrographia*, 1664) стала бестселлером и была замечена, в частности, благодаря гравюрам, выполненным Кристофером Реном. Особенную известность

получило изображение блохи, которое раскладывалась до четырехкратного размера книги. Сэмюель Пипс (1633–1703) писал в своем знаменитом дневнике, что засиделся до двух часов ночи, потому что не мог оторваться от “самой гениальной книги, которую... читал за всю свою жизнь”. Только с изобретением микроскопа в самом мелком тоже удалось разглядеть полный смысла мир. Хотя микроскоп, как и телескоп, был изобретен в Голландии в начале XVII века, открытия Гука последовали через полстолетия после того, как Галилей впервые направил телескоп в небо.

Грандиозность, насколько это слово здесь уместно, малости этих миров видна даже в мальчишеской страсти первооткрывателей, которые были настолько поражены расточительством природы, что стремились подсчитать все, что им попадалось на глаза. Гук оценивал, что в одном квадратном дюйме пробки насчитывается 1 259 712 000 клеток — это самое раннее свидетельство клеточной структуры живых форм. Голландский исследователь Антон ван Левенгук (1632–1723), чьими микроскопами, не меняя их, пользовались более 150 лет, насчитывал 8 280 000 бактерий в капле воды.

Но, хотя XVII век стал свидетелем открытий вселенной как в большом, так и в малом измерении, только в XX веке поразительный микромир получил одну из главных ролей в нашем понимании вселенной в целом.

У нас нет названия для маленькой вселенной (“страна гномов” явно из другой оперы), а в языке нет

слов, чтобы обозначать перемещения в этом мире. Мы дотягиваемся до звезд, но куда мы тянемся, когда пытаемся приблизиться к маленьким предметам? Внутрь? Вниз? Под?

У нас есть представление, что, возможно, когда-нибудь мы сможем отправиться в путешествие по вселенной и увидеть, насколько она соответствует нашему описанию, но мы никогда не сможем исследовать мир атомов и субатомных частиц. У нас нет доступа к микромиру (если только не уменьшиться, как это удалось Алисе), мы можем быть лишь пассивными наблюдателями, используя свои навыки для улучшения собственного зрения.

Легко думать, что вселенная — это про все большое. В конце концов, что такое человеческий рост по сравнению с расстоянием между нашими ближайшими звездными соседями? Человек выглядит не больше нуля. Мы куда более просто воспринимаем идею места, которое содержит все, нежели идею места, которое, наоборот, содержит в себе ничто. Космическое пространство содержит в себе все, но где же ничто? Где-то дразняще близко. Мы понимаем, что для приближения к “ничто” нам нужно двигаться ближе и ближе, пока все будет становиться меньше и меньше, ведь мы уверены, что можем очертить вселенную, только глядя на все более и более крупные объекты, пока вообще не останется на что смотреть. Мы можем вообразить, что мы держим предмет, который съезживается до тех пор, пока не достигает места, прямо на нашей ладони, где таится ничто. Но где это место? Это не местонахождение и не пункт назначения,

но это похоже на непременный пункт назначения любого местонахождения.

Материалисты верят, что мир состоит из чего-то и это “что-то” может быть измерено и описано. Материалисты вынуждены придерживаться позиции, что, пока есть “что-то”, оно состоит из чего-то меньшего. Если материальное описание мира должно включать понимание, что такое “ничто”, из которого происходит “что-то”, тогда исследования все меньших и меньших объектов неизбежны. Как в физике, где исследуют атомы и их составные части.

Если самые большие структуры видимой вселенной могут быть охвачены вполне скромным количеством шагов с увеличивающимся размером, то логично предположить, что должно быть возможно проникнуть в самые мелкие структуры, уменьшая шаг. Мы способны спуститься (если это спуск) в микромир, съезжаясь до объектов длиной от метра до одной десятой метра (10 см), одной сотой метра (1 см), одной тысячной метра (1 мм) и т. д. Нам могут попадаться структуры не менее, а то и более загадочные, чем в большой вселенной. И каждый шаг приближает нас к величайшей загадке материального мира: что же такое это самое ничто?

100–10 см (10^0 – 10^{-1} м) _____

Самый низкий взрослый человек — Люсия Сарате (1864–1890), мексиканка, экспонат цирка Барнума, ее максимальный рост составлял 50,8 см. Человеческий зародыш достигает длины в 51,3 см от макушки до пят. В возрасте

до 20 недель зародыши меряются от макушки до крестца, поскольку в это время их ноги прижаты к телу.

10–1 см (10^{-1} – 10^{-2} м) _____

В 14 недель человеческий зародыш в среднем насчитывает 8,7 см в длину от макушки до крестца.

Самая маленькая птица в мире — колибри-пчелка, 5 см в длину. Ее гнездо шириной 3 см. Самое мелкое млекопитающее — либо свиноносовая летучая мышь, либо карликовая белозубка, смотря как определять мелкость. Летучая мышь насчитывает 3–4 см в длину и весит около 2 г. А белозубка — около 3,6 см длиной и 1,3 г. У летучей мыши, однако, самый маленький череп среди млекопитающих — 1,1 см.

10–1 мм (10^{-2} – 10^{-3} м) _____

Самые маленькие рыбы принадлежат к роду *Paedocypris* и водятся в Индонезии, их длина — 7,9 мм. Еще меньше, между 6,2 мм и 7,3 мм, находятся мужские особи удильщика, вид *Photocorynus spiniceps*, а вот их женские особи гораздо крупнее.

1–0,1 мм (10^{-3} – 10^{-4} м) _____

Булавочная головка имеет около 1 мм в поперечнике. Для большинства из нас не составляет проблемы раз-

глядеть объект размером с булавочную головку, то есть в одну тысячную нашей метровой линейки. Но только люди с превосходным зрением могут различить нечто длиной в одну десятую миллиметра (10^{-4} м), на четыре порядка меньше нас самих. Большинство клещей как раз такого, почти микроскопического размера. Прозрачный клещ (*Polyphagotarsonemus latus*) меньше чем 0,2 мм в длину.

0,1–0,01 мм (10^{-4} – 10^{-5} м) _____

Мельчайшие яйца насекомых находятся на границе различимого невооруженным глазом. Яйца мухи-паразита *Zenillia pullata* могут быть всего 0,02 мм длиной.

Клетки, из которых состоит вся животная и растительная жизнь, одна из базовых структур для всего живого, обычно находятся как раз в этом диапазоне. Клетки нашего тела во столько же раз меньше нас, во сколько гора больше.

0,1–0,001 мм (10^{-5} – 10^{-6} м) _____

Самые маленькие одноклеточные организмы, сине-зеленые водоросли и бактерии, находятся здесь. Эти организмы являются старейшими живыми существами и одновременно нашими самыми старыми родственниками: современное эволюционное мировоззрение поддерживает материалистическую веру в то, что фунда-

ментальное познание природы базируется на изучении самых малых ее объектов.

Вирусы находятся на краю этого диапазона. Их длина сравнима с длиной молекулы ДНК, обычно 0,001 мм (10^{-6} м). Хотя технически вирусы являются самой маленькой формой жизни, они не могут жить независимо от более крупных форм, которые для них исполняют роль хозяина.

1000–100 нм¹ (10^{-6} – 10^{-7} м) _____

Самый маленький живой организм, зафиксированный на сегодня, — *Nanoarchaeum*. Он живет на дне океана в суровых условиях, рядом с гидротермальными скважинами, где вода кипит от высоких температур. *Nanoarchaea* обычно имеют в длину 400 нм.

100–10 нм (10^{-7} – 10^{-8} м) _____

Начиная с 1996 года некоторые ученые заявляли, что обнаружены мельчайшие живые организмы, нанобы, даже меньше *Nanoarchaea*. Но другие ученые утверждают, что эти 20-нанометровые структуры — всего лишь отростки кристаллов.

Самые основания жизни постоянно пересматриваются. Эволюция проследила линию родства к общим предкам всех живых существ — водорослям

1 Нанометр — одна миллионная метра, или 10^{-9} м.

и бактериям. Дальнейший путь приводит нас в мир сложных молекул. Молекулярная биология — это, возможно, самая плодотворная область исследований в сегодняшней эволюционной биологии. Большинство молекулярных биологов поддерживает идею возникновения жизни из самоорганизующихся молекул, и уже начинают появляться первые возможные кандидаты.

Похоже, становится все яснее, что нет четкой границы между живым и неживым, это размытое различие, как край солнечной системы или даже край вселенной. Жизнь начинает походить на ярлык, который мы можем навесить на не до конца изученное явление. Смысл же ее лишь вырисовывается из эволюционного процесса и должен в конечном итоге слиться с описанием самых малых структур вселенной.

10–1 нм (10^{-8} – 10^{-9} м) _____

Борода отрастает на несколько нанометров за время, требующееся, чтобы поднести бритву к коже.

Бакминстерфуллерен — искусственно созданная сфера в форме футбольного мяча, состоящая из 60 атомов углерода, — очень важен для истории развития нанотехнологий. Название происходит от имени американского утописта и архитектора Бакминстера Фуллера (1895–1983) по ассоциации с его геодезическими куполами — сложными структурами сферической и почти сферической формы, прочность которых была выше, чем прочность их составных частей. Бакмин-

стерфуллерен — геодезическая сфера, состоящая из 20 шестиугольных и 12 пятиугольных плоскостей углеродных атомов. При сжатии эта структура оказывается в два раза прочнее алмаза, тоже углеродной структуры. Высокосимметричная форма бакминстерфуллере́на сообщает ему многие интересные химические свойства. Одна молекула C_{60} может пройти в зазор в 1 нм шириной.

Нанотрубка — другой тип фуллерена. Это цилиндрическая углеродная структура шириной несколько нанометров, но длиной достигающая нескольких миллиметров. Иными словами, в среднем поперечник такой структуры относится к ее длине как 1 к 1 000 000. Такие искусственные углеродные формы имеют большое применение в нанотехнологиях и электронике.

Нанотехнология — наука, которая строит машины и конструкции из частей размером с молекулу. Нанотехнологии используются в изготовлении компьютерных чипов или в более прозаических вещах — создании грязестойкой ткани, улучшении коллоидных свойств крема для загара. В будущем нанотехнологии могут решить проблему доставки лекарств внутри тела прямо к нужным пунктам назначения. Американский инженер Эрик Дрекслер (р. 1955), один из основателей нанотехнологии, предсказывал, что когда-нибудь наномашинки размером меньше бактерии смогут отправиться в космос для строительства новых материалов — молекула за молекулой — из имеющегося сырья: завоевание открытого космоса, возможно, начнется с завоевания его малого пространства.

Молекулы состоят из атомов и обычно тоже попадают в этот диапазон. Длинные молекулы, полимеры, теоретически могут быть достаточно длинными, чтобы дотянуться до предыдущих порядков, но даже полимеры имеют в поперечнике не более чем несколько атомов.

Двойная спираль молекулы ДНК в ширину составляет 2 нм.

1–0,1 нм (10^{-9} – 10^{-10} м) _____

В этот диапазон попадают атомы, из которых построены молекулы. Самый большой атом, атом цезия, имеет в поперечнике 0,546 нм. Самый маленький, атом водорода шириной всего в 0,106 нм, находится на краю диапазона.

Вся крупная (макроскопическая) материя состоит из молекул, а молекулы — из атомов 92 различных встречающихся в природе химических элементов. Есть несколько элементов, которые существуют только в лабораториях. Природа сводится к этому скромному набору различий — к привычно расположенным элементам периодической таблицы.

Предполагалось, что атомы станут последним словом в физическом описании материи, само слово “атом” означает “неделимый”. Теперь мы знаем, что они далеки от неделимости, хотя уже известно, что и делятся они не так легко. Атомы — это прочный барьер между миром известных нам объектов и загадочным миром, лежащим по другую сторону.

Атомизм как философия впервые возник у Левкиппа и его ученика Демокрита за 400 лет до н. э. и строился на том, что вселенная состоит из мельчайших частиц, которые нельзя разглядеть, нельзя разрушить, нельзя разделить на части, вечных и нетварных. Подобного восприятия не возникало более ни у кого вплоть до начала XIX века, когда английский ученый Джон Дальтон (1766–1844) понял, что в некоторых реакциях химические элементы сочетаются в объемах, выражающихся целыми, но никак не дробными числами, и это привело его к выводу, что молекулы состоят из определенного числа атомов. Таким образом, в наше время атомы возникли скорее в химии, чем в физике. Но идея Дальтона оставалась неподтвержденной целых сто лет. Еще в конце XIX века физик Эрнст Мах, чье понимание относительности движения повлияло на Эйнштейна, придерживался мнения, будто атомы недоступны чувственному восприятию и потому их следует воспринимать как абстрактные конструкторы, а не как физическую реальность.

Атомизм, подразумевающий существование неделимых частиц, сразу сталкивается с рядом сложностей. Как можно представить предел материального мира? Эта философия подверглась критике сразу, как только появилась, а через сто лет на нее напал Аристотель. Любая частица, имеющая измерение в пространстве, не может быть одновременно неделимой и фундаментальной. Любой протяженный объект способен быть размеченным на области *A* и *B*. Соответственно, либо этот объект должен делиться, даже если мы не зна-

ем, каким образом, либо мы вынуждены признать, что он состоит из неделимого вещества и, соответственно, сам не является фундаментальным. Физики, ищущие фундаментальные составные части материи, говорят, что эти части не должны иметь структуру. Современные ученые пришли к тем же философским выводам, к которым приходили древние критики атомизма: если и есть элементарные частицы, они должны быть вроде точек, то есть не иметь размеров. Любой протяженный объект обязан обладать структурой. Возможность элементарной материи не иметь пространственного размера привела древних к отказу от атомизма. Современная наука, хотя и пришла к тем же выводам относительно элементарной материи, тем не менее отправилась на поиски этой загадочной субстанции.

Исторически, как только стало ясно, что атомы имеют размеры, поиск переключился на “атомы” атомов — на то, что стало называться элементарными частицами.

Но какого рода существование ведет это нечто, не имеющее пространственной размерности? Должны ли мы воспринимать эти частицы, как раньше — атомы Маха, в качестве исключительно математических объектов без всякого физического смысла? И как мы можем отсеять это загадочное вещество в своем сите для мельчайших объектов? Наши элементарные частицы, не обладающие размерностью, обречены проскакивать через это сито.

Какова бы ни была философская суть атомов, экспериментальная физика окончательно доказала, что да-

же атомы независимо от их физического существования состоят из чего-то еще.

Менее 10^{-10} м

Если верить британскому историку науки Джону Гриббину (р. 1946), изобретение улучшенного вакуумного насоса в середине XIX века привело к “самой значительной революции в истории науки”. Вакуумные насосы не создают идеального вакуума — в космическом пространстве, как правило, содержится меньше атомов, чем в том же объеме воздуха, откачанном лучшим вакуумным насосом на Земле, — но первые насосы создали принципиально новую для Земли среду — приближение к пустоте. Отсюда родилось новое понимание природы реальности.

Электрический ток, протекающий через вакуум, может создавать светящиеся лучи в форме прямых линий, отбрасывающих тени. Эти лучи, впервые открытые в 60-х годах XIX века, называли катодными. Сначала их считали формой света, пока не было открыто, что их скорость ниже. В последние годы XIX века английский физик Дж. Дж. Томсон (1856–1940) смог показать, что эти лучи состоят из потоков электронов — частиц, еще меньших, чем атомы. В 1899 году он измерил заряд отдельного электрона и вычислил его массу, которая составила около $1/2000$ массы атома водорода. Чем бы атомы ни были, они состоят из чего-то еще более миниатюрного.

Французский физик Анри Беккерель (1852–1908) в 1897 году случайно открыл радиацию, изучая различ-

ные фосфоресцентные материалы типа урана, которые остались со времен его деда, исследовавшего подобные явления. То, что сперва называлось лучами Беккереля, позднее оказалось двумя разными типами радиации — лучами заряженных частиц, которые называли альфа- и бета-лучами. Поскольку энергия этих лучей достаточна для ядерных реакций, а их излучение происходит стихийно, они сыграли ключевую роль в ранней истории физики элементарных частиц. Значительная часть этой истории содержится в объяснении альфа- и бета-излучения.

В 1909 году британский физик с новозеландскими корнями Эрнест Резерфорд (1871–1937) провел эксперимент с использованием альфа-лучей, который помог обнаружить современную структуру атома. В этом эксперименте тонкий лист золотой фольги облучался альфа-лучами. Использование золотой фольги объясняется тем, что золото может достигать очень небольшой, всего в несколько атомов, толщины. Ожидалось, что альфа-лучи пройдут сквозь фольгу и будут отклоняться под разными углами, что предсказывалось тогдашней моделью атома. В 1904 году Дж. Дж. Томсон выдвинул модель атома, которая позже (хотя и не им) была названа моделью сливового пудинга. Отрицательные электрические заряды были вкраплены в облако положительного заряда, будто сливы в пудинг¹. Результаты эксперимента Резерфорда показали, что эту модель необходимо пересмотреть. Большая часть альфа-частиц при пересече-

¹ Пудинг сбивает с толку. Сейчас часто забывают, что в модели Томсона заряды могли свободно перемещаться, что сливам в пудинге недоступно.

нии фольги вообще не отклонялась, но вот что было куда поразительнее: примерно одна из 8 тыс. частиц отклонялась на 90 градусов! Эксперимент сравнивали со стрельбой из ружья по стогу сена, если бы некоторые пули иногда вылетали бы обратно, в сторону стрелка. К 1912 году Резерфорд интерпретировал результаты эксперимента: иногда альфа-частица, положительно заряженная, сталкивалась с центром атома (позднее его называли атомным ядром), тоже положительно заряженным. В новой модели небольшое атомное ядро окружено электронами, которые каким-то образом двигаются вокруг него. В будущем природа движения электронов вокруг ядра станет одним из ключевых открытий квантовой физики. Но в 1912 году объяснения еще не было.

Средний атом имеет в поперечнике всего долю нанометра, то есть менее одной миллиардной метра, но Резерфорд обнаружил, что для обнаружения атомного ядра нужно достичь размеров еще на четыре порядка меньше. Среднее ядро имеет около 10^{-14} м в поперечнике¹, то есть более чем в 10 тыс. раз меньше самого атома. Наткнуться на ядро внутри атома — тоже самое, что найти горошину, подвешенную внутри собора, но такие домашние сравнения, несмотря на их мощную образность, способны отвлечь от сути. Атом не является собором, а ядро — горошиной, их нельзя уподобить уменьшенным объектам нашего мира. В науке крайне важно не менять осмысление на эгоцентрическую про-

¹ Ядро может варьировать в размере от 10^{-15} м (ядро водорода, состоящее из одного протона) до $1,5 \times 10^{-14}$ м у ядра большого атома, например урана.

стоту, то есть не пользоваться соборами с горошинами. “Аналогии ничего не доказывают, — писал Фрейд, — но с ними как-то уютнее”. Уютно дома, а дом, по определению, где-то рядом. Наука же, согласно собственной методологии, стремится распространить дом как можно шире: дом как вселенная.

Если оставить в стороне все философские парадоксы, поиск элементарной материи вселенной продвигался вполне неплохо. К 1932 году 94 различных элемента свелись всего к трем частицам. Разнообразные атомы, существующие в природе, являются комбинациями протонов, нейтронов (в ядре) и электронов. В свою очередь, обнаружилось, что протоны и нейтроны тоже имеют размер — около 10^{-15} м в поперечнике — и, соответственно, не могут быть фундаментальными частицами.

К середине XX века было обнаружено, что протоны и нейтроны состоят из еще меньших частиц, названных кварками: это изысканное имя было позаимствовано из толком не прочитанной повести Джеймса Джойса “Поминки по Финнегану” (“Три кварка для мюстера Марка”¹). Высоколобый американский физик Мюррей Гелл-Манн (р. 1929) заложил основы необычной теории, которая привела к поискам и открытию этих загадочных частиц. Он же дал им имя. А Ричард Фейнман более легким жестом, свойственным его демократичной натуре, окрестил эти частицы партонами — в честь певицы Долли Партон².

1 Пер. Д. Смирнова. (*Прим. перев.*)

2 Американская кантри-певица Долли Партон (р. 1946) — исторически уникальная фигура. Оба ее имени использованы в науке: первая клонированная овца, Долли, была тоже названа в ее честь.

Кварки и электроны имеют свойство, которое отличает их от всех прочих малых частиц. О них говорят, что они имеют поперечник не более чем 10^{-18} м (то есть одна миллиардная одной миллиардной метра) размер, до которого мы дойдем, лишь углубившись на несколько порядков ниже размеров протона или нейтрона. Кварки и электроны претендуют на звание тех самых элементарных частиц, которые мы ищем. Но если они не имеют размерности, то как же они выглядят? И еще — если у них нет размерности, как мы можем говорить, что они в поперечнике не более 10^{-18} м? Подсказка таится как раз в этом “не более”.

Пролить свет на материю _____

*Переломает кости, Сэм Джонсон, пиная камни,
Но состав-то их мутен и даже туманен.*

Ричард Уилбур, "Эпистемология"

Наше понимание крупномасштабного мира становится более полным с повышением чувствительности к свету: мы делаем лучшие телескопы и расширяем этим диапазон своего зрения, мы развиваем лучшие теории и расширяем этим диапазон действия своего мозга. Нечто подобное происходит и с миром на другом конце, микроскопы — еще один способ улучшить наше зрение.

Очевидно, свет лежит в основе нашего описания материального мира, но мы до сих пор не задавались вопросом, как могло бы выглядеть материальное описание самого света. Специальная теория относительности объединяет энергию и массу посредством скорости света, а общая теория относительности указывает на возможное объединение света и гравитации. Мы знаем, что гравитация — это геометрия пространственно-временного континуума, но что есть свет? Здравый смысл подсказывает, что материя делает мир видимым, но есть также и невидимый мир света. Если единое описание когда-нибудь станет возможным, вероятно,

мы сможем понять, как невидимый мир света становится видимым миром материи. Нам предстоит разрешить парадокс: то, что мы видим, мы видим благодаря чему-то невидимому.

Аристотель считал, что глаза сами излучают свет, благодаря которому мы видим. Ранние исследования света касались природы глаза, устройства зрения. Эта научная область называется оптикой. Леонардо да Винчи одним из первых заметил эффект дифракции, когда белый свет разделяется на цвета: это можно наблюдать на птичьем пере или на поверхности компакт-диска с множеством дорожек, расположенных близко друг к другу. Ньютон слышал от эрудита Роберта Гука, что “свет странным образом рассеивается, проходя рядом с краем бритвы, ножа или другого плотного объекта”, и это явление оставалось непонятым еще целое столетие. Ньютон заинтересовался природой света после того, как купил на передвижной ярмарке призму. Он разложил луч света на его цветовые составляющие, а затем задался симметричным вопросом (полезная научная уловка) — можно ли совместить цвета обратно, чтобы получить луч. Правда, ему пришлось дожидаться другой ярмарки, чтобы купить вторую призму и проверить свою теорию. Хотя Ньютон (в конце XVII века) сделал важные открытия о природе света, его представление о свете как о потоке “огненных частиц” не могло объяснить странный эффект, замеченный Гуком на грани лезвия. Современник Ньютона голландский ученый Христиан Гюйгенс (1629–1695) выдвинул волновую теорию света. Одной из ее проблем заключалась в том, что волне требовалась среда для распростране-

ния, и Гюйгенс ввел новое явление — среду для распространения световых волн, нечто вроде сверхтонкого желе, называемого эфиром (Аристотелевы небеса тоже состояли из эфира, но это, разумеется, была совсем другая субстанция). Ньютон возражал против эфира, потому что по своей сущности он должен был заполнить все доступное пространство и, следовательно, тормозить движение планет. Проблема эфира преследовала науку очень долго. Слава Ньютона и его поддержка корпускулярной теории отодвинули исследование света больше, чем на столетие.

В первые годы XIX века замечательный английский ученый, египтолог Томас Янг (1773–1829), предложил первое удовлетворительное объяснение, хотя оно высмеивалось на протяжении всей его жизни и только гораздо позднее его идеи были восприняты серьезно.

Предположительно Янг вел дневник с двух лет, к четырем годам дважды прочел Библию, штудировал Ньютона в семь, а к шестнадцати читал на латыни, греческом, французском, итальянском, иврите, халдейском, сирийском, самаритянском арамейском, арабском, персидском, турецком и эфиопском.

Янг также наблюдал дифракцию света вблизи предметов с острыми краями и придумал эксперимент, доказывающий, что лучше всего дифракция объясняется волновой природой света. Этот простой эксперимент 1801 года является одним из самых знаменитых и одновременно легковоспроизводимых в истории науки. Янг излучал яркий свет через пару прорезей шириной в одну миллионную долю метра — примерно такой разрез оставляет лезвие бритвы. На экране, помещен-

ном за прорезями, серия ярких и темных полос показывала, как свет, пройдя через прорези, вновь объединялся, будто водяные волны, гасясь там, где пики сталкивались с ямами, и, наоборот, усиливаясь там, где пики накладывались на пики. Этот эффект называется интерференцией. В 1802 году Уильям Волластон обнаружил, что свет, прошедший через призму и рассмотренный под микроскопом, тоже демонстрирует темные и яркие полосы. Тогда об этом еще никто не знал, но это была подпись Солнца — химические элементы, которые Солнце выставляет напоказ. Аналогичное наблюдение в конце XIX века привело к открытию гелия, тогда неизвестного на Земле и названного в честь Солнца (*helios*, греч. “солнце”). Солнце некогда считалось идентичным Земле по составу, только горячее. Древнегреческий философ Анаксагор (около 500 до н. э. — 428 до н. э.) считал, что метеориты были осколками солнечного материала. Еще в 1920-е годы считалось, что водород составляет только 5% состава Солнца. Теперь мы знаем, что Солнце почти целиком состоит из водорода, чуть-чуть из гелия и примеси других элементов.

Наука может быть на удивление гибкой, и пока это приносит больше преимуществ, чем недостатков. Ньютоновская невидимая гравитация была принята, не без сопротивления, конечно, потому что гравитационная теория объединяет очень много явлений. Если новая теория с неизбежным злом в виде некоторого числа необъяснимых явлений обладает большой объяснительной силой, то есть объясняет много прежде необъяснимых явлений, то неизбежное зло принимается как

должное. Эфир по крайней мере имел то преимущество, что был материален, хотя и неизвестно толком, что это был за материал.

Воспринимать Янга всерьез означало воспринять всерьез и проблему эфира, а с эфиром сжиться оказалось нелегко. Но постепенно, за несколько десятков лет, объяснительная сила волновой теории перевесила дискомфорт от необходимости принять существование этой непонятной и ненаблюдаемой субстанции, требуемой волнам для распространения.

В 1887 году американские ученые Альберт Майкельсон (1852–1931) и Эдвард Морли (1838–1923) разработали эксперимент, который, по замыслу, должен был зафиксировать ветер, образующийся от прохода Земли сквозь эфир во время ее вращения вокруг Солнца. Несмотря на все усилия, ученые не нашли следов “эфирного ветра”. Строго говоря, это был не совсем эксперимент. Исследователи взяли идею эфирного ветра и *опровергли* ее в рамках погрешности доступного им теоретического аппарата.

Британский философ австрийского происхождения Карл Поппер (1902–1994) перевернул саму идею научного доказательства с ног на голову. Он осознал, что научная теория никогда не может быть окончательно доказанной, но ее всегда можно опровергнуть. Ньютонова механика, к примеру, опровергаема, потому что она утверждает относительность движения. Ее опровергаемость стала возможной, как только все поняли, что гораздо лучшая теория возникает на базе неотносительного движения света. Птолемеевское описание планетарного движения не является строгой на-

учной теорией, потому что эпициклы, призванные подкрепить теорию кругового вращения планет, делают ее неопровергаемой. Любое планетарное движение можно описать с использованием необходимого числа эпициклов.

Обычно мы воспринимаем эксперимент как способ найти доказательства, а не подтвердить их отсутствие, но эксперимент Майкельсона—Морли является экспериментом в попперовском смысле слова. Он оставляет открытым вопрос существования эфира. Возможно, более точные измерения его и обнаружат, но в конце концов это касается всех уточняющих измерений: действительность может оказаться другой, если к ней повнимательней приглядеться.

Окончательно избавиться от эфира удалось Эйнштейну (кому же еще?), причем скорее умозрительно, чем посредством физического наблюдения. В своей специальной теории относительности Эйнштейн исходит из того, что свет не имеет относительной скорости. Практически его теория основывается на допущении, что эфира не существует. Ведь, поскольку свет не имеет относительной скорости, он не может двигаться относительно чего бы то ни было, включая эфир. Успех теории Эйнштейна означает, что вопрос о среде, в которой распространяется свет, был просто опущен. То, каким образом свет может быть волной, но не волной в чем-то, становится абстрактным философским вопросом (заткнитесь и считайте!). В любом случае к тому времени природа света уже начала пониматься в новом ключе. Два притока научной реки сливались в грандиозном единении природы.



Греческому философу Фалесу было известно, что, если потереть кусочек янтаря о некоторые материалы, появятся искры (то, что сегодня называется статическим электричеством), а янтарь начнет притягивать волосы. У некоторых камней также обнаруживалась подобная способность к притягиванию. Открытие этих стихийных сил, производимых, как мы теперь знаем, электричеством и магнетизмом, стало первым намеком на то, что между ними может быть какая-то связь. В середине XVIII века американский ученый и отец-основатель США Бенджамин Франклин (1706–1790) заметил, что и электричество, и магнетизм имеют две формы, которые он назвал положительной и отрицательной. Это свойство было призвано отразить вот что: некоторые заряды отталкивались друг от друга, а некоторые притягивались. Знание о том, что одинаковые заряды отталкиваются, а разные — притягиваются, является не объяснением, а утверждением о свойствах зарядов. Тем не менее это уже начало объяснения: делить все на категории — первое, что делает наука. Она разделяет и наклеивает ярлыки, а затем пытается соединить разделенные явления вместе самыми неожиданными способами.

В начале XIX века датский физик и химик Ганс Христиан Эрстед (1777–1851) показал, что стрелка компаса поворачивается в сторону провода, скрученного в спираль с пущенным в нем электрическим током: первая демонстрация того, что электрический ток порождает магнетизм. Десять лет спустя английский физик

и химик Майкл Фарадей (1791–1867) вернулся к этой идее и задумался ровно наоборот (опять этот полезный метод!): если двигать магнит через витой провод, будет ли возникать ток? Так была открыта индукция. Кроме того, он обнаружил, что электричество может воздействовать на поляризованный свет, что навело его на мысль о связи между электричеством и светом.

Фарадей, отец которого был кузнецом, впервые прочел про электричество в Британской энциклопедии, когда работал переплетчиком. Настоящий прорыв произошел, когда английский химик Гемфри Дэви (1778–1829) взял его себе в помощники на смену другому ассистенту, уволенному за пьянство. Если магнетизм и электричество передавались частицами, Фарадея интересовало, откуда частицы знают, как им двигаться. Та же проблема была присуща ньютоновской теории тяготения: откуда одно тело знало, как ему воздействовать на расстоянии на другое тело в космическом пространстве? Успех универсальной теории гравитации с течением времени привел к забвению этой проблемы.

Фарадей представлял, что каждая электрическая или магнитная частица окружена “силовой атмосферой” — особым состоянием пространства, позже он назвал его полем. Фарадей, как и Эйнштейн, был яростным приверженцем идеи единого устройства вселенной. Несмотря на слабое владение математикой (она его вовсе не интересовала), он придумал понятие поля, фундаментальное для понимания природы частиц, чтобы объединить все эти явления и дать им единое объяснение. Именно это силовое поле и диктует частицам, куда им двигаться. Его можно обозначить стре-

лочками, которые в каждой точке пространства указывают направление. Сложно сказать, стоит ли за этим какая-то физическая реальность или это сугубо математическое описание. Поле не дает глубинного объяснения тому, как частицы на расстоянии “узнают”, куда им двигаться, поле, как эфир или заряд, является конструкцией *ad hoc*, призванной на помощь объяснению. Но, наделяя поле некоторыми свойствами, мы видим, что можем объяснить уже больше явлений, которые иначе бы остались без объяснения. Описание в терминах поля настолько удачно объясняет некоторые явления, что мы постепенно свыкаемся с удобством использования полей, как это произошло и с гравитацией, и даже наделяем поле физическим присутствием в природе. Эпицикл тоже был введен Птолемеем в аристотелеву космологию по случаю, но в птолемеевой модели каждое новое явление требовало добавления нового эпицикла. Фарадеева теория поля стала успешной, потому что одно введенное понятие объединяет сразу множество феноменов.

Природа поощряет нас верить в наши *ad hoc* феномены. Подобно тому как мы видим падающие яблоки и верим в ньютоново тяготение, хотя и не знаем, что это такое (пока Эйнштейн не обратил его в геометрию пространства-времени), так же мы смотрим на железные опилки, выстраивающиеся вдоль магнитного поля, и начинаем верить в существование этого поля. Поле является нашим объяснением того, как сила может действовать в пространстве, точно так же, как тяготение действовало у Ньютона. По сути, поле и есть сила.

Открытия Эрстеда и Фарадея проложили дорогу нашему знанию о том, что электричество и магнетизм неразрывно связаны. Статически заряженная частица окружена электрическим полем, движущийся заряд генерирует электрическое и магнитное поля. Если заряд движется сквозь магнитное поле, оно меняется, поскольку заряд производит собственное. В свою очередь, меняющееся магнитное поле создает электрическое, которое заставляет измениться электрическое поле движущегося заряда, что опять же меняет магнитное, и т. д. Это самоусиливающееся колебание является электромагнитным излучением. Циклы колебаний электрических и магнитных полей меняются с предельно доступной скоростью — со скоростью света.

Изменения электрического или магнитного поля не могут быть описаны отдельно друг от друга. Изменение магнитного поля порождает электрическое и наоборот. Когда они усиливают друг друга, результатом становится электромагнетизм или свет.

Ускорение электрического заряда также создает электромагнитное излучение: неподвижный заряд порождает электрическое поле, движущийся — электрическое и магнитное поля, а ускоряющийся — изменяющиеся электрическое и магнитное. Но, поскольку изменяющееся магнитное поле порождает электрическое, эти поля усиливают друг друга, генерируя электромагнитное излучение.

Свет, который мы некогда понимали как видимый, от солнца или от свечи, оказывается частью диапазона (спектра) излучения, называемого электромагнитным. Видимый свет составляет лишь небольшую часть этого

спектра, которую мы воспринимаем глазами, то есть отличным от других частей спектра образом: инфракрасное излучение ощущается как тепло, ультрафиолет способствует загару кожи, рентгеновское излучение разрушает клетки. Называя эти явления по отдельности, мы как бы выделяем их, наделяем особыми свойствами, но в глубине этого разделения лежит неизменное общее: энергия, которая варьируется от самой слабой у радиоволн до самой сильной у гамма-лучей. Природа не знает, как мы называем ее части, с ее точки зрения свет — это одна и та же неизменная форма. Собственно, и ученые используют слово “свет” для обозначения любой части электромагнитного спектра.

Малая часть спектра, представленная видимым светом, делится на области, воспринимаемые нами как цвета. Края электромагнитного спектра называются красным и синим концами спектра, как если бы мы расширили видимый спектр на весь диапазон излучения. Радиоволны на самом деле не красные, но они располагаются за красным концом видимого спектра, а рентгеновские и гамма-лучи — за синим.

В 1861 году эксцентричный шотландский физик и математик Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879) опубликовал работу, содержащую четыре уравнения, полностью описывающие математику электромагнитного излучения и показывающие, что излучение должно иметь световую скорость. Максвелл предположил, что электромагнитное излучение — то же самое, что свет, но тогда этому не было экспериментального подтверждения. Немецкий физик Генрих Герц (1857–1894) обеспечил физические свидетельства, когда произвел

первые радио- и микроволны и показал, что все электромагнитные волны движутся со скоростью света. Уравнения Максвелла — менее известные, но столь же значимые для истории науки, как законы Ньютона или уравнения Эйнштейна, — в сочетании с физическим подтверждением Герца позволили объединить электричество, магнетизм и оптику. Только в силу исторических причин мы склоняемся к мнению, что электричество и магнетизм — это реальная часть чего-то менее вещественного, а именно света. Поскольку эти явления были описаны раньше, они сильнее укоренились в научной теории, тем самым в каком-то смысле стали более реальны. Мы видим часть лучше, чем целое, поскольку целое всегда было где-то за горизонтом, в будущем. И сам свет менее осязаем, и глубинная сущность вещей сложнее для восприятия. Научные исследования получают странное отражение в действительности. Чем глубже наше понимание, тем оно более временно, поскольку оно самое свежее, только что возникшее, непроверенное, гипотетическое. Было обнаружено, что магнетизм и электричество являются аспектами чего-то более симметричного, и этим более симметричным оказался свет.

Уравнения Максвелла содержат один изъян: они работают только для неподвижного наблюдателя. Выход существует, если предположить, что скорость света постоянна. Но это противоречит нашему пониманию движения в терминах ньютоновской механики. Законы Ньютона утверждают, что любое движение относительно. Как один тип движения может быть постоянным? Только благодаря своей вере в корректность уравнений

Максвелла и неверность механики Ньютона Эйнштейн смог взять за отправную точку непосредственно это заключение: движение света — особенное движение. Отсюда вышли его специальная теория относительности и более глубокое понимание взаимодействия электромагнитных полей. Согласно специальной теории, поля должны быть проявлениями одной сущности, поскольку наблюдатели, движущиеся в разных фазах, будут видеть одно и то же или как магнитное поле, или как электрическое.

В тот урожайный 1905 год, когда Эйнштейн опубликовал работу по специальной теории относительности, он создал еще две работы, содержащих крайне продуктивные идеи.

В первой он привел окончательные подтверждения существования атомов (хотя уже тогда было ясно, что они не являются элементарными частицами и сами состоят из еще меньших частиц). Он опубликовал статью, разъясняющую явление, известное как броуновское движение. Этот своеобразный феномен, которому не находилось объяснения на протяжении почти восьмидесяти лет, был впервые описан шотландским ботаником Робертом Брауном (1773–1858) как “танец” цветочной пыльцы на водной поверхности. Эйнштейн понял, что это движение можно рассматривать как постоянное столкновение частиц пыльцы с отдельными молекулами воды, и, хотя он сформулировал свои предположения весьма осторожно: “У меня нет определенного суждения по данному вопросу”, — за эйнштейновской осторожностью часто стоит уверенность. Так или иначе, с этого момента атомы

обрели физическую реальность, физику и химию, столь необходимые в XX веке¹.

В другой работе того же года Эйнштейн предложил объяснение до того не раскрытого феномена — фотоэффекта, что стало краеугольным камнем квантовой физики.

Герц обнаружил эффект, который не смог объяснить: ультрафиолетовый свет приводил к появлению свечения при соприкосновении с металлической пластиной. Это и есть фотоэлектрический эффект, или фотоэффект. Проблема в том, что даже самый тусклый ультрафиолет давал этот эффект, в то время как свет другой частоты независимо от уровня интенсивности не давал. Этот эффект необъясним в рамках классического описания света, согласно которому свет любого цвета может вызвать искру, если он достаточно интенсивен.

Эйнштейн решил эту проблему, воспользовавшись идеей, которую немецкий физик Макс Планк (1858–1947) недавно использовал для объяснения другого сложного феномена классической физики — проблемы черного тела. Было замечено, что при нагревании тела большая часть излучаемого света дает пик одной и той же формы. Частота пика варьируется для различных субстанций, но форма остается неизменной. И во-

1 Эйнштейн разработал математику случайного движения пылцы по поверхности воды, которая оказалась такой же, как и для движения солнечного света между молекулами воздуха в земной атмосфере. Небо синее, откуда на него ни смотри, потому что синий свет рассеивается легче прочих. К тому времени об этом уже знали, но Эйнштейн был первым, кто дал математическое обоснование явлению.

обще, само появление пика не может быть объяснено в рамках классического понимания света как равномерной волны. Планк нашел решение: он стал трактовать свет так же, как тепло. Тепло есть мера энергии частицы, а температура тела — средняя энергия его частиц. Планк предложил воспринимать свет словно состоящий из множества сгустков энергии. Он даже вывел число, которое определяло бы предельные размеры сгустков, — константу, которая стала известной под именем постоянной Планка. Каждый пакет энергии определяется произведением постоянной Планка и волновой длины ее излучения. Планк никогда не предполагал, что свет состоит из частиц, его допущения носили скорее математический характер. Но, исходя из этих допущений, он смог решить проблему, казавшуюся неприступной. Планк не знал, почему излучение следует трактовать таким образом, он просто понимал, что данное явление в этих терминах получит объяснение. Эйнштейн воспользовался той же идеей, но там, где Планк использовал ее математически, Эйнштейн принял ее буквально, так же как развил выводы из уравнений Максвелла. Он решил считать, что сгустки энергии существуют.

Эйнштейн заявил, что свет следует рассматривать не как непрерывную волну, а как волновые пакеты, по сути, приписывая свету поведение, сходное с поведением частиц. Классическая волновая теория гласит, что яркий свет обладает большей энергией и, соответственно, яркость света должна увеличивать фотоэффект. В действительности этого не происходит. Если свет определенной частоты (или цвета) не вызывает искры,

тогда независимо от степени его яркости искрения не будет. И наоборот, если данный цвет вызывает искры, то даже самый тусклый свет этой частоты будет вызывать искрение. Эйнштейн предпринял иное описание энергии света: свет делится на пакеты, практически частицы, называемые квантами (от латинского слова *quantum* — “сколько”). Но именно Планк вычислил, каким большим должен быть этот квант, независимо от того, принимал ли он реальное существование кванта. Подобно тому как огромный размер скорости света формирует ландшафт макроскопического мира, небольшое число, названное постоянной Планка, формирует ландшафт субатомного мира. Размер каждого кванта — частота света, умноженная на постоянную Планка, которая равна $6,626 \times 10^{-34}$ Джс¹.

В 1926 году американский химик Гилберт Льюис (1875–1946) назвал световые кванты фотонами. Если квантовый пакет, фотон, обладает достаточной энергией, то он вырывает электрон из одного из атомов металлической поверхности, который и воспринимается нами как искра. Согласно подходу Эйнштейна, не имеет значения, насколько свет ярк, эффект есть в любом случае. Но если квант не имеет нужной энергии, то не играет роли, сколько частиц бомбардирует металл и насколько сам свет ярк, — искр мы не увидим. Так Эйнштейн фактически изобрел квантовую физику.

Почти десять лет спустя датский физик Нильс Бор (1885–1962) использовал эту же идею для объяснения

1 Стандартная единица, используемая для измерения энергии во времени.

еще одного непонятного явления. Атомы нагретого газа испускают свет с четкими спектральными линиями. Мы уже видели, что вид спектра — это уникальный отпечаток каждого элемента, но само возникновение спектральных линий выходит за рамки объяснительной силы классической физики. Для решения проблемы Бор предложил новую теорию физического устройства атома. Это была едва ли не первая попытка квантового описания атома и уточнения модели Резерфорда. Скоро стало ясно, что резерфордова планетарная модель не полностью соответствует действительности. Электрон на орбите — это заряженная частица, движущаяся с ускорением и порождающая электромагнитное излучение. Электрон, который испускает электромагнитное излучение, — это электрон, теряющий энергию. Обнаружилось, что электрон, не продержавшись на орбите и десяти миллиардных секунды, упал бы на атомное ядро.

Согласно модели Бора, электроны носятся вокруг атома по определенным орбитам. Электроны могут двигаться только в рамках этих орбит при наличии определенного количества квантов. В этом случае спектральные линии подтверждают скачки электронов между дискретными орбитами. Разница в энергии между электроном в одном и другом состоянии заметна в виде эмиссии света, которая образует спектральную линию. Фиксированный размер этих сгустков выпущенной энергии подтверждает то, что, как и предполагал Эйнштейн, квант света на самом деле существует. Мы уже видели, что именно благодаря модели Бора астрофизики смогли вычислить состав далеких звезд

и интерпретировать наблюдения Хаббла как доказательство расширения вселенной. Почему электроны держатся там, где им предписал держаться Бор, — это очевидное допущение, которое мы вынуждены принять, и принять с радостью, поскольку таким образом еще больше явлений получают объяснение.

Квантовая физика изменяет описание света, а поскольку мы описываем действительность посредством света, то и описание действительности также изменяется. Мир, который выглядел непрерывным, при ближайшем рассмотрении оказывается зернистым, точно так же, как наш технологический мир, некогда аналоговый, сегодня оказался пиксельным и цифровым. На расстоянии это неразлично, но при увеличении становится заметно.

Согласно квантовому описанию света, мы видим предметы, потому что маленькие частицы — световые частицы фотоны — попадают в них. При наличии достаточного количества маленьких частиц мы можем представить себе, что они заполняют все мельчайшие элементы строения наблюдаемых предметов и выявляют достаточно деталей, чтобы создать видимость непрерывного целого наподобие того, как фильм, составленный из мелькающих 24 раза в секунду кадров, создает иллюзию реальной жизни. По этому сценарию, чтобы разглядеть предметы более четко, требуется наличие более мелких частиц.

Здравый смысл подсказывает, что если мы видим предметы только благодаря киданию в них маленьких частиц, то, как бы аккуратно мы ни швыряли эти частицы, сам предмет рассмотрения в какой-то степени

всегда будет подвергаться ущербу. Нельзя уйти от того, что, если мы видим благодаря частицам, обладающим энергией, эти частицы должны передавать часть своей энергии наблюдаемым объектам. Здравый смысл также приводит нас к выводу, что у такого способа наблюдения мира есть предел точности. Как бы аккуратно мы ни вглядывались в окружающий мир, мы всегда будем наносить ему ущерб.

Вполне резонно предположить, что наблюдаемый мир существует и вне этих пределов, даже если мы не можем (а мы не можем) знать, что он там есть. Но квантовое описание действительности несовместимо со здравым смыслом. Ричард Фейнман говорил о реальности квантовой физики, что “ее никто не понимает”, и по идее это должно нас ободрять. Энергия частиц ведет себя словно покрывало, под которым реальность может обернуться чем-то совершенно иным.

У нас есть представление о том, как выглядит реальность: мир, наполненный движущимися объектами, которые мы описываем в классических ньютоновских терминах положения, скорости, массы, энергии и времени. В классической механике, зная импульс — произведение массы и скорости — и положение частицы, мы полностью описываем ее движение. Теоретически мы можем рассчитать положение частицы в прошлом и в будущем. Однако в 1927 году немецкий физик Вернер Гейзенберг (1901–1976), отрицая тем самым классическое полное описание природы, провозгласил свой знаменитый принцип неопределенности: нельзя одновременно точно измерить импульс частицы и ее положение.

Законы Ньютона описывают механический мир дискретных объектов, двигающихся во времени и пространстве. В таком мире каждый объект, обладающий массой, в любой произвольный момент времени имеет положение и скорость, которые можно измерить относительно системы координат. Теоретически, зная о движении отдельного объекта в определенный момент времени, мы знаем и то, где он находится в любой миг прошлого или будущего. Движение объекта полностью описывается двумя параметрами: его положением в пространстве и моментом движения. Если объект входит в единую систему с другими объектами, тогда, опять же теоретически (на практике это бывает сложнодостижимо), зная о движении каждого отдельного объекта, мы можем описать поведение всей системы. В начале XIX века французский математик и астроном Пьер-Симон де Лаплас (1749–1827) писал о разуме, который мог бы объять “движение всех крупнейших тел вселенной и мельчайших атомов... Для подобного разума не было бы ничто скрыто; будущее, как и прошлое, открылось бы его глазам”. Гейзенберг же утверждает, что мир устроен не так. Разумеется, нам сразу, как в детстве, хочется спросить: почему этот принцип верен? К сожалению, нам сперва приходится принять, что мир устроен именно так, и только потом, исходя из нового описания действительности, мы попробуем отыскать прогнозы, которые можно экспериментально проверить. Именно экспериментальное подтверждение этих прогнозов подталкивает нас согласиться с тем, что принцип Гейзенберга обеспечивает лучшее описание, чем прежде, охватывая больше явлений.

Принцип Гейзенберга гласит, что чем точнее мы измеряем импульс частицы, тем менее точно можем определить ее положение, и наоборот. Мы можем примерно знать импульс и положение частицы, но никогда не сможем точно знать оба параметра одновременно. Если мы хотим знать ее точный импульс, тогда нам следует отказаться от мысли определить ее местоположение. Это не значит, что частица может быть где угодно, скорее, это обесмысливает само понятие положения. И наоборот, если мы точно знаем, где находится частица, мы вынуждены отказаться от определения ее скорости: сама идея скорости и, следовательно, импульса становится бессмысленной. Такова новая картина действительности. Она очень отличается от классической картины мира, подразумевающей, что мы можем измерить движение объекта, основанное на знании его положения и импульса, со все возрастающей точностью.

Импульс и положение — это приблизительные концепты макромира, который мы называем классическим миром. Реальность квантового мира отличается. До измерения существование частицы не подразумевает ни импульса, ни положения. Производя измерение, мы изымаем определенную информацию из квантового мира и получаем в классическом мире неопределенное описание импульса и положения частицы. Свойства, которые Ньютон открыл и использовал для описания классического мира, не существуют в квантовом мире, лежащем в его основе. Повторим: при попытке описать частицу в классических терминах мы обнаруживаем, что подобное описание с классической точки зрения всегда оказывается неполным. До момента на-

блюдения про частицу нельзя сказать, что она где-то находится. Местоположение — это качество макромира. В его квантовом состоянии, до измерения, частица существует с вероятностью местонахождения в разных местах. Только после измерения частица обнаружит некоторую информацию о своем неопределенном положении. Знаменитый принцип неопределенности Гейзенберга утверждает, что классический мир не может быть познан в точности. Точное измерение при этом не исключается, оно само исключает полное и точное описание природы в классическом понимании.

Квантовая механика имеет смысл, когда мы понимаем, что процесс измерения создает видимость того, что мы называем классической или наблюдаемой действительностью. Не будучи измеренными, вещи не являются самими собой, они существуют в состоянии, которое можно описать волной математической вероятности. Волна разворачивается во времени и что-то означает только тогда, когда мы извлекаем информацию, то есть спрашиваем, как выглядит в данный момент тот или иной аспект наблюдаемой частицы. Действительность не является непознаваемой, она неопределенна. Гейзенберг использовал слово *anschaulichen*, которое можно объяснить как “неопределенность” или “неопределяемость”. В квантовом состоянии местоположение электрона не столько неопределенно, сколько неопределяемо.

У нас нет точного ответа на два вопроса, которые могли бы иначе определить классическую природу действительности. Мы уступаем первенство классическому миру, потому что уверены: мир создан из объектов,

движущихся в пространстве. Квантовая механика утверждает, что этот мир иллюзорен, построен на частичной информации, извлеченной из глубинной действительности. Физический мир есть форма, которую принимает эта информация, тот смысл, который мы ей придаем.

Теперь мы начинаем понимать странную связь между элементарными частицами и их размерами. Знание о размере частицы, как мы убедились, есть уступка в знании о другом аспекте ее классического представления — импульсе. Лишь частицы с низкой энергией обладают пространственными размерами. В классическом мире любой объект имеет небольшой импульс и протяженность в пространстве. Это иллюзия, которая возникает из глубинного квантового представления реальности. Такая видимость протяженности не является реальным размером частицы: размер есть качество, наиболее заметное при низких энергиях в обычном мире. При высоких энергиях элементарная частица становится точкой. Но даже “точечная” размерность не является реальным размером элементарной частицы, а лишь тем, как частица выглядит, когда мы измеряем ее энергию.

Физическая интерпретация математического аппарата квантовой механики обернулась не меньшим интеллектуальным вызовом, чем первые попытки проинтерпретировать физическую сторону эйнштейновских уравнений общей теории относительности. Но еще до того вызовом стало создание этого самого аппарата, и первую попытку совершил Гейзенберг. Настоящий прорыв случился, когда он оказался на острове Гельго-

ланд в Северном море, выздоравливая после жестокого приступа сенной лихорадки. Он понял, что может использовать такой объект, как матрица, до сих пор принадлежавший чистой математике (Эйнштейн также использовал новаторский математический язык для своих уравнений). В дни младенчества квантовой механики на кон было поставлено очень много. Первопроходцы разбились на два лагеря: последователи Бора делали акцент на дискретности квантового скачка, последователи Эйнштейна подчеркивали двойную природу квантового мира — волновую и корпускулярную. Матрицы Гейзенберга относили его к лагерю Бора. Австрийскому физiku Эрвину Шредингеру (1887–1961) так не понравилась эстетическая сторона формализма Гейзенберга, что он назвал это чушью (или, скорее, немецким аналогом этого слова). Он вознамерился предложить собственное описание и заперся на две недели в швейцарской гостинице с любовницей и двумя жемчужинами (чтобы затыкать уши от постороннего шума). В 1926 году волновое уравнение Шредингера выдало его тягу к волновому описанию действительности и недоверие к дискретности, заложенной в идее кванта. Он пришел к своему уравнению, развивая аналогию с колеблющейся скрипичной струной. В 1924 году французский физик-аристократ, седьмой герцог де Бройль (1892–1987), обнаружил, что любая частица может быть описана как волна, даже про мяч можно сказать, что у него есть волновая природа. Как всегда, природа показала себя глубинно симметричной. Немецкий физик Макс Борн (1882–1970) утверждал, что волна Шредингера есть не сама частица, а волна вероятности, описы-

вающая частицу. Соответственно, и волновое уравнение Шредингера вычисляет вероятность того, что свет себя ведет как волна или как частица. Еле заметная битва между мировоззрениями Шредингера и Гейзенберга продолжалась еще какое-то время, хотя с точки зрения математики они были эквивалентны.

Английский физик Поль Дирак (1902–1984) не впечатлился уравнением Шредингера. Если Шредингеру показалась уродливой математика Гейзенберга, то Дирак думал так же о самом Шредингере. В 1928 году Дирак выдвинул изящное описание квантовой механики, включавшее специальную теорию относительности Эйнштейна (до сих пор все ждут описания, включающего теорию общей относительности). По существу, Дирак превратил квантовую механику в теорию поля, каковой она и остается по сей день, пусть и в несколько более развитом виде. Сегодня физический мир описывается через поля и частицы.

Уравнение Дирака предсказывало существование частиц с отрицательной энергией, хотя в то время никто не был готов наделить такое решение уравнения хоть каким-то физическим смыслом. Гейзенберг заметил, что это “самая грустная глава в теоретической физике”. Однако частицы с негативной энергией были обнаружены. Первые свидетельства так называемой антиматерии появились в 1932 году, когда была найдена частица, во всем идентичная электрону, но аннигилирующая при столкновении с ним. Этот антиэлектрон также называют позитроном. Впоследствии обнаружилось, что все элементарные частицы имеют своих двойников — античастицы.

Гейзенберговское ограничение на измерения предусматривает компромисс не только между импульсом и положением, но и между энергией и временем — другой парой свойств, которые давали бы полное классическое описание в ньютоновском мире. Согласно принципу неопределенности, пара частиц из материи и антиматерии могут существовать при очень высоких энергиях столько, сколько они просуществуют ненаблюдаемыми. Поскольку в итоге они взаимно аннигилируют, нельзя сказать, что они существуют в классическом мире, так же как нельзя сказать, что они нарушают какие-то законы классической физики. Их существование, по сути, извлечено из пустоты (или из вакуума — не путать с вакуумом, знакомым со школы: созданием отсутствия материи с помощью насоса) и туда же возвращается. Такие частицы могут заимствовать время и путешествовать в нем в обратном направлении или перемещаться быстрее скорости света, не нарушая закон Эйнштейна.

Вакуум только на расстоянии представляется пустотой. Чем ближе мы к нему, тем более энергичной оказывается эта пустота. Аристотель спорил с тем, что природе чужд вакуум; на самом деле он считал, что нет такой вещи, как полная пустота, и, похоже, был прав.

Частицы энергии появляются и исчезают без всякой причины. Они начинают и прекращают свое существование случайным образом за пределами причинного мира — классического мира, с которым мы знакомы, мира медленных движений и низких энергий. Требуется большая энергия, чтобы заглянуть в огромную энергию пустоты. Чем больше энергии мы вкла-

дываем в вакуум, тем больше частиц беспричинно выскакивает оттуда. Невозможность абсолютной пустоты гарантирует, что при ближайшем рассмотрении мир не растворится в пустоте, а скорее, наоборот, будет становиться все энергичнее. Открытый космос в основном представляется пустым, но увеличение любого мельчайшего уголка пространства показывает его совсем не таким. Пространство обладает свойством пустоты лишь в крупных масштабах.

Вся видимая материя в мире состоит из четырех видов частиц: двух сортов кварков (называемых верхним и нижним), электронов и связанных с ними частиц нейтрино. К сожалению, для объяснения этих четырех частиц требуется существование сотен других (а также их античастиц), порожденных вакуумом. Этих частиц так много — эфемерные вспышки энергии в ускорителях, — что они были собирательно названы “зоопарком частиц”. Итальянский физик Энрико Ферми (1901–1954) однажды ответил студенту: “Молодой человек, если бы я мог запомнить названия всех этих частиц, я бы стал ботаником”.

Разгул природы удручает. Поиск строгих и красивых законов, лежащих в основе природы, очевидно, пошел в обратную сторону. Наиболее убедительным свидетельством того, что современные описания находятся на верном пути, является тот факт, что все они — самые тщательно проверенные теории за всю историю науки, они проверены даже более тщательно, чем теория относительности Эйнштейна. Квантовая теория поля проверена с точностью до одной миллиардной — это примерно как если бы расстояние между Нью-Йор-

ком и Лос-Анджелесом было измерено с точностью до толщины волоска. Грубость и незлегантность квантовых теорий поля, собирательно названных стандартной моделью, однако, вызывает большую тревогу. Физик-теоретик Томас Киббл (р. 1932) зашел так далеко, что сказал о стандартной модели: “Настолько чересчур *ad hoc* и уродливая теория не может не быть ерундой”. Даже ее приверженцы признают, что она слеплена кое-как. Но, даже если стандартная модель уродлива, она по меньшей мере наводит на мысли о еще более глубокой симметрии.

Несмотря на то что только два кварка входят в состав видимой материи, в стандартной модели существует всего три таких пары — верхний и нижний, очарованный и странный, прелестный и истинный. Это ароматы. Сами названия говорят об их произвольности. Один кварк ничуть не более очарован, чем другие, и он также не является более верхним или истинным. Нам неизвестна физическая реальность этих качеств кварков. В некотором смысле это такие же ярлыки, как слова “положительный” и “отрицательный” в применении к заряду электрона, употребляемые Франклином. Эти слова обретают смысл только тогда, когда объекты одного сорта отталкивают или притягивают объекты другого. Это произвольные обозначения, нужные для обозначения разницы явлений. “Верхний” и “истинный” — просто еще два произвольных обозначения различия явлений, просто в данном случае сами явления слишком удалены от нас, чтобы можно было обнаружить там хоть какую-то физическую реальность. Некоторые частицы имеют другое условное качество —

спин, введенное австрийским физиком Вольфгангом Паули (1900–1958) для учета того факта, что в атоме на каждом энергетическом уровне может находиться одновременно только определенное число электронов. Спин позволяет говорить о том, что электроны привязаны к электронным оболочкам разных энергий. Разница между энергетическими уровнями измеряется в квантах. Мы уже видели, что именно скачок с оболочки на оболочку, сопровождаемый выделением кванта энергии, объясняет уникальность электромагнитного спектра химических элементов. Можно сказать, что спин располагается посередине между свойствами, подобными тем, которые мы можем ощущать в повседневной жизни, и свойствами, подобными ароматам кварков, с другой. Спин квантовой частицы можно перенести на объект нашего мира — например, на мяч. По этой причине мы склонны считать спин более осмыслемым свойством, чем, например, “странность” и “нижность”. Но все свойства квантового мира дискретны, и сказать, какая физическая реальность может стоять за дискретным спином или дискретным зарядом, довольно сложно. Хуже того, оказывается, некоторые частицы имеют половинные значения спина, что лишает их последних остатков смысла. Чем глубже квантовые теории погружаются в поиски финальной природной симметрии, тем более абстрактными оказываются новые свойства. Помимо того что было выделено шесть кварков, каждый из них может находиться в одной из трех различных форм, или, условно, принимать один из трех цветов. Практически мы имеем дело с восемнадцатью различными видами кварков.

Но, по счастью, в этом есть и положительная сторона — в математическом представлении: шесть кварков имеют три симметричных свойства, а все частицы, состоящие из кварков, состоят всегда либо из трех, либо из двух из них. Протон, например, состоит из двух верхних кварков и одного нижнего, а нейтрон — из одного верхнего и двух нижних. Двойная и тройная природа квантовых явлений проявляется повсеместно в стандартной модели, хотя никто не может объяснить причину. Остается надежда на еще не раскрытые сущности, которые в дальнейшем упростят наше описание. Наука вряд ли могла бы развиваться без веры в то, что “все самое важное на самом деле крайне просто” (Джон Уилер). Если бы у науки было кредо, это стало бы его началом. Ученые верят в единую природу вселенной, а также в то, что эта природа может быть изящно описана математически. Стандартная модель весьма далека от лаконичной простоты, но в ней есть намек на некую глубинную простоту, которой мы просто пока не понимаем.

Весь этот зоопарк частиц извлекается из вакуума посредством ускорителей заряженных частиц. Теперь, когда мы разобрались с идеей о том, что частицы высоких энергий могут обладать размером, мы можем уточнить наше понимание видения. Вместо того чтобы смотреть на вещи путем обстрела их все более мелкими частицами, мы всматриваемся в мир малых объектов, вызывая из пустоты частицы более высоких энергий. Ускорители выполняют ту же функцию, что и микроскопы для более крупных размеров, они позволяют нам подсматривать за миром малых объектов. Ускоритель — это но-

вейшая продвинутая игрушка. Он сталкивает энергичные частицы лоб в лоб с целью выманить из пустоты другие, еще более энергичные. В 2009 году был запущен новый ускоритель — Большой адронный коллайдер. Он состоит из серии кольцевых туннелей на глубине 100 м, основное кольцо имеет длину 27 км и проходит под территорией Франции и Швейцарии. Этот туннель состоит из 9300 сверхпроводящих магнитов, каждый из которых весит несколько тонн и охлажден до температуры глубокого космоса. БАК способен разгонять частицы до 99,9999991% скорости света и сталкивать их друг с другом. При наличии таких машин слова Мюррея Гелл-Манна не удивляют: “Если ребенок становится ученым, он обнаруживает, что ему платят за то, что он целыми днями играет в самую захватывающую игру, когда-либо изобретенную человечеством”.

Разумеется, от производства всех этих частиц должна быть какая-то польза, иначе этот подход давно бы забросили. Польза, как всегда, заключается в том, что стандартная модель объединяет значительную часть явлений — в общем, большую часть природы — в едином описании, полностью базирующемся на частицах. Эйнштейн полагал, что можно дать единое описание природы, если удастся объединить свет (электромагнитное излучение) и гравитацию. К сожалению, изучение микромира потребовало введения еще двух сил: сильного и слабого ядерных взаимодействий. Стандартная модель объединяет эти взаимодействия, описывая их в терминах квантовой механики.

Свет и электромагнитное взаимодействие являются манифестацией фотонов. Электромагнитное взаимо-

действие необходимо было постулировать — подобно тому как Ньютон однажды вызвал к жизни гравитацию, — чтобы объяснить притяжение отрицательно заряженного электрона к положительно заряженному протону ядра. Именно эта сила дает прочность материи. Часто упоминают, что атом почти полностью состоит из пустоты, но, возможно, правильнее было бы сказать, что он состоит из силовых полей.

Квантовое поле — это не поле стрелок, указывающих направление, как было у Фарадея, оно в некотором смысле стало более прямолинейным. Фарадей придумал способ описания (как у частиц внутри поля) поведения двух фундаментальных взаимодействий природы — электрического и магнитного. Квантовая теория поля тоже описывает фундаментальные взаимодействия через частицы внутри поля, но сегодня мы иначе понимаем фундаментальные взаимодействия и по-другому описываем частицы и поля. В квантовой теории поля сводится к частицам¹. Можно сказать, что корпускулярный подход полностью вытеснил волновой. Даже сами поля состоят из частиц — облака так называемых виртуальных частиц. Их называют виртуальными, потому что они не появляются на входе или выходе сверхматематизированного описания квантового поля, но требуются для внутренней механики объяснения. Вопрос существования виртуальных частиц (четкой границы между виртуальными и “реальными”

¹ Фарадей удивлялся тому, что атомы можно рассматривать сконцентрированными в линиях силового поля, а не как физические объекты, и эта идея и сегодня все еще кажется революционной.

частицами нет) в физической действительности не так важен для ученого-прагматика (заткнитесь и считайте!), как тот факт, что описания квантового поля, объединенные в стандартную модель, делают очень важное дело. Кроме всего прочего, раз мы в роли исследователей материального мира согласны не занимать в нем привилегированного места, мы вынуждены признать, что наблюдаемая (или постоянная) материя существует только потому, что пустота — это суп из ненаблюдаемых частиц, возникающих и исчезающих без всяких на то причин. Если этого не принять, мы окажемся в любопытной ситуации, утверждая, что некая часть материи существует только потому, что другая часть не существует или же имеет лишь математическое значение. Впрочем, существуют некоторые наблюдения в пользу существования этих частиц. Облака виртуальных частиц создают микроскопическое давление (эффект Казимира), которое можно измерить в наблюдаемом мире, — крошечный сигнал из-за барьера, отделяющего видимый мир от окружающего, из которого наша видимая вселенная и возникла. Эти виртуальные частицы существуют словно бы за границами видимого мира, под которым мы понимаем 10⁸⁰ видимых частиц.

Квантовая теория поля сводит природу к энергетическим полям, состоящим из безразмерных (и не существующих с точки зрения классической физики) частиц, возникающих и исчезающих случайным и беспричинным образом. Для нематематика практически невозможно понять, как такое описание может соотноситься с физическим миром. Квантовая теория поля на-

столько абстрактна и математически сложна, что нам остается лишь принять ее работоспособность и, соответственно, описательную способность этих особенных полей.

С точки зрения квантовой теории поля (с новым пониманием поля) электромагнитное взаимодействие существует внутри поля, состоящего из облака виртуальных фотонов. Оно описывается как обмен виртуальными фотонами между электронами и протонами ядра. Невозможно сказать, на что похож такой обмен частицами, — это некоторая аналогия, призванная вкратце передать гигантскую математическую базу процессов. Квантополевая теория электромагнитного взаимодействия называется квантовой электродинамикой (КЭД), жемчужиной физики. Эта теория достигла своего совершенства в 40-х годах XX века, когда вклад в нее внесли Ричард Фейнман, американские физики-теоретики британского происхождения Фримен Дайсон (р. 1923) и Джулиан Швингер (1918–1994), а также японский физик Синъитиро Томонага (1906–1979). Фейнман, Швингер и Томонага впоследствии получили за свои работы Нобелевскую премию. Сперва теория не стыковалась с экспериментальными данными, доступными к тому моменту. Но Фейнман был абсолютно уверен в ее правильности, а результаты экспериментов считал ошибочными. «[Теория] изящна и красива, — говорил он, — эта штука прямо светилась». Такое глубокое взаимодействие света во всей его неуловимости составляет значительную часть того, что характеризует видимый мир: существование и стабильность атомов, молекул и твердых тел.

Аналогичным образом, другая квантовая теория поля была разработана для объяснения сильного ядерного взаимодействия, связывающего протоны и нейтроны внутри ядра. Действительно, эти частицы сцеплены в атомном ядре. Ни одно известное в природе взаимодействие не могло бы их “склеивать”, поэтому оставалось предположить наличие иного взаимодействия, до сих пор не известного науке. Особенность такого взаимодействия в том, что, в отличие от электромагнитного и гравитационного, у которых не ограничен диапазон действия, сильное ядерное взаимодействие должно быть полностью ограничено размерами ядра. Оно также описывается как обмен виртуальными частицами внутри поля, но теперь это другие частицы, глюоны. Такой обмен объясняет, как кварки связываются между собой в протоны и нейтроны. Эта теория поля называется квантовой хромодинамикой (КХД). Условная цветная симметрия кварков обуславливает существование сильного ядерного взаимодействия. Нам бы хотелось верить, что эта симметрия реальна, поскольку именно из нее вытекает мощное математическое описание, объединяющее значительную часть природных явлений. Точно так же и условное деление на заряды обеспечивает существование электромагнитного взаимодействия, описываемого КЭД. Эти две квантополевые теории являются двумя основаниями существования материи.

Сильное взаимодействие наконец смогло объяснить альфа-распад — феномен, случайно обнаруженный Беккерелем в 1890-х. Радиоактивные элементы распадаются различными способами. Уран, например, ес-

тественным образом в результате распада порождает то-рий. Это происходит потому, что энергия ядра спонтанно меняется, согласно принципу Гейзенберга, в результате процесса, называемого туннелированием. Поскольку возможно заимствование энергии из пустоты, вопреки законам классической физики, субатомная частица может оказаться вне ядра, где ее энергия оставалась запертой. Это и происходит во время альфа-распада.

Альфа-излучение — это поток высокоэнергичных альфа-частиц. Альфа-частицы идентичны ядру атома гелия: два протона и два нейтрона, связанные вместе. Считается, что атом, например, урана распадается тогда, когда его ядро теряет квант энергии, эквивалентный альфа-частице, а затем этот квант оказывается вне атома, вне сильного ядерного взаимодействия. От подобного распада многих атомов сразу возникают лучи альфа-частиц, пронизывающих пространство альфа-излучением. Строго говоря, альфа-частица не содержится в атомном ядре, перемещение энергии лучше всего объяснить, прибегнув к промежуточному этапу, где происходил обмен виртуальными частицами — глюонами. Именно по этой причине они называются виртуальными, поскольку в основном математически уравновешивают кванты энергии.

Слабое — как и сильное — ядерное взаимодействие ограничено пределами атомного ядра. Оно требуется для объяснения бета-распада — другой формы радиоактивного распада, случайно открытого Беккерелем в 1890-х. Квантовая теория поля гласит, что частицы внутри ядра превращаются друг в друга, “меняют аро-

мат", и выбрасывают энергию в виде излучения (тоже частицы). Это называется радиоактивным распадом. Слабое взаимодействие переносится виртуальными частицами бозонами — W^+ , W^- и Z . Стронций-90 распадается в естественных условиях с эффектом бета-излучения. При бета-распаде нейтрон становится протоном, превращая сам элемент в другой. На уровне кварков нейтрон становится протоном, если один из трех его кварков меняет аромат. Квантовая теория поля гласит: кварт испускает W -бозон (виртуальную частицу), превращаясь в высокоэнергичный электрон. Бета-радиация — просто поток высокоэнергичных электронов¹.

Радиоактивный распад — ключ к трансмутации элементов, секрет философского камня. Первое искусственное превращение одного элемента в другой было осуществлено Резерфордом в 1919 году, когда он использовал ядерную реакцию для превращения азота в кислород.

В ускорителях частицы нельзя увидеть напрямую: энергичные частицы распадаются, получившиеся делают то же самое, оставляя следы распада, которые становятся уникальным отпечатком каждой частицы. Со времен броуновского движения, ставшего косвенным свидетельством физического существования атомов, объекты меньших размеров проявляют свою физическую сущность все менее явно.

Начиная с 70-х годов XX века теории слабого ядерного и электромагнитного взаимодействия были

1 Катодные лучи — тоже потоки электронов, но с меньшей энергией.

объединены в единое электрослабое взаимодействие. Оно подразумевает симметрию, которая осуществляется благодаря бозону Хиггса. Бозон — собирательное название для всех частиц, переносящих взаимодействие (до сих пор нам встречались глюон, фотон, W и Z). Физики уже понимали, что, если W и Z не будут иметь массы, они не смогут отличаться от лишнего массы фотона. Бозон Хиггса был постулирован с целью дать математическое описание предполагаемой глубинной симметрии, объединяющей W , Z и фотон. В электрослабой теории все эти частицы являются безмассовыми и становятся различными, когда симметрия нарушается полем Хиггса. Поле Хиггса замедляет некоторые частицы и сообщает им массу. Это крайне важно, так как именно бозон Хиггса (как квант поля Хиггса) превращает мир сплошного излучения в мир, обладающий массой. Мы наконец приблизились к тому, как свет становится материей. Понятно, почему этот бозон получил прозвище “частица Бога”, хотя его настоящее имя дано в честь шотландского физика Питера Хиггса (р. 1929), который в 1960-е годы придумал нарушенную симметрию. Впрочем, до настоящего времени бозон Хиггса не обнаружен. Возлагаются надежды на то, что Большой адронный коллайдер поможет в этих поисках.

Стандартная модель предусматривает объединение электрослабого и сильного ядерного взаимодействий: они могут стать симметричными частями одного целого при очень высоких энергиях. Такие энергии столь высоки, что они недостижимы для современной экспериментальной науки и, возможно, останутся таковыми

навсегда. Тем не менее впервые за 2500 лет (с тех пор как досократики пустились в этот поиск), появился хоть какой-то ориентир для движения в сторону единой теории. Самым большим недостатком стандартной модели является отсутствие в ней приемлемой квантополе-вой теории гравитации. Кроме того, СМ очень сильно ошибается в оценке масс тех частиц, которыми сама оперирует. Ошибка достигает шестнадцати порядков, то есть предсказанные массы частиц оказываются в 10^{16} раз меньше реально наблюдаемых, и никто не может этого объяснить.

Что же на самом деле означает квантовая механика — настоящий заколдованный вопрос. Ученые дают на него самые разные ответы. Есть такие, которым важно, чтобы теория давала точные и подтверждаемые предсказания, и им не так важно (заткнитесь и считайте!), в чем ее смысл. Есть те, которые не видят проблемы, а есть и такие, которые считают, что теория отвечает непосредственно на вопрос о том, кто мы и что мы такое.

Один из центральных вопросов — где, в какой момент и как квантовый мир переходит в классический. В 1927 году Шредингер сформулировал эту проблему в своем знаменитом мысленном эксперименте, известном как парадокс кота Шредингера. Шредингер намеренно соединял типичный объект традиционного мира (кота) и типичный объект квантового мира (радиоактивное вещество), помещая их в один ящик. Мысленный эксперимент (ни одно животное не пострадало) был устроен так, что, если радиоактивное вещество распадается, разбивается ампула с ядом, и кот

погибает. Согласно традиционной¹ копенгагенской интерпретации квантовой механики, до самого момента наблюдения невозможно сказать, распалось ли вещество. Как говорил Гейзенберг, у квантовых объектов нет истории до наблюдения. В квантовом мире нет истории.

Кто же наблюдатель? Мысль Шредингера заключалась в том, что мы становимся наблюдателями, когда открываем ящик и смотрим, распалось вещество или нет. Если распалось, то в этот самый момент возникает история его распада. Но если это так, то в каком состоянии находится кот до того, как происходит наблюдение? Для квантового объекта может быть совершенно естественным пребывать в этом частичном состоянии, но для обычного предмета вроде кота что означает пребывать в неопределенном статусе? Квантовая механика привязывает наблюдателя к наблюдаемому.

С тех пор было обнаружено, что наблюдение за распадом радиоактивного атома может его замедлить, — своего рода квантовое доказательство старой шутки про закипающий чайник. Постоянное наблю-

¹ Первая значительная попытка объяснить, какого рода физическая реальность стоит за квантовой механикой, была предпринята Нильсом Бором и Вернером Гейзенбергом в Копенгагене в 1927 году. В том же году в Брюсселе состоялся Сольевевский конгресс (названный в честь его устроителя, бельгийского химика и предпринимателя Эрнеста Сольве), посвященный вопросу об интерпретации квантовой механике. Из 23 делегатов конгресса 17 были настоящими или будущими нобелевскими лауреатами, среди них Мария Кюри — дважды нобелевский лауреат. Именно на этом конгрессе Эйнштейн, говоря о принципе Гейзенберга, заявил, что “Бог не играет в кости”, на что Бор ответил: “Альберт, перестань указывать Богу, что ему делать”.

дение останавливает развитие волновой функции, описывающей квантовый объект, и тем самым задерживает вероятность атомного распада. Но неужели мы действительно обладаем такой властью над реальностью? Неужели мир имеет какой-то смысл только в моменты, когда за ним наблюдает человек? И почему человек, а не другое сознательное животное? Хотя бы и кошка? Идея о привилегированности человеческого сознания настолько противоречит принципу Коперника, насколько это вообще возможно. Человечество больше не находится в центре вселенной, все стало гораздо хуже — оно определяет природу этой реальности.

Оказывается, очень сложно изолировать квантовый объект от общего целого, и именно этот факт предлагает выход из ситуации. Сегодня стало возможным изолировать молекулы бакминстерфуллера (состоящие из 60 атомов углерода). В лабораторных условиях было проверено, что такая молекула способна пройти через две прорези в экране (условия эксперимента почти не изменились со времен Янга) одновременно. Несколько десятков лет назад подобное предположение выходило за рамки любого материального представления о мире, но сегодня мы знаем, что такая магия возможна. Ученые нашли способ изоляции молекулы бакминстерфуллера с сохранением ее квантовых качеств — она существует в форме вероятностной волны, которая и проходит через обе прорези. И только когда мы производим измерение и задаемся вопросом о местонахождении молекулы, она становится видимым объектом с вещными свойствами. Как

нам представляется, единственный способ для данной молекулы оказаться там, где она оказалась, — пройти одновременно через обе прорези. Но было бы ошибкой представлять, что молекула расщепилась на две сущности, проходя через экран, — это означало бы серьезное изменение идеи существования в видимом мире. Наблюдаемая действительность — локальная идея существования. Более глубокое понимание — существование в квантовом мире, которое мы можем измерить в своем наблюдаемом мире только статистически и только частично. Квантовая реальность не подразумевает одновременного пребывания в нескольких местах, она подразумевает непробывание в том, что мы привыкли называть местом. Подобное существование не есть несуществование, это расширенное понимание существования.

Обособленное устройство этих двух миров становится очевидным, когда мы изолируем объекты мира классических сущностей. Но удержать квантовый объект в изолированном состоянии чрезвычайно трудно. Даже объекту, состоящему всего лишь из 60 атомов, требуется крайне низкая температура, чтобы удержаться от превращения в объект классического мира. Переход из квантово-механической реальности в классическую называется декогеренцией. Недавно мы вышли из положения с нарушением принципа Коперника в парадоксе Шредингера, приняв, что сама природа, а не человек является наблюдателем. Ветер и солнечный свет измеряют дерево и убеждают нас в его существовании даже вне нашего наблюдения. Классические в нашем понимании объекты, подобные котам и стульям, про-

исходят из взаимодействия квантовых объектов с окружающей средой. Способы воспрепятствовать декогеренции квантовых объектов существуют, но они сложны в реализации. Природы слишком много, и она нацелена на охват, измерение всего сущего. Нам удается удержать от декогеренции отдельную молекулу, но шансы на изоляцию кота, состоящего из 1027 атомов, крайне малы.

Информация просачивается из одной реальности в другую. Похоже, именно путем декогеренции природа распространяет информацию по вселенной, и, возможно, это влияет и на наше восприятие времени как однонаправленного потока. Возможно, время — течение информационного потока, который препятствует слишком долгой изоляции квантовых объектов от окружающей природы.

В 1920-х годах, когда начались первые попытки интерпретации квантовой механики, физика часто связывалась с восточным мистицизмом, и эта связь до сих пор не дает покоя некоторым ученым. В восточной философии существуют воззрения, в которых мир не состоит из предметов или пустоты, а является паутиной взаимосвязанных явлений. Квантовая механика пришла к тому же. Когда мы выделяем отдельные объекты, их выделенность является иллюзией. На глубинном уровне действительности находится неделимый мир, из которого извлекались объекты. Научный метод ощупывает явления, чтобы описать их, а затем, базируясь на этих описаниях, обнаруживает законы природы, охватывающие и соединяющие еще большее число явлений. За последние годы стало ясно, что наука в состоянии дать

единое описание природы, которое покажет, каким образом цельная паутина явлений манифестирует себя в раздельности. Поскольку методология отталкивается от идеи раздельности, легко поверить, что раздельность и есть глубинная реальность, забывая, что основная цель — познать нераздельность. Квантовая механика привела нас в такое место, где забрезжило понимание, издавна имевшееся у мистиков: каким образом мир, видимому состоящий из отдельных предметов, возникает из мира неделимости (невещного мира).

Другим способом уйти от проблем копенгагенской интерпретации квантовой механики является многомировая интерпретация, выдвинутая американским физиком Хью Эвереттом (1930–1982) в 1957 году. Вместо того чтобы постулировать коллапс волновой функции при ее измерении, он предположил, что случается каждое возможное квантовое событие. Все возможные миры существуют параллельно друг другу, и в них реализованы все возможные варианты развития событий. В сценарии множественных миров реальность как бы не принадлежит ни одному из них. Это граница между всеми возможными квантовыми мирами. Кот оказывается жив в одних мирах и мертв в других.

Физик Дэвид Дейч (р. 1953) принадлежит к убежденным сторонникам этой теории. Он утверждает, что совсем скоро появятся свидетельства в пользу существования этих множественных миров. Речь идет о квантовых компьютерах, создание которых, как считается, не за горами. Вместо классической двоичной системы компьютерных вычислений квантовые вычисления строят-

ся на том принципе, что квантовый объект может находиться одновременно в множестве разных состояний, что дает квантовому компьютеру возможность производить одновременно сразу много вычислений. К примеру, гипотетический квантовый компьютер мог бы взломать любой современный алгоритм шифрования за секунды, в то время как классическим компьютерам она будет неподвластна, даже если каждая частица видимой вселенной превратится в компьютер, перебирающий варианты в течение всей жизни вселенной. Если квантовые вычисления обретут реальность, то где, спрашивает Дейч, мы полагаем, эти вычисления будут происходить? Единственный возможный ответ — квантовый компьютер использует вычислительные мощности параллельных вселенных.

Минусом теории множественных миров является ее крайняя экстравагантность. Методология науки нигде не записана, она находится в постоянном развитии, ее общее место — лучшие научные теории одновременно являются и наиболее экономными. Это положение известно под именем бритвы Оккама, в честь английского монаха-францисканца и философа Уильяма из Оккама (ок. 1288 — ок. 1347), который первым сформулировал этот принцип. Теория множественных миров предсказывает существование огромного (возможно, безграничного) числа параллельных вселенных — подобного предсказания достаточно для того, чтобы большинство ученых сочли такую теорию бесполезной.

Несмотря на то что Эйнштейн был одним из создателей квантовой механики, он так и не смог повести в мир, где электроны не существуют в отсутствие

наблюдателей. Он считал, что за пределами квантовой механики существует еще более глубокий уровень реальности, который возрождает идею цельности, подобно тому как законы поведения газов (хотя и носящие статистический характер) вернули веру в полный физический детерминизм. В самом деле, теоретически поведение газа можно описать с помощью законов Ньютона. А на практике не хватит времени, чтобы полностью описать поведение всех молекул газа даже в небольшом сосуде. При подходе к молекулам статистически (как к толпе людей) поведение газа как единого целого может быть точно описано, если не вникать в детали поведения отдельных атомов. Полный детерминизм остается теоретически возможным, а практически мы пользуемся статистическим описанием. Эйнштейн полагал, что в этом смысле квантовая механика в конечном итоге тоже окажется цельной¹.

¹ К концу XX века теория хаоса подорвала детерминизм классической механики, как до того случилось с законами поведения газов. Теория хаоса утверждает, что в природе есть системы такой тонкой настройки, что мельчайшее различие между двумя состояниями этой системы, идентичными во всем остальном, может приводить к кардинально различающимся результатам. Согласно теории хаоса, многие природные системы описываются нестабильными математическими уравнениями, которые можно считать детерминистскими только в теории. Пример такой системы — погода. Независимо от тщательности нашего описания погодных условий в данный момент они могут развиваться в нечто совершенно отличное от прогнозируемого — по той причине, что мельчайшая неточность в значении одной из переменных способна вызвать к жизни совсем другой сценарий развития события. Этот эффект называется эффектом бабочки: не приняв во внимание незначительное возмущение воздуха от крыла бабочки, мы рискуем не предсказать надвигающийся ураган. Французский философ Блез Паскаль (1623–1662) высказывал сходные мысли, рассуждая о тех различиях, которые могла бы приобрести история в зависимости от длины носа Клеопатры.

В особенности Эйнштейна интриговали работы американского физика-теоретика Дэвида Бом (1917–1992). В классическом мире цельность — это объединение нашего понимания отдельных вещей. Дэвид Бом перевернул все с ног на голову и заявил, что на самом деле цельность определяет поведение вещей, которые мы видим по отдельности, подобно тому как если бы мы видели мир с помощью камер, снимающих с разных углов, и принимали бы эти аспекты за различные явления, в то время как углы зрения, если бы мы только это поняли, есть лишь различные перспективы одной и той же реальности.

Эйнштейн, а также русский физик Борис Подольский (1896–1966) и израильтянин Натан Розен (1909–1995) разработали мысленный эксперимент, названный впоследствии парадоксом Эйнштейна — Подольского — Розена (ЭПР). Эксперимент был призван доказать, что реальность, описываемая квантовой меха-

Аналогичным образом, английский историк А. Дж. П. Тейлор (1906–1990) предполагал, что Первая мировая война могла бы не начаться, не сверни экипаж эрцгерцога Фердинанда на ту самую улицу, где его застрелили. “Враг вступает в город, пленных не щадя, оттого что в кузнице не было гвоздя” (пер. С. Маршака). Уравнения хаоса вполне детерминистичны, просто они заставляют нас переосмыслить само понятие детерминизма. То же самое происходит и в квантовой механике. Открытие Гейзенберга состояло в том, что даже поведение отдельных атомов непредсказуемо. Несмотря на это, квантовые системы описываются волновыми функциями, которые детерминистичны, хотя реальность, ими описываемая, непредсказуема. Часто говорят, что свободная воля невозможна в детерминированном мире, но все выглядит так, будто мир нарочно создан, чтобы иллюзия свободной воли была гарантирована. Именно сложность развитой реальности делает эту иллюзию убедительной, будто сама природа вознамерилась спасти нас от экзистенциальной безысходности.

никой, не может быть неполной, каковой она представляется, например, в копенгагенской интерпретации. Если не вдаваться в детали, в ЭПР представляется воображаемая пара частиц, у которых некоторое свойство принимает одинаковое значение, но с противоположным знаком (зацепленные состояния), — например, спин. По канонам копенгагенской интерпретации квантовой механики, при нашей попытке измерения (в данном случае — спина частицы) волновая функция системы схлопывается, принимая одно из возможных значений. Парадокс в том, что при измерении спина одной частицы само построение системы гарантирует нам знание о спине второй частицы, что будет верным даже в случае разнесенности частиц в пространстве на миллионы миль. Этот факт входит в противоречие с законом Эйнштейна о невозможности мгновенной передачи информации (поскольку не существует скорости выше скорости света). Сам Эйнштейн назвал это “пугающим действием на расстоянии”. Как вторая частица могла “узнать” о коллапсе волновой функции? В некотором смысле этот эксперимент имеет сходство с парадоксом кота Шредингера — он подчеркивает непреодолимый разрыв между макромиром и микромиром, описываемым квантовой механикой.

Французский физик Ален Аспект (р. 1947) придумал, как реализовать ЭПР на практике. В 1982 году, к несчастью для Эйнштейна (а также Подольского и Розена), после многих лет тщательных проверок Аспект доказал неполноту квантового мира. А совсем недавно Николас Гизин из Женевского университета с помощью сложнейших экспериментов с помощью оптиче-

ской кабельной сети, раскинувшейся на многие километры вокруг Женевского озера, продемонстрировал, что мгновенная коммуникация между квантовыми объектами возможна. Выяснилось, что Эйнштейн был не прав и существование нашего мира отнюдь не везде точно и детерминировано.

Научный метод постижения обнаружил немало изобретательных способов расширения понятий существования и реальности, в том числе за пределы того, что мы называем видимой вселенной. Мотор этого движения — становящаяся все более мощной математическая теория, а залог продвижения научного метода — обязательная материальная интерпретация математических построений. Однако в результате получается настолько причудливый материализм — взять, к примеру, идею бесконечного числа параллельных миров, — что граница между загадкой и мистикой практически перестает быть различимой. Чем сегодня отличается материалист от мистика?

Нечто и ничто

На Маргейтских песках

Свяжу ничто

С ничем в пустоте.

Т.С.Элиот, "Бесплодная земля",

пер. А. Сергеева

Самое известное в науке уравнение описывает соотношение энергии и массы в рамках эйнштейновской специальной теории относительности: $E = mc^2$. Эйнштейн открыл, что энергия (E) и масса (m) являются двумя сторонами одного целого. Более того, имеется природная константа, которая указывает на то, сколько энергии содержится в данной массе. Эта константа (c) — скорость света, то есть число метров, которые свет преодолевает в вакууме за секунду, приблизительно 299 792 458. В уравнении Эйнштейна присутствует квадрат этого большого числа, что делает его поистине огромным, примерно $8,99 \times 10^{16}$. В этом кроется объяснение того, что даже в небольшой массе содержится много энергии, — секрет атомной бомбы. Изначально Эйнштейн записывал уравнение как $m = E/c^2$, вынося массу на передний план. $E = mc^2$ — идентичное уравнение, но выбор такой записи подчеркивает, что именно энергия нуждается в дальнейшем объяснении. Нам

известно, что масса искривляет пространство-время и передается полем Хиггса. Гораздо меньше мы знаем об энергии. Известно, что она существует во множестве различных форм и как эти формы переходят друг в друга, но нам не ясно, что такое энергия. Например, солнечный свет в процессе фотосинтеза превращается в растительное вещество, часть которого с течением времени становится углем. Когда мы сжигаем уголь, химическая энергия межмолекулярных связей преобразуется обратно в свет и тепло. Гулливер в своих путешествиях встретил ученых, которые пытались извлечь солнечный свет из огурцов. Что ж, эта затея была не столь безумной — если бы им только хватило времени и огурцов.

Где-то в 1940-х Эйнштейн прогуливался по Принстону, беседуя с физиком-теоретиком русского происхождения Георгием Гамовым (1904–1968). Тот упомянул, что, размышляя об открытой Эйнштейном эквивалентности энергии и массы, пришел к выводу: звезды могут возникать из ничего, поскольку энергия массы у них в точности уравновешена энергией собственного гравитационного поля. Эйнштейн был настолько потрясен этим наблюдением, что, по словам Гамова, “нескольким автомобилям даже пришлось остановиться, чтобы не сбить нас, когда мы переходили улицу”. Если огромная вселенная — только иерархия звезд, то и она целиком могла возникнуть из ниоткуда. Ее суммарная энергия равна нулю. Парменид, а затем и король Лир ошибались: вселенная — это ничто, происходящее из ниоткуда.

Обнаруживается странное противоречие. Вселенная как скопление звезд оказывается ничем, в то время

как мельчайшие фрагменты пространства буквально кипят от энергии. В нашем распоряжении есть два идеальных описания природы: теория относительности, возникшая из исследований большой вселенной, и квантовая механика, появившаяся из исследований микромира. Вместе взятые, они дразнят нас намеками и на унификацию, и на оппозицию.

Сшитая на живую нитку стандартная модель включает три из четырех взаимодействий — электромагнитное и слабое ядерное, объединенные в электрослабое, а также сильное ядерное, — и подразумевает возможность объединения всех трех при высоких энергиях, но для этого требуется введение еще одного уровня частиц — так называемых суперсимметричных частиц. Суперсимметрия позволяет учеными связать частицы, используемые в описании взаимодействий (бозоны), и фундаментальные частицы, используемые в описании материи (фермионы). Объединение электрослабого и сильного взаимодействий обходится дорого: у каждой частицы (а их сотни) появляется частица-суперпартнер. Суперпартнеры материальных частиц, например кварка и электрона, называются скварк и селектрон, а частиц — переносчиков взаимодействия, например фотона и глюона, — фотино и глюино соответственно. Главным изъяном теории является то, что ни одна из сотен частиц не была зафиксирована, но по меньшей мере математическое объединение возможно, а это уже что-то. Опять же, от Большого адронного коллайдера ожидают экспериментальных данных, которые так

или иначе смогут прояснить ситуацию. Некоторые ученые надеются на подтверждение того, что суперсимметричных частиц не существует. Есть и такие, кто считает стандартную модель настолько вышедшей из-под контроля, что неожиданное и непрогнозируемое физическое наблюдение окажется на данном этапе полезным толчком к развитию теории в новых направлениях.

Суперсимметрия также прокладывает путь к объединению трех взаимодействий стандартной модели с гравитацией. Расширение стандартной модели квантовой теорией гравитации может быть достигнуто за счет введения частицы — переносчика взаимодействия гравитона и ее суперпартнера гравитино. Ни одна из этих частиц не была зафиксирована, а в самой стандартной модели постулирование гравитона вызывает появление ненужных бесконечных значений в математическом описании, что, как правило, свидетельствует о беспомощности теории. Хотя гравитон и не был обнаружен, известны некоторые его свойства: то, каким он должен обладать спином и что он не обладает массой, подобно фотону. Также известно, что гравитон крайне сложно обнаружить из-за чрезвычайной слабости гравитационного взаимодействия. Гравитация слабее света в 1040 раз, поэтому предсказанные гравитоны практически совсем не взаимодействуют с материей. Было подсчитано, что для обнаружения гравитонов понадобится устройство размером с Юпитер, окруженное свинцовым экраном толщиной в несколько световых лет, и даже в таких условиях количество обнаруженных частиц будет недостаточным для признания эксперимента убедительным. Хотя суперсимметрии и не хвата-

ет физического подтверждения, ее математическая основа предсказывает объединение всех взаимодействий (т. н. великое объединение) при очень высоких энергиях — около 10^{19} электронвольт¹. Это делает празднование победы несколько преждевременным, поскольку даже БАК достигает энергии не более 10^{13} электронвольт. Даже незначительный прирост энергии дается огромной ценой, что, по-видимому, отодвигает энергию великого объединения за пределы досягаемости.

Среди попыток объединения гравитации и квантовой механики больше всего надежд и разочарований принесла, вероятно, теория струн. Она действует в мире квантовых струн, одномерных протяженных объектов масштаба примерно 10^{-35} м, на семнадцать порядков меньше максимального размера электронов и кварков. Струна настолько меньше электрона, насколько мышь меньше Солнечной системы.

С ракурса струн частицы выглядят как точки, поскольку дистанция очень велика. В большем приближении и при высокой энергии то, что мы воспринимаем как поля и частицы, превращается в струны колеблющейся энергии. Теория струн пытается сгладить буйную природу квантового мира, отыскать глубинную симметрию, скрывающуюся за его внешней хаотичностью.

Преобразовывая квантовую теорию в непрерывную, теория струн пытается сочетать квантовую механику с теорией относительности. Теории, стремящие-

¹ Один электронвольт — это энергия, необходимая для переноса электрона в электростатическом поле между точками, разница потенциалов которых равна одному вольту.

ся к подобному объединению, называются теориями всего (или едиными теориями). До сих пор неизвестно, является ли теория струн единой или нет.

Уже не приходится удивляться тому, что попытки создания единой теории даются дорого. Теория струн предусматривает одиннадцать измерений в новом симметричном мире, в ней возможно сочетание нескольких временных и пространственных измерений. Когда теория возникла, она оперировала 26 измерениями, которые позднее сократились до десяти (теория суперструн), когда было обнаружено пространство Калаби — Яу [названное в честь итало-американского математика Эудженио Калаби (р. 1923) и китайского математика Шинтана Яу (р. 1949)]. Эта десятиразмерная теория имела пять разных форм, пока в 1995 году они не объединились в единую теорию в 11 измерениях, получившую название М-теории, которую и имеют в виду сегодня, когда говорят о теории струн.

Теория струн крайне сложна — существует порядка 10^{500} возможных вселенных, описываемых ею, и понять, что относится к нашей, — неочевидная задача. Также возникает вопрос: если реальность существует в 11 измерениях, почему нам доступны только четыре — три пространственных и одно временное? Если дополнительные измерения — пространственные, неизвестные нам семь измерений считаются свернутыми настолько плотно, что их практически невозможно разглядеть. Провод выглядит на расстоянии как одномерная линия, но насекомое, ползущее по проводу, считает иначе: оно может обойти провод, исчезая и появляясь в поле зрения удаленного наблюдателя. Ис-

чезновение прочих семи измерений природы — иллюзия того же свойства, но в большем масштабе. Если же добавочные измерения теории струн — пространственно-временные, то теория становится еще более сложной.

Основная идея заключается в том, что квантовый мир может казаться хаотичным и искаженным по той причине, что именно таким образом гладкий и непрерывно изменяющийся одиннадцатимерный мир отражается в нашем иллюзорном четырехмерном. Мир становится более симметричным, когда мы рассматриваем его конструкцию в 11 измерениях.

Возможно, свидетельства существования дополнительных измерений обнаружатся с помощью Большого адронного коллайдера (БАК будет очень загружен работой). Пока же предполагается, что определенные до сих пор не открытые частицы, которые в обычном режиме были бы выявлены в виде всплесков энергии, могут — поскольку они скрыты из виду в плотно скрученных измерениях пространства — обнаруживаться как “пятна недостающей энергии”. Заметим, что это странный способ проверки. Следует обладать недюжинной силой духа, чтобы не только верить в наличие физического смысла математической базы теории струн, но и считать, что этот смысл может подтверждаться обнаружением некоторых предсказанных, но до сих пор не наблюдаемых частиц.

И стандартная модель, и теория струн нуждаются в суперсимметрии, но, как мы уже знаем, свидетельств существования суперсимметричных частиц нет; но теория струн по крайней мере справляется с бесконечно-

стями, которые мешали теории гравитации в рамках стандартной модели. По сути, победа теории струн состоит в том, что определенные струны обладают ровно теми свойствами, которые соответствуют гравитонам. Теория практически предсказывает безмассовый гравитон и его спин. Единая она или нет, она является квантовой теорией гравитации.

В общей теории относительности гравитация уже представлена, так что при наличии описания гравитации в квантовой механике обе теории должны будут объединиться — общая теория относительности должна будет состыковаться с квантовой механикой. Мы начали понимать, в какой момент квантовый мир переходит в мир крупных объектов: изолировать в качестве квантовых объектов даже несколько молекул крайне сложно. И наоборот, возникает тот же вопрос: в какой момент теория макромира переходит в квантовую?

Поскольку в рамках теории относительности Большой Взрыв задает не статичную вселенную, а расширяющуюся, здесь кроется возможность найти место встречи двух теорий и на удивление простой путь к установлению природы квантов пространства и времени (если они существуют). Если в режиме обратной перемотки проследить расширение вселенной после Большого Взрыва, мы увидим, что вселенная возникает из точки необычайно плотной концентрации энергии (или материи); можно сформулировать иначе — теория Большого Взрыва перестает работать сразу после возникновения вселенной: завеса опускается и скрывает начало вселенной. По счастью, поскольку у нас есть теория, описывающая микромир, квантовая теория работает

там, где теория относительности бессильна. Двигая квантовую механику и теорию Большого Взрыва друг навстречу другу, можно понять, насколько мала может быть вселенная перед превращением в подлинно квантовый объект.

Хотя мир энергии и материи находится в постоянном движении, в законах природы, описывающих это изменчивое течение, то и дело возникают загадочные числа. Числа, подобные c — константе скорости света, G — гравитационной константе, определяющей силу тяготения, e — постоянной, определяющей заряд электрона, и h — постоянной Планка, задающей размер кванта энергии, с первого взгляда никак друг с другом не связаны и появляются в разных законах природы. Некоторые ученые считают, что, если когда-то и возникнет единая теория, сперва нужно будет понять, что связывает эти константы — довольно уродливые числа, выраженные не менее уродливыми наборами символов. G , например, это $6,67259 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$. Но простейшая манипуляция с некоторыми константами обнаруживает естественные единицы измерения, так называемые планковские единицы (не путать с постоянной Планка), — мельчайшие единицы измерения, которые могут обозначать что угодно.

Планковская длина составляет $4,13 \times 10^{-35} \text{ м}$ — самая короткая протяженность, которая еще несет смысл “протяженности”. Не стоит говорить о длинах короче 10^{-35} м . Поскольку нам известна скорость света, а также то, что она — максимальная в нашей вселенной, мы

можем вычислить планковское время — самый короткий промежуток, который еще имеет смысл. Это, попросту говоря, тот отрезок времени, который требуется свету для перемещения на планковскую длину. Простое вычисление дает результат: планковское время составляет $1,38 \times 10^{-43}$ с. В некотором смысле вселенная (содержащая и время) должна была обладать возрастом 10^{-43} с. в момент своего создания, поскольку до этого момента время не имело смысла. А ее размер должен был быть 10^{-35} м, поскольку все меньшие размеры также не имеют смысла.

Квантовая механика учит, что правильнее говорить об энергии элементарной частицы, нежели о ее размере. Мы знаем, что частицы могут обнаруживать протяженность в пространстве (если мы настаиваем на получении этой информации), но теперь мы знаем и то, где исчезает сама протяженность.

Теория струн оперирует короткими протяженностями энергии, балансирующими на самой границе значения длины. Колебательные свойства этих сгустков энергии заменяют частицы и поля в квантовой теории поля. Теория струн резонирует с идеями, которые приписывались пифагорейцам, — открытием простых математических отношений между звуками, издаваемыми колеблющимися струнами разной длины. В высшей математике теории струн сила вибрации соответствует массе в наблюдаемом мире, а колебательный рисунок — фундаментальным взаимодействиям. Ответить, почему все должно быть так, не менее сложно, чем ответить, почему облако виртуальных частиц описывает фундаментальные взаимодействия. Проверка возможна толь-

ко посредством математики, а бедным нематематикам остается принимать такие теории на веру.

Теория струн — не единственная забава физиков, и некоторые из них считают ее катастрофой для науки, отвлекшей слишком многих лучших. Петлевая квантовая теория гравитации представляет собой еще одну попытку подступить к квантовой теории гравитации. В теории струн ткань бытия соткана из струн энергии, в петлевой квантовой теории материя состоит из квантов пространства и времени, как принято плести пространство-время в теориях относительности¹. Наличие реальных квантов пространства и времени — пока лишь теоретическая догадка, но, поскольку все прочее в квантовой физике делится на мельчайшие частицы — спин, заряд, цвет, масса, энергия и т. д., почему бы не делиться на них и пространству с временем? В петлевой теории гравитации элементарные частицы становятся формами, сплетенными из планковых длин пространства. Английский физик Стивен Хокинг (р. 1942) развил эти идеи и предположил, что сама история вселенной тоже разбита на кванты. И наше измерение вселенной определяет ее историю. Наши измерения меняют наше прошлое. Хокинг и американский физик Джеймс Хартл выстроили теорию, которая превращает время в пространство при достижении очень высоких энергий, тем самым предложив еще один способ разговора о возникновении вселен-

¹ В квантовой механике пространство и время жесткие, как в механике Ньютона, а не податливые, как в специальной и общей теории относительности.

ной. Хокинг и Хартл утверждают, что вопрос о возникновении вселенной не имеет смысла, так как тогда не существовало времени. “Возникновение” не является началом этой истории, поскольку при больших температурах время становится пространственным измерением. Но это уводит в настолько абстрактные миры, где даже время воображаемо, что, пожалуй, начинаешь понимать, почему в общественном сознании безумие и наука — близкие соседи.

Квантовые теории гравитации рассказывают историю возникновения вселенной (даже если в процессе истории выясняется, что вселенная началась не во времени). Чтобы увидеть квантовую природу гравитации, нужна огромная энергия, и квантовая механика говорит нам, насколько огромная. Теоретически, если бы можно было поместить всю эту энергию в вакуум, мы повторили бы условия, существовавшие в момент возникновения вселенной. Увеличивая энергию, помещаемую в вакуум, мы приближаемся к исходной квантовой природе вселенной. Именно это наблюдается во все более мощных ускорителях частиц: условия внутри ускорителей все ближе к условиям начала вселенной. Если мы сможем описать это квантовое состояние, мы сможем описать возникновение вселенной.

Прокручивание Большого Взрыва в обратную сторону демонстрирует, что материя вселенной вбирает все больше энергии, пока не становится чистым излучением. Современные теории предполагают, что, пока вселенная была квантовым объектом, ее симметрия сдерживала природные взаимодействия в рамках еди-

ной сущности. По словам американского физика Арманда Дельсемма, вселенная возникла из-за “спонтанного нарушения существующей великой симметрии небытия”. Невероятные энергия и симметрия вакуума были нарушены по не понятным до сих пор причинам, и наша видимая вселенная явилась результатом этого нарушения.

Древние использовали мощь поэзии для передачи знаний. Современная материальная история создания стала настолько труднодоступной для понимания, что, возможно, ей в судьи требуется поэт. В научном дискурсе поэзией является математика: даже в нашем языке симметрия, изящество, простота, краткость, тонкость, глубина — высшие качества обоих выразительных средств. Галилей и Ньютон разработали связь математики и познания, и с тех пор математика является языком науки. Но этот язык становится все более непередаваемым даже в ученых кругах. Единый секретный язык превратился в множество языков, и на каждом говорит небольшой клан специалистов. Сегодня проверка некоторых математических доказательств занимает годы работы нескольких специалистов.

Тем не менее в квантовой механике более всего впечатляют не сложность и изощренность математического аппарата, не способность найти и поименовать сотни частиц, а скорее наоборот. Сложность и фрагментарность — высокая цена, которую мы готовы платить за приближение к простоте и единству, осколки прекрасного предмета, упавшего и разбившегося.

Теория всего обещает вселенную, возникшую в форме совершенной симметрии и затем разрушенную.

Остальное — следствия. Совершенная симметрия, судя по всему, является не свойством этого мира, а лишь начальным условием его возникновения. Наш мир — результат нарушенной симметрии. Древние греки это знали и понимали, что самые красивые вещи на свете — не те, что идеально симметричны, а те, что близки к идеалу. Только во внешних сферах достижима совершенная симметрия. Вся история науки — погоня за симметрией. “Распознавание образов — основа любого эстетического наслаждения, будь то музыка, поэзия или физика”¹, — говорит американский физик Боб Парк (р. 1931).

Идеальная симметрия, из которой возникла вселенная, сравнивалась с заточенным карандашом, стоящим на кончике, — слишком симметричное состояние, чтобы длиться долго. Карандаш непременно упадет, но неизвестно, в какую сторону. Безусловно, этот великий момент (который не был моментом и не случился нигде, поскольку расположение не было свойством места, которое даже и не место) заслуживает лучшей аналогии. Чем бы ни была эта симметрия, причины ее нарушения нам до сих пор неведомы.

В 1952 году Георгий Гамов назвал период перед Большим Взрывом “эрой святого Августина” — в честь св. Августина, который писал, что время возникло одновременно с вселенной. На отметке 10^{-43} с. кусочек, который мы сейчас называем вселенной, начался во времени. Четыре природных взаимодействия пребывали в симметричном состоянии.

1 *New Scientist*, 9 декабря 2006 года.

 $10^{-43} - 10^{-36}$ с.

Вселенная расширяется, и температура падает с максимально значения 10^{32} (так называемая температура Планка). На некоторое время воцаряется мир. С наших позиций для объединения гравитации с прочими взаимодействиями требуется больше энергии, чем для объединения остальных трех взаимодействий друг с другом, и можно предположить, что именно гравитация первой ломает симметрию. Нарушение симметрии также называется сменой агрегатного состояния: в нашем макром мире мы можем наблюдать это явление, когда вода превращается из своей более симметричной жидкой формы в менее симметричную форму льда.

К концу этого отрезка времени температура вселенной снизилась до 10^{27} градусов. История вселенной обычно разворачивается во времени, но с тем же успехом ее можно разворачивать в температурных показателях. Расширение вселенной неразрывно связано с ее остыванием. Вселенная расширяется во времени, и по мере этого, составляющая ее материя распространяется и остывает.

Разница между вселенной с возрастом 10^{-43} с. и вселенной с возрастом 10^{-35} с. представляется незначительной, но, будучи измеренной в единицах Планка, она становится разницей между вселенной возрастом в одну единицу Планка и вселенной возрастом 10^7 (10 млн единиц Планка).

Из-за того что сильные и электрослабые взаимодействия все еще едины, теоретически в это время бозоны Хиггса — это лишь частицы во вселенной.

10^{-36} — 10^{-12} с. _____

Когда вселенная достигает возраста 10^{-36} с., начинается нарушение симметрии между сильным ядерным и электрослабым взаимодействием. К сонму частиц добавляются W - и Z -бозоны — переносчики электрослабого взаимодействия.

Где-то в интервале между 10^{-36} и 10^{-32} с. (между возрастом вселенной 10^7 и 10^{11} временных единиц Планка) вселенная не только расширяется, она подвергается инфляции, раздувается: эта теория впервые была выдвинута американским физиком Аланом Гутом (р. 1947) в 1982 году. Расширение вселенной, как оно описывалось теорией Большого Взрыва, носило характер устойчивого роста. Но есть гипотеза, что в рассматриваемый период вселенная расширялась экспоненциально, удваиваясь в размерах сотни раз кряду за крайне короткий срок. Считается, что, пока вселенная была моложе 10^{-32} с., она удваивалась в размере каждые 10^{-34} с.

Удвоиться сотню раз для вселенной — не очень масштабно, но тем не менее это превращает вселенную из объекта квантового ландшафта в нечто размером с грейпфрут¹. Не знаю, почему именно грейпфрут, но среди ученых и историков науки этот фрукт весьма по-

1 Легенда об изобретении, вероятно в Индии 1400 лет назад, шахмат демонстрирует, насколько быстро удвоение приводит к неправдоподобно большим числам. Крестьянин преподнес придуманную им игру императору, который обрадовался и спросил, какое крестьянин хотел бы вознаграждение. Скромный сельский житель попросил выдать ему порцию риса, разложенную на шахматной доске таким образом: на первой клетке одно рисовое зернышко, на следующей —

пулярен. Поскольку тут нет “точки зрения”, с которой можно смотреть, равно как нет и сторонних наблюдателей, довольно сложно сказать, какой смысл содержится в том, что вселенная имеет размер фрукта. Вселенная началась как излучение высокой энергии (свет), и с точки зрения этого первого света вселенная бесконечна и безвременна, поскольку для света времени нет вообще. Хотя мы и наблюдаем снижение световой энергии и угасание света, свет находится повсюду и всегда. Тот факт, что вселенная выросла до размеров грейпфрута, может что-то означать только при наличии наблюдателя, который бы придал смысл вселен-

в два раза больше, чем на предыдущей и т. д. Император, очевидно, человек не математического склада ума, с готовностью согласился, даже рад был так дешево заплатить. Принесли мешки и начали считать. Одно зерно, два зерна, четыре зерна, восемь зерен... 32 зернышка на шестой клетке, 512 на десятой, но уже 134 217 728 зернышек на 28-й. К этому моменту император, скорее всего, уже был в ярости. На одной только последней клетке должно было лежать 2^{63} зернышек риса, что больше, чем весь объем риса за всю историю Земли. 2^{63} , если не полениться посчитать, составляет 9 223 372 036 854 775 808, около 10^{18} , миллиард миллиардов рисовых зернышек. Тысяча рисовых зерен весит около 25 г, в килограмме содержится около 40 000 зерен. Это дает итоговую цифру в 230×10^{12} кг, или 230 млрд тонн риса. Небольшое исследование показывает, что общий урожай риса в 2005 году в Китае был 31,79 млн метрических тонн, Китай составляет 40% мирового рынка риса, что дает оценку мирового рынка в 75 млн тонн. Если бы в мире ежегодно производилось столько риса, последнюю клетку шахматной доски заполняли бы 3 тыс. лет подряд. Но тысячу лет назад производство риса было гораздо ниже, оно выросло экспоненциально лишь недавно, вслед за ростом населения в мире. Современные плантации короткостебельного риса действительно возникли только после Второй мировой войны. Следовательно, мы можем с уверенностью заключить, что с самого начала возделывания земли (около 12 тыс. лет назад) человечество произвело риса меньше, чем император должен был выложить на последнюю клетку шахматной доски.

ной-грейпфруту. Грейпфрут — это видимая вселенная, но возможно, что вселенная начала расширяться с бесконечного размера. То, что мы называем вселенной, есть лишь то, что можно охватить взглядом в данном пейзаже.

Инфляционная модель вселенной, добавленная *ad hoc* к квантовой теории, помогает решить несколько проблем, с которыми не справлялась общая теория относительности. Космологический принцип, добавленный Эйнштейном к общей теории относительности, рассматривает вселенную как равномерно наполненную материей, что явно не соответствует действительности, по меньшей мере в локальных масштабах. Мы наблюдаем скопления материи в уже знакомых нам структурах — звездах, галактиках, галактических скоплениях. Вещество видимой вселенной распределяется равномерно только на размерах очень больших порядков. Общая теория относительности не может объяснить “комковатость” вселенной на меньших порядках, зато это способна сделать квантовая теория благодаря своей случайности и хаотичности.

Бесчисленные пузыри энергии возникают и исчезают в вакууме, создавая то, что иногда называют квантовой пеной. Именно из этой пены и возникла наша вселенная. Квантовая теория поля допускает рост этих пузырей до размеров около 10^{-27} м, после чего они опять исчезают в вакууме. Изредка по непонятным для нас причинам пузыри избегают возвращения в вакуум. Один из таких пузырей и стал нашей вселенной. Другими словами, то, что мы называем вселенной, — это раздутый клочок квантового ландшафта, для которого

понятие размера не имеет смысла. Вселенная может быть безграничных размеров, а квантовый мир ускользает от самого понятия размера.

Квантовый ландшафт — место, где многие вселенные, возможно бесконечное их количество, зарождаются и погибают. Если сказать, что этот квантовый мир больше любой вселенной, которая из него возникает, это ничего не будет значить. Понятие размера может быть приложимо только к чему-то локальному в пределах видимой вселенной. Размер может ничего не значить даже в других частях нашей вселенной, за пределами того, что мы называем видимой вселенной, уж не говоря об иных вселенных, избежавших вакуума.

В русле коперниканского противодействия антропоцентричным идеям эта инфляционная модель имеет некоторые убедительные последствия. Мы вынуждены предположить существование множества других пузырей — может быть, даже бесконечного их количества, — раздувающихся в другие кусочки квантового ландшафта с иными законами природы. Таким образом, мы в очередной раз убеждаемся, что даже в этом невероятном квантовом ландшафте наше положение ничем не выделяется. То, что мы называем видимой вселенной, является локальным феноменом, но и то, что мы называем просто вселенной, тоже оказывается локальным феноменом. Подлинной вселенной вместо этого оказывается квантовый ландшафт, из которого возникла наша вселенная (и ее кусочек, называемый видимой вселенной), а также многие другие. Подобно тому как атомы уже не являются тем, что обозна-

чает их имя (неделимыми), “вселенная” больше не является словом, означающим все сущее. Ученые предпочитают называть эту только что открытую землю мультивселенной.

Значит, наша локальная вселенная есть результат случайной и беспричинной флуктуации квантового ландшафта. Все расположенное за дальнейшими пределами вселенной в обоих направлениях — и вглубь, и вширь — выходит за рамки нашего нынешнего понимания законов природы. С углублением понимания вселенной она растет и уже начинает выходить за пределы представлений о собственных размерах. Мультивселенная, или то, что мы будем понимать под следующим проявлением вселенной, может навсегда остаться за пределами наших описательных способностей.

Слишком рано судить, стоит ли за инфляционной моделью нечто большее, чем блестящий математический фокус. Строго говоря, это гипотеза, а не теория. Еще не до конца понятно, как математическую конструкцию можно трансформировать в экспериментально проверяемые физические утверждения, и инфляционная модель преподносит экспериментальным физикам много сюрпризов. Ее объяснительная сила больше предсказательной. Несмотря на все это, инфляционную модель можно считать широко распространенной в качестве лучшего научного описания возникновения вселенной. Особенно вдохновляет то, что эта модель разрешает многие проблемы, казавшиеся неприступными. Инфляция переводит хаотичную случайность квантовых событий в скопления материи во вселенной. Комковатость, присущая квантовой пене, становится ком-

коватостью галактики или галактического скопления. Квантовые рисунки размножились в почти мгновенном инфляционном действии во всех масштабах видимой вселенной. Инфляция может произойти быстрее скорости света, потому что при этом не происходит передачи информации. Скорость света накладывает ограничение на скорость передачи информации во вселенной, но, если мы представим себе инфляционное расширение вселенной, все содержащееся в ней на самом деле остается на своих местах. Вселенная просто раздувается до огромных масштабов. Инфляционная модель объясняет также, почему природа выглядит сходным образом во всех размерах.

Фрактальная геометрия — раздел математики, который классифицирует объекты, имеющие странное свойство: их части выглядят как целое. В природе цветная капуста является фракталом, как и горные вершины, снежинки, облака и папоротник. Есть также резонансы между фрактальными объектами: береговая линия выглядит как край листа, а циклон — как спиральная галактика. Инфляция обеспечивает вселенную фрактальностью на всех размерах ниже крупнейших. Космологический принцип утверждает, что на крупных размерах вселенная выглядит гладкой. Когда мы смотрим на вселенную в целом, кажется, что она обладает текстурой хлеба (я имею в виду белый хлеб высшего сорта), но на меньших размерах мы имеем хлеб, изготовленный из крошки (никак не могу устоять перед аналогиями из домашнего хозяйства). За появление вселенной нужно быть благодарным случайности квантового мира.

Инфляционная модель делает еще кое-что: она объясняет, почему пространство, согласно расчетам, оказывается практически плоским. Под словом “плоский” мы понимаем угол треугольника, доведенный до 180° , лист бумаги. Но если углы треугольника рисовать на мяче, никаких 180° там нет, потому что мяч не плоский, и если космологический принцип говорит нам о вселенной, по текстуре похожей на хлеб, то здравый смысл подсказывает, что пространство не хлеб и плоским не является. Вселенная полна материи, искажающей время-пространство. Если материя распределена во вселенной равномерно, как предсказывается космологическим принципом, пространство должно было бы искривлять самое себя. Путешествуя достаточно далеко по такой вселенной, мы могли бы вновь очутиться в месте отправления, подобно тому как это возможно на Земле. Пространство не искривляет самое себя, но оно настолько плоское сегодня, что в момент возникновения вселенной должно было быть невероятно тонким, балансируя между вечно расширяющейся вселенной и вселенной, в конечном итоге схлопывающейся под собственной силой тяжести. Инфляция предлагает объяснение наблюдаемой плоскости пространства: пространство разглаживается в процессе инфляционного расширения, подобно тому как высыхает чернослив. Если математика квантополевой теории инфляции реально описывает положение дел вокруг нас, а не только является матмоделью, тогда в вакууме должна находиться еще одна, прежде не наблюдаемая частица. Конечно же, это инфлатон. Бозон Хиггса приносит массу, заряд электрона создает электромагнитное взаимодействие (поле

виртуальных фотонов), цвет создает сильное ядерное взаимодействие (поле глюонов) — и аналогично этому инфлатон (если он существует) описывает поле, раздувающее вселенную.

Если теория Большого Взрыва предсказывает, что вся ныне существующая материя уже имела место в самом начале, сжатая до невероятного предела, то инфляционная теория допускает создание вселенной примерно из 10 кг материи, открывая дорогу соблазнительным и пугающим перспективам создания вселенной в лаборатории. В инфляционной модели все вещество вселенной создается из вакуума самого пространства по мере расширения. Когда инфляция заканчивается, вселенная продолжает расширяться, но уже в гораздо более спокойном темпе, предсказанном теорией Большого Взрыва.

$$10^{-12} - 10^{-6} \text{ с.}$$

После окончания инфляции, когда вселенной исполнилась одна тысячная одной миллиардной секунды, температура вселенной упала до 10 трлн градусов.

Симметрия электрослабого поля нарушается, впервые допуская возникновение электромагнитных и слабых взаимодействий. Вселенная наполнена всеми видами элементарных частиц, существующих, как виртуальные частицы, в состоянии, называемом кварк-глюонной плазмой. Фундаментальные частицы, обладающие массой, обретают ее благодаря полю Хиггса. Пары виртуальных частиц и античастиц возникают и исчезают, воз-

вращаясь в состояние чистой энергии при взаимной аннигиляции. Реальные частицы на этом этапе не встречаются. Вселенная состоит из энергии, а не из материи и подчиняется сильному ядерному взаимодействию, что подтверждается присутствием глюонов в заполняющей все пространство плазме.

10^{-6} — 1 с. _____

Вселенная достигает примерно 1 км в поперечнике. По мере того как вселенная остывает и расширяется, проявляется и другая асимметрия. На каждые десять миллиардов кварковых аннигиляций остается один кварк. Русский физик-ядерщик и диссидент Андрей Сахаров (1921–1989) объясняет эту асимметрию поведением отдельной частицы, называемой К_е-мезоном. Всего насчитывается около 140 различных мезонов. Этот незначительный уклон в сторону прироста материи теоретически достаточен, чтобы обеспечить материю всей вселенной. Но общего согласия по поводу состоятельности такой теории нет. Некоторые ученые считают, что во вселенной должно быть столько же антиматерии, сколько и материи, и явное отсутствие антиматерии является для них одной из величайших загадок. Если бы существовали галактики, целиком состоящие из антиматерии, мы могли бы время от времени наблюдать их столкновения (с выделением огромной энергии) с галактиками, состоящими из материи. Но пока нет никаких свидетельств существования во вселенной структур, состоящих из антиматерии.

Кварк-глюонная плазма начинает конденсироваться в протоны и нейтроны. На этот период кварки “запираются” внутри протонов и нейтронов в результате еще одной необратимой смены агрегатного состояния в истории вселенной. Сильное ядерное взаимодействие, удерживающее кварки вместе согласно квантовой хромодинамике (КХД), имеет странное свойство: чем сильнее воздействовать на кварковую связь, тем сильнее она становится, что объясняет, почему кварки со времен своего “пленения” никогда не встречаются по отдельности.

Этот период известен под названием “адронной эры”. Адрон — собирательное название разных видов частиц, состоящих из кварков. Самые известные адроны — протоны и нейтроны или барионы — собирательное имя для всех частиц, состоящих из трех кварков. Прочие виды адронов называются мезонами и состоят из двух кварков. К моменту достижения возраста 1 с. мир уже полон самыми экзотическими частицами, связанными с сильным ядерным взаимодействием. Ускорители частиц способны воспроизвести некоторые из этих ранних состояний вселенной.

Следом появляются нейтрино — частицы, связанные с происхождением электронов. Они должны быть самыми распространенными частицами во вселенной, но пока ни одного нейтрино от Большого Взрыва не было обнаружено. Сначала итальянский физик Энрико Ферми (1901–1954) постулировал нейтрино как “крайнее средство” (по его собственным словам), необходимое для объяснения слабого взаимодействия. Существование этой частицы подтвердили в 1956 году.

Можно сказать, что вселенная была уже очень старой к тому моменту, когда ее возраст достиг одной секунды, хотя с нашим искаженным ракурсом восприятия она могла казаться невообразимо молодой. К тому моменту ей сравнялось 10^{43} единиц Планка. Сейчас вселенная насчитывает 10^{60} планковских единиц, а самая старая известная нам форма жизни, возникшая пару миллиардов лет назад, появилась, когда вселенной было 10^{59} планковских единиц. Вселенная кажется старой, если измерять ее возраст годами — 13,7 млрд лет, — но она значительно древнее в единицах Планка, а возникновение жизни случилось, фигурально выражаясь, мгновение назад.

1 с. — 3 мин.

В этот период во вселенной господствуют электроны и прочие частицы того же семейства, называемые лептонами. Существует только шесть типов лептонов. Электрон, мюон, таон — отрицательно заряженные частицы со спином $1/2$, но с сильно отличающимися друг от друга массами¹. Остальные лептоны являются соответствующими нейтрино, почти лишенным массы.

¹ Интуитивно невозможно понять, на что похож спин $1/2$. Спин — это одно из тех специфических квантовых свойств, которые исходно несут некоторую связь с соответствующим свойством в классическом мире, но становятся все более лишенными какого бы то ни было классического значения по мере закрепления в особенном мире квантовой механики.

3–20 мин.

К трехминутной отметке вселенную начинают заполнять электроны. Кроме того, температура уже достаточно снизилась, чтобы протоны и нейтроны начали собираться в атомные ядра под воздействием сильного ядерного взаимодействия — этот процесс получил название ядерной фузии (сплавления). Возникают первые ядра во вселенной, весь период нуклеосинтеза продлится 17 мин. В дальнейшем температура вселенной станет слишком низкой для продолжения процесса. Большинство ядер — одиночные протоны, как ядра водорода, хотя атомов водорода пока не существует. Также значительная часть вселенной наполнена альфа-частицами, как называли образование из двух протонов и двух нейтронов, подобное ядру гелия, хотя самого гелия еще тоже не было. Во вселенной содержится примерно в три раза больше водородных ядер, чем ядер гелия, а также незначительные вкрапления других легких ядер. Еще есть немного ядер дейтерия, водородного изотопа², которые состоят из слабосвязанных протона и нейтрона, а также совсем немного лития — три протона и три нейтрона, связанные вместе. Вот и весь доступный материал вселенной на тот момент. Когда вселенной исполнилась одна секунда, в ней встречались только протоны и нейтроны. Сейчас, спустя пару минут, протоны и нейтроны начали складываться в чуть более сложные

2 *Изотопы* — это неустойчивые атомы, у которых в ядре содержится столько же протонов, сколько и в устойчивых атомах. Именно число протонов определяет основные свойства элемента.

конструкции. Физика частиц предсказывает, что на этой ранней стадии во вселенной на каждый нейтрон должно было приходиться по семь протонов, что точно описывает содержимое вселенной. Предсказанное соотношение нейтронов и протонов в протовселенной поразительным образом подтверждается соотношением водорода и гелия в нынешнем межзвездном пространстве. Такое экспериментальное наблюдение доказывает, что квантовая физика и астрофизика описывают одну и ту же реальность. То есть можно сказать, что наши изолированные описания микро- и макромира все-таки могут быть сведены воедино.

3 мин. — 380 тыс. лет _____

Следующий этап в жизни вселенной начинается примерно через три минуты после Большого Взрыва. В этот отрезок времени повторяющиеся аннигиляции электронов и позитронов (антиэлектронов) и других лептонно-антилептонных пар создают вселенную, заполняющуюся фотонами (частицами электромагнитного излучения) и W - и Z -частицами, которые выглядят как фотоны, но обладают массой.

Примерно через 70 тыс. лет во вселенной сменяется преобладание излучения на примерно равные пропорции излучения и материи.

В интервале между отметками в 240 тыс. и 310 тыс. лет после Большого Взрыва вселенная становится достаточно холодной, чтобы ядра водорода и гелия могли начать захватывать электроны — этот процесс назы-

вается рекомбинацией. Во вселенной появляются первые нейтральные атомы водорода и гелия. Практически вся материя вселенной находится в форме либо водорода, либо гелия, время от времени попадают капли дейтерия и лития.

До появления атомов частицы света, фотоны, постоянно рассеивались заряженной плазмой, которая наполняла раннюю вселенную. Теперь, когда вселенную заполняет нейтральная материя, фотоны смогли объединиться в потоки света. Период “темных веков” подошел к концу. Непроницаемая вселенная становится прозрачной. Лучи света заливают все вокруг. Сегодня мы наблюдаем следы той вселенной — реликтовое излучение (или космическое микроволновое фоновое излучение): поток фотонов, температура которых упала с 2700 °С, когда вселенная была в тысячи раз меньше нынешней (имеется прямая зависимость между размером вселенной и ее фоновой температурой), до 2,7 градусов выше абсолютного нуля (-277,15 °С, или 0 по Кельвину). Эта окаменелость древней вселенной представляется электромагнитным излучением с таким сильным красным смещением, что сегодня мы наблюдаем его в виде микроволн длиной около 1,9 мм. Реликтовое излучение дало очень много информации о древнем состоянии вселенной.

Приветствуем рождение звезд _____

*Где был ты, когда Я полагал
основания земли?*

КНИГА ИОВА

Спустя несколько сотен тысяч лет после Большого Взрыва вселенная уже значительно больше похожа на то, что мы наблюдаем сегодня: в ней есть материя и есть свет. Расширяющаяся вселенная из света и материи за 13,7 млрд лет развилась в ту вселенную, которая нас окружает сегодня.

Во вселенной прошлое не исчезает. Глядя на свет, приходящий к нам из прошлого вселенной, извне, мы видим, какой была вселенная некогда. Свет далеких звезд убеждает нас, что звезды существуют, а многократные измерения звездного света убеждают, что физическая вселенная есть иерархия звезд.

Всматриваться в глубины космического пространства равносильно вглядыванию в прошлое. Свет самого древнего прошлого вселенной доходит до нас в форме космического микроволнового фонового излучения — слабый слепок вселенной 400 тыс. лет после Большого Взрыва. В какой-то степени это слепок нашего прошлого. Фоновое излучение — это карта всего су-

щего, из него развилась и наша вселенная XXI века. Задавая вопрос, внутри чего находится вселенная, мы рискуем получить самые неожиданные ответы. Мы никогда не сможем достичь места, где были 13,7 млрд лет назад. Вселенная расширяется, ее начало удаляется от нас все дальше и дальше. Даже если бы мы могли передвигаться со скоростью света, у горизонта имеется хорошая фора в 13,7 млрд лет. В любом случае, чтобы передвигаться со скоростью света, нам надо самим стать светом, и парадоксальным образом это создало бы видимость остановки времени. Мы не можем видеть излучение, которое удаляется от нас со скоростью света. Самые далекие объекты, еще остающиеся видимыми, — это квазары, удаляющиеся от нас со скоростью, составляющей 93% от скорости света. Край вселенной — это действительно горизонт, но горизонтом чего он является, сказать совершенно невозможно. Если бы мы физически приблизились к горизонту, чтобы заглянуть за него, то, что предстало бы нашим глазам, выглядело бы совсем не так, как мы сегодня описываем видимую вселенную.

Карта ранней вселенной (она же — реликтовое излучение) странным образом выглядит однообразной, словно один и тот же узор повторяется снова и снова. Совпадение этих узоров имеет точность третьего знака после запятой. Реликтовое излучение в целом подтверждает предположение Эйнштейна о равномерном распределении материи во вселенной, по крайней мере в самых больших масштабах. То, чем стала вселенная в конечном итоге, прячется в деталях. Несмотря на то что различие между узорами минимально, его доста-

точно для возникновения больших структур, обнаруживаемых нами в той вселенной, которую мы наблюдаем сегодня. Само отличие при этом наследуется в процессе инфляции из неоднородности квантового мира: спустя несколько сотен миллионов лет микроскопическая неоднородность, наблюдаемая в реликтовом излучении, развилась во вселенную, наполненную облаками водородных и гелиевых молекул всевозможных размеров, которые в течение последующих миллиардов лет образуют сложные звездные структуры, наблюдаемые сегодня.

Упоминаемые облака — это низкотемпературные зоны, где водород и гелий могут существовать в виде газа с относительно высокой плотностью (хотя такая плотность ниже того, что мы называем вакуумом в лабораторных условиях). Три четверти газа в ранней вселенной составляет водород, одну четверть — гелий. Из этих облаков в дальнейшем образуются звезды, которые в свою очередь сложатся в уже знакомые нам гравитационные структуры: звездные скопления, галактики, галактические скопления, галактические скопления скоплений (сверхскопления).

Звезда образуется из турбулентного газа, а газовые законы (выработанные на Земле за сотни лет) хорошо нам известны. Но, несмотря на то что законы поведения газов сформулированы до тонкостей, особенности их применения к этим гигантским молекулярным облакам не до конца понятны. Мы знаем, что все звезды, рождение которых мы наблюдаем сегодня, образуются из молекулярных облаков, соответственно, мы допускаем, что и в прошлом они поступали так же.

Где масса, там и гравитация. Хотя гравитация чрезвычайно слаба, отныне она направляет всю историю вселенной. Космология возникла как изучение вселенной в крупных масштабах и с самого начала во многом была историей гравитации. Странная слабость гравитации коррелирует с колоссальным размахом видимой вселенной, как будто размеры вселенной даны в дополнение к слабости гравитации, хотя почему так могло бы произойти, остается загадкой.

Среди вихревых облаков разного размера встречаются относительно небольшие, которые, уплотняясь под воздействием гравитации, образуют сразу несколько звезд. Как правило, на каждую сотню образовавшихся звезд примерно 40 станут тройными системами, а 60 — двойными. Предполагается, что многие тройные системы выталкивают одну из звезд за свои пределы, а многие двойные системы разрываются, так что, возможно, одиночество нашего Солнца не столь уж необычно.

Под воздействием гравитации молекулярные облака начинают конденсироваться и вращаться, а также становятся плоскими, приобретая форму диска. То, насколько больших размеров достигает каждая отдельно взятая звезда, зависит от плотности окружающего молекулярного облака. Все звезды начинаются с образования ядра массой около $1/10$ массы Солнца, которое затем обрастает массой за счет окружающего облака. По мере накопления массы плотность звезды растет быстрее, чем объем.

Энергия атомов газа в звездном ядре повышается по мере их уплотнения, или, иными словами, ядро об-

лака становится все горячее. Энергия столкновений заставляет атомы отпустить свои тщательно собранные электроны и опять превратиться в ядра. Эти атомные ядра в 10 тыс. раз меньше атомов, то есть гравитация может теперь сблизить их еще больше, в процессе этого поднимая температуру еще выше.

Когда температура ядра достигает 10 млн градусов, атомные ядра оказываются достаточно близко, чтобы начать объединяться в термоядерной реакции. Условия похожи на те, что сложились на заре вселенной, когда сливались первые атомные ядра, с той лишь разницей, что теперь термоядерные процессы происходят в отдельных контейнерах — в звездных ядрах. На обычном языке космологов это звучит так: происходят коллапс и вспышка газового облака. Поэт мог бы провозгласить рождение звезды. В сердце новорожденной звезды четыре водородных ядра соединяются в ядро гелия¹ (два протона и два нейтрона), высвобождая энергию. Точнее, два из четырех протонов превращаются в два нейтрона, а разница в энергии испускается в форме двух позитронов (антиэлектронов) и двух нейтрино (частиц, связанных с возникновением электрона или антиэлектрона).

Нам пока недоступна энергия Солнца. До эффективной, контролируемой и рукотворной термоядерной реакции остается еще как минимум пятьдесят лет. Если человечество когда либо овладеет этой технологией, се-

¹ Ядро гелия идентично альфа-частице. Поток высокоэнергичных ядер гелия — это альфа-излучение. Поток высокоэнергичных электронов — бета-излучение.

крет экологически чистой энергии будет раскрыт. Отходами термоядерной реакции являются гелий (полностью безвредный) и, в малом количестве, тритий — радиоактивный изотоп водорода (один протон и один нейтрон), период полураспада которого составляет всего 12 лет. В настоящее время большая часть атомной энергии на Земле добывается делением ядра, когда энергия освобождается в процессе расщепления ядер тяжелых атомов.

Энергия ядерной реакции в процессе образования звезд частично излучается в разных зонах электромагнитного спектра. Для далеких наблюдателей оно может проявляться в видимой части спектра в виде световых точек. В этот момент жизни вселенной в ней, разумеется, нет никаких далеких наблюдателей, и как долго нужно прожить вселенной, чтобы такие наблюдатели появились, а также как много наблюдательных постов разбросано по вселенной — темы для дальнейших размышлений.

Часть энергии излучается в виде тепла, еще больше нагревая звездное ядро. Когда температура ядра достигает 25 млн градусов, звезда вступает в стабильную стадию: гравитационное воздействие массы звезды уравновешено силой ядерной реакции, стремящейся ее взорвать. Как долго звезда может находиться в этой стадии лабораторного тигеля, вырабатывающего гелий, зависит от исходной массы облака (а теперь звезды).

Объекты, масса которых меньше трети солнечной, слишком малы, чтобы светиться как звезды, а масса в 150 раз выше солнечной — это верхний предел для звезды. Такие сверхмассивные звезды довольно редки в

нынешней вселенной. Считается, что звезды, превышающие массу Солнца в восемь и более раз, не образуются путем уплотнения облаков, но их формирование до конца не понято. Возможно, впрочем, что и самые тяжелые звезды образуются так же, как и менее массивные.

Звезды с массой, близкой к массе нашего Солнца, могут находиться в стабильной стадии сжигания водорода миллиарды лет. Наше Солнце сжигает водород уже 5 млрд лет, ему хватит топлива еще на следующие 5 млрд лет или больше. Звезды крупнее сжигают свое топливо быстрее. Так, звезды с трехкратной массой Солнца будут сохранять стабильность около 300 млн лет. Звезды с массой, равной 30 массам Солнца, могут находиться в этой стадии водородного горения около 60 млн лет. Звезда в три раза меньше Солнца могла бы гореть около 800 млрд лет, если вселенная столько существует.

В определенный момент весь водород выгорает, и в этот момент звезда схлопывается. После миллионов, а то и миллиардов лет стабильности звезда мгновенно коллапсирует под воздействием гравитации. Звезда переходит в новую стабильную стадию за долю секунды.

При коллапсе ядра внешние слои звезды разлетаются в стороны, производя впечатление резкого роста радиуса звезды. Она сразу начинает казаться в сотни раз больше и приобретает красную окраску. Звезда превращается в красного гиганта.

Ядро красного гиганта обретает стабильность при температуре в сотни миллионов градусов, достаточно

высокой для горения гелия, который накапливался в фазе водородного горения. Новая реакция происходит в звездах определенного размера: три ядра гелия сливаются воедино, образуя ядро углерода, а дополнительные ядра гелия способствуют появлению первых ядер кислорода.

Звезды, от рождения имевшие тридцатикратную массу Солнца и сжигавшие водород 60 млн лет подряд, теперь будут сжигать гелий следующие 10 млн лет в качестве красных гигантов. Наше собственное Солнце достаточно велико, чтобы войти в стадию гелиевого горения, которая продлится 300 млн лет. Все звезды, масса которых превышает половину массы Солнца, становятся красными гигантами. Подавляющее большинство звезд — красные карлики, они в два раза меньше Солнца, слишком тусклые и холодные, чтобы когда-либо приобрести желтое свечение, как у Солнца. Есть и еще более мелкие и тусклые звезды, которые называют коричневыми карликами. Ни те ни другие не превращаются в красных гигантов, а только тускнеют и остывают, превращаясь в черных карликов. Процесс занимает в разы большее время, чем текущий возраст вселенной, поэтому вряд ли черные карлики будут замечены в каком-либо обозримом будущем.

Опять же в зависимости от исходной массы звезды процесс коллапсирования и повышения температуры ядра создает многослойную оболочку горения, где возникают все более тяжелые элементы. При повышении температуры углерод сжигается, производя неон, магний и еще больше кислорода. При более высокой тем-

пературе начинает гореть неон, и так далее по цепочке, используя в качестве топлива поочередно кислород, кремний и серу.

Звезды, чья масса находится между солнечной и двойной солнечной, за время своей жизни производят только углерод и кислород. Звезды в четыре раза крупнее производят более длинную последовательность элементов, включающую неон, магний и азот. Звезды массой от восьми до 11 масс Солнца заканчивают стадией сжигания кремния, которая длится всего один день и дает на выходе никель и кобальт.

Цикл сжигания топлива и гравитационного коллапса не может продолжаться до бесконечности. В конечном итоге материя звезды спрессовывается настолько плотно, насколько это вообще возможно согласно принципу Паули¹, который ставит квантовый предел близости. Звезды, превышающие массу Солнца в 15 и более раз, достигают этого последнего предела. В таких звездах последние процессы горения производят железо — самый тяжелый металл, который звезда в принципе способна произвести. Ядра атомов железа упакованы плотнее, чем у любого другого более тяжелого элемента.

Возникновение этих элементов в глубинах звезд порождает 99,9 % всех элементов вселенной. Вселенная, первоначально полностью состоявшая из водорода (76 %) и гелия (24 %), постепенно становится вселенной из водорода (74 %), гелия (24 %), кислорода

1 Этот принцип назван в честь австрийского физика-теоретика Вольфганга Паули (1900–1958), совершившего открытие.

(1,07 %), углерода (0,46 %), неона (0,13 %), железа (0,109 %), азота (0,10 %), кремния (0,065 %), магния (0,058 %) и серы (0,044 %). Только 2 % водорода, возникшего при Большом Взрыве, были сожжены за время существования вселенной, а возобновление запасов гелия оставило его объем нетронутым. Эта небольшая доля водорода преобразовалась в восемь новых элементов, или металлов (по некоторым причинам астрофизики называют все вещества, возникающие внутри звезды, металлами независимо от того, являются ли они в действительности металлами или нет). Однако сверх того существуют еще как минимум 84 элемента, встречающихся во вселенной, а также 20 с небольшим элементов, существующих только в земных лабораториях (и, возможно, в инопланетных цивилизациях). Все 84 элемента возникают в процессе взрыва звезды определенного размера.

Звезды в несколько солнечных масс имеют шанс закончить свое существование взрывом. Последние неконтролируемые стадии сжигания топлива могут привести их только к взрыву. Звезды вспыхивают как сверхновые, и этот процесс до конца еще не понят. Взрывы — одно из самых грандиозных явлений во вселенной. Все элементы ядра вовлекаются в серию реакций, которые производят в небольших количествах прочие элементы таблицы Менделеева. В течение короткого периода времени сверхновая может сиять ярче, чем сотня галактик. В 1987 году такую взорвавшуюся звезду можно было наблюдать в небе южного полушария. Несмотря на дистанцию в 180 тыс. световых лет, в течение четырех месяцев эта звезда светила ярче, чем

любая другая из близлежащих. По мере остывания ядра вновь созданных элементов захватывали электроны и зачастую становились стабильными атомами элементов, новых для вселенной.

Не до конца установлено, какой величины должна быть звезда, чтобы превратиться в сверхновую. Звезда десятикратной массы Солнца, скорее всего, закончит жизнь взрывом. Звезда в несколько раз больше Солнца не обязательно взорвется. Те звезды, масса которых в три раза меньше солнечной, определенно не станут сверхновыми. У звезд размера нашего Солнца разлетающиеся внешние слои красного гиганта в конце концов рассеются, и обнаружится то, что осталось от звезды, — плотное небольшое ядро, состоящее из углерода и кислорода. Это ядро называется белым карликом и обладает массой от половины до трех четвертей исходной массы звезды (наше солнце в стадии белого карлика будет иметь размеры Земли, а массу — около половины от своей исходной массы). Такова судьба 97% звезд нашей галактики. Если вселенная просуществует достаточно долго, белые карлики, постепенно затухая, превратятся в черных карликов.

Большая часть звезд входит в двойные системы (или еще более многочисленные). Самые распространенные сверхновые называются сверхновыми типа *Ia*. Они возникают в тех случаях, когда белый карлик с массой ниже предельной массы в 1,4 массы Солнца постепенно отбирает материю у звезды-спутника. Когда масса белого карлика достигает критического предела, называемого пределом Чандрасекара, он

взрывается. Поскольку такой распространенный тип сверхновой всегда взрывается на этом пределе, взрывы обладают одной и той же яркостью. Эта стандартная яркость используется для измерения больших дистанций во вселенной. Чем дальше находится такая сверхновая, тем менее яркой она кажется. Поскольку сверхновые типа *Ia* широко распространены, их можно использовать для измерения расстояния до многих далеких объектов во вселенной (потому что в любом месте вселенной, скорее всего, обнаружится подобная сверхновая).

Крупные звезды, достигающие уровня сверхновой (тип *Ib*, *Ic* и *II*), оставляют после себя сверхплотное маленькое ядро, называемое нейтронной звездой. Очень крупные сверхновые оставляют черные дыры.

Именно взрывающиеся звезды засеяли вселенную химическими элементами, необходимыми для жизни. Считается, что за первые миллиарды лет звездообразования в одной лишь нашей галактике возникло около 500 млн сверхновых. Большие звезды успевали прожить жизнь, взорваться, возникнуть вновь в виде звезд и взорваться опять, может быть, несколько раз кряду, за то время, за которое небольшая звезда еле успевала сжечь запас своего водородного топлива. Звезды, обладающие массой между 10 и 70 солнечных масс, называются супергигантами. Имеются также редкие звезды — гипергиганты с массой от 100 до 150 солнечных масс (хотя отнесение звезды к классу супер- или гипергигантов определяется не только массой). Звезда Пистолет — гипергигант в центре Млечного пути: ее масса в 150 раз больше массы Солнца, светимость рав-

на 1,7 млн светимостей Солнца, а продолжительность жизни — всего 3 млн лет.

Имеется удивительное экспериментальное подтверждение, что именно так возникли все химические элементы, которые мы обнаруживаем на Земле и во вселенной. По техническим причинам, связанным с энергетическими свойствами элементов тяжелее углерода, достаточно легко описать происхождение элементов из звездного ядра вплоть до железа. Теоретический механизм, конструирующий элементы в звездном плавленном котле путем слияния ядер гелия, работает, когда там уже есть углерод. Нелегкой задачей оказывается описать возникновение самого углерода. В теории элемент бериллий должен получаться в результате слияния двух ядер гелия, но бериллий крайне нестабилен и мгновенно возвращается в состояние двух ядер гелия, до того как к нему присоединяется третье ядро, чтобы образовать углерод. В своем знаменитом эксперименте английский физик Фред Хойл предсказал, что углерод может возникать из сочетания трех ядер гелия, минуя промежуточную стадию бериллия, если он обладает определенным свойством, до той поры не наблюдаемым. Хойл предсказал, что углерод резонирует на определенной частоте энергии, что позволяет трем ядрам гелия плавно сцепляться в звездном ядре; разработанный им эксперимент вполне поддавался проверке в земных условиях. В результате было открыто именно предсказанное Хойлом свойство углерода. Замечательным образом

Хойл нашел способ проверить теорию образования звезд в земной лаборатории.

Ученые ценят уязвимость теории (особенно чужой), это дает прекрасную возможность ее проверки. Кажущаяся слабость может обернуться дальнейшим прогрессом мысли. Этот временный характер науки часто понимается неправильно. Временность науки — это ее сила, а не слабость. Нечто, названное теорией, не всегда является всего лишь идеей: построение теории — высшая форма научного объяснения. Каждый новый рубеж науки — временный, такова ее природа.

Спустя сотни лет теоретизирования и экспериментаторства крайне соблазнительной кажется мысль, что теперь наконец станет возможным очертить ядро истины посреди хаоса временности. В конце концов, каждая новая теория должна охватывать все уже достигнутое, а также описывать нечто новое. Каждый волен судить, где проходить границы, но проведение таких линий не является научным занятием, научный метод не требует этого. Наука расширяет горизонты в поисках большей истины (если для этого вообще нужно использовать слово “истина”), а не Истины. К сожалению, лишь небольшое количество людей может спокойно выносить подобную неопределенность, включая и простых смертных, и ученых.

Хотя нам уже известно очень много об образовании звезд, в наших познаниях встречаются и лакуны. Так, например, согласно теории, первые звезды должны были состоять полностью из водорода и гелия, единственных доступных на тот момент материалов, но в сегодняшней вселенной таких звезд (так называемых звезд популяции III) не наблюдается. Звезды популя-

ции III, вероятно, были крупнее более молодых, и жизнь их до превращения в сверхновую была коротка — возможно, менее миллиона лет.

Самые старые звезды, обнаруженные во вселенной, называются звездами популяции II. Их образование уже было описано выше, за исключением того, что молекулярные облака, из которых они конденсировались, вдобавок к водороду и гелию содержали также некоторое количество более тяжелых элементов, возникших в ядрах звезд популяции III и затем рассеянных в пространстве после взрыва последних. Добавление этих элементов может ускорять некоторые процессы, во всем остальном процесс возникновения более тяжелых элементов в ядре звезд следующих поколений остается неизменным. Наше солнце — пример самого молодого класса звезд. Звезды популяции I содержат тяжелые элементы в больших количествах, нежели звезды популяции II, и формируются из материала нескольких предыдущих циклов звездообразования.

Большинство галактик в сегодняшней вселенной — и наша собственная не является исключением — образовались еще раньше. Старейшие наблюдаемые галактики находятся на расстоянии около 13,2 млрд световых лет¹

1 Строго говоря, они находятся гораздо дальше. Вселенная насчитывает 13,7 млрд лет, и за это время свет покрывает расстояние в 13,7 млрд световых лет. Но в действительности вселенная больше, так как следует принимать во внимание, что само пространство тоже расширяется, растягивая чашу вселенной с радиусом 13,7 млрд световых лет в чашу радиусом около 40 млрд световых лет. На практике, когда астрономы говорят о расстоянии до древних астрономических объектов, описанное выше расширение подразумевается (и игнорируется во время подсчетов).

от нас, следовательно, они возникли в районе 500 тыс. лет после Большого Взрыва. Вплоть до недавнего времени считалось, что галактики образовались за довольно короткий промежуток времени из колоссальных вращающегося молекулярных облаков, каждое размером с галактику. В этом описании “сверху вниз” утверждалось, что галактики возникали практически полностью сформированными. Но недавние наблюдения показывают, что все галактики развились из нескольких основных элементов. Мы толком не представляем, как могли выглядеть ранние примитивные галактики (протогалактики). Спустя миллиарды лет проявились некоторые узнаваемые черты галактик, наблюдаемые сегодня. Старые звезды собрались в шарообразные скопления, а в центре галактики образовалась плотная выпуклость из звезд популяции II. Спиралевидная форма галактик, подобных нашей, могла развиться за 2 млрд лет. С этого момента галактики остаются относительно неизменными, как уже миллиарды лет это происходит и с нашей собственной. Некоторые галактики имеют форму эллипса, но возможно, что, возникнув как спиральные, они стали эллипсами в результате многочисленных столкновений с другими, что также объясняло бы, почему эллиптические галактики являются самыми массивными во Вселенной. Ранняя Вселенная была меньше нынешней и переполнена галактиками, которые постоянно сталкивались друг с другом, что сегодня довольно сложно смоделировать.

Все вышеперечисленное сильно затрудняет датировку возникновения галактик. В определенном

смысле они все очень старые. Старейшие звезды нашей галактики насчитывают около 13,2 млрд лет — возраст сопоставим с возрастом самых старых наблюдаемых галактик. Но также считается, что “спиральность” нашей галактики окончательно сформировалась к моменту, по разным оценкам отстоящему от нас на 6,5–10,1 млрд лет. Оценка возраста старейших галактик постоянно корректируется в большую сторону.

Галактики редко встречаются сами по себе. Они входят в сложные динамические иерархии, отражающие фрактальную природу вселенной. Сегодня вселенная рассматривается как совокупность галактических волокон с огромными пустотами между отдельными нитями, где галактик нет вовсе¹. В местах пересечения волокон образуются плотные галактические скопления.

Свойство, которое, по-видимому, обнаруживается у всех молодых галактик, — наличие в их центре массивной действующей черной дыры, называемой квазаром. Квазар — это черная дыра, которая пожирает материю, попадающую в ее гравитационные окрестности. Материя по мере попадания в черную дыру расщепляется и частично превращается в электромагнитную энергию: в состоянии квазара черная дыра ярко светит. Квазар тускнеет и превращается в обычную черную дыру, когда вокруг не остается материи для пожирания.

¹ В 2004 году в космосе была обнаружена гигантская пустота, имеющая миллиард световых лет в поперечнике. Она на 40 % больше самых больших обнаруженных пустот и на 30–45 % холоднее остального космоса. Высказываются предположения, что это следы столкновения с другой вселенной.

Такой заглухший квазар лежит в сердце нашей галактики. За пределами его гравитационного воздействия нашла свою тихую гавань сверкающая материя Млечного пути.

На заре вселенной квазары, вероятно, возникали в центре каждой галактики, хотя до конца не ясно, каким образом. Квазары, подобно звездам популяции III, относятся к рано возникшим свойствам галактик, и их происхождение не совсем понятно. Возможно, первые квазары сформировались из гигантских облаков ранней вселенной, так стремительно притягивавшихся друг к другу гравитацией, может быть, под дополнительным воздействием ударных волн, распространявшихся по вселенной сразу после Большого Взрыва², что они сразу превращались в черные дыры. Огромные объемы материи были изъяты из вселенной и заперты в сердцевине галактик. Эти старейшие космические тела обладают электромагнитным излучением (включая радиоволны и видимый свет) с большим красным смещением. Предполагается, что, возникнув, квазары были больше любых последующих типов звезд и, постепенно поглощая окружающую материю, вырастали еще больше. Некоторые квазары сегодня имеют массу в миллиарды раз больше массы нашего Солнца.

Сложно сказать, насколько близко друг к другу располагались квазары при рождении, поскольку вселенная

2 Большой Взрыв действительно "нашумел". Волны энергии прошли сквозь раннюю вселенную подобно звуковым, но в данном случае средой для волн были, разумеется, не воздух и не вода (может быть, это современное переосмысление музыки сфер?).

была значительно меньше. Сегодня мы наблюдаем активные квазары на самых далеких окраинах вселенной, а также в сердцевине самых молодых галактик, в то время как потухшие квазары встречаются в центре старых галактик, подобных нашей. Квазары стали провозвестниками перехода от вселенной энергии к вселенной материи. На данный момент насчитывается около 100 тыс. квазаров, но неизвестно, сколько их еще может обнаружиться — миллионы или даже более того. Самый далекий из зафиксированных квазаров лежит от нас на расстоянии в 13 млрд световых лет, самый яркий, 3C 273, в 2 млрд раз ярче Солнца. Его можно легко наблюдать с помощью любительского оборудования, хотя он находится на расстоянии в 2,44 млрд световых лет. То, что квазары могут так ярко светиться даже на столь гигантских расстояниях, указывает на их чрезвычайную яркость. Предполагается также, что квазары появились после звезд популяции III, поскольку в квазарах наблюдаются следы более тяжелых металлов, чем водород и гелий.

Карты реликтового излучения, доходящего до нас с ранних стадий вселенной, становятся все более и более детализированными. В недавних данных имеются следы другого излучения, демонстрирующего водородный спектр и отличного от микроволнового, но также фоновое. Это излучение было названо 21-сантиметровым излучением по длине его волны, и пока оно с большим трудом поддается интерпретации, но уже может многое поведать об истории ранней все-

ленной. Пробелы в картине 21-сантиметрового излучения могут быть свидетелями того времени, когда атомы водорода изменили свое состояние — из нейтральных превратились в ядерно-электронную плазму. Вселенная реионизировалась, вновь заполнилась заряженными частицами спустя несколько сотен миллионов лет после Большого Взрыва. Именно в этом реионизированном состоянии мы и наблюдаем вселенную сегодня (с отдельными островками нейтральных молекулярных облаков, где идет процесс образования звезд). Высказываются предположения, что реионизацию могли вызвать ударные волны от взрывов звезд популяции III. Другой причиной могло быть внезапное появление квазаров.

Несмотря на недоказанное существование звезд популяции III и неясность с происхождением квазаров, теория образования звезд популяций I и II является одним из очевидных триумфов современной физики, объединяющим теории бесконечно малого и бесконечно большого.

И вот перед нами со всеми своими недостатками лежит набросанный на коленке рисунок, где проложена дорога от излучения высокой энергии к материальному миру физических объектов, называемых звездами. Нашу целеустремленность, как и всегда, поддерживает выросший уровень сложных технических устройств, а теоретические недостатки привычно являются ориентирами для создания еще более совершенных теорий.

Ошибки могут по меньшей мере стимулировать. Крах попыток полного объединения света и грави-

тации на теоретическом уровне проявляется и во вселенной на физическом, звездном уровне. Когда мы смотрим на вселенную, используя два доступных нам зрения, посредством света и посредством гравитации, возникают две разительно отличающиеся картины. Объем видимой массы в галактике или в галактическом скоплении позволяет предсказывать движение этих структур. Но, увы, движение галактик и скоплений в гравитационном аспекте подразумевает наличие гораздо большей массы, чем то, что можно видеть. Внешние части галактик движутся слишком быстро (как и внешние части скоплений) для того количества видимой массы, которое они содержат. Наша галактика, плоская спираль с двумя большими рукавами, вращается вокруг центральной оси со скоростью 220 км/с, но на периферии эта скорость выше, как будто в галактике имеется еще невидимая для нас масса. Похоже, именно эта дополнительная масса поддерживает спиральную форму галактики. В самом деле, чтобы оправдать наблюдаемое движение любой крупной структуры в галактике, приходится представить себе, что эти структуры окружены огромным гало невидимой гравитационной материи. В рамках этой теории наша галактика должна быть окружена гало темной материи с радиусом, в десять раз превосходящим радиус видимой галактики. Несоответствие между объемами масс во вселенной, доступными нам через зрительное восприятие и вычисляемыми посредством учета отношений тяготения, поражает. Вселенная должна содержать гораздо больше материи, ес-

ли мы хотим объяснить, каким образом все имеющиеся структуры скомпоновались в то, что мы сегодня наблюдаем. Невидимой материи должно быть более чем в пять раз больше, чем видимой. По понятным причинам невидимую материю называют темной: ее нельзя описать с помощью того, что мы сегодня знаем о природе света. Свет нельзя пролить на темную материю. Ее нельзя ни увидеть, ни понять. Если когда-нибудь мы разгадаем загадку, это будет означать, что наше понимание света изменилось, включив в себя данный казус.

Темная материя висит подобно невидимой паутине, натянутой и между крупными структурами вселенной. Разумеется, возникли разнообразные теории темной материи. Какое-то время считалось, что она может состоять из МАСНО (массивных объектов гало галактик). Это собирательное название для материи, которая была бы видимой, если бы только мы смогли ее осветить: объекты наподобие темных газовых облаков, тусклых звезд (таких как возможный двойник нашего Солнца), незамеченные планеты, небольшие черные дыры и т. п. Но сегодня доподлинно известно, что во вселенной не может быть столько неучтенной массы в такой форме. Другое возможное объяснение — слабовзаимодействующие массивные частицы (так называемые вимпы). Этот тип частиц предсказывается суперсимметрией. Одним из кандидатов на роль такой частицы является нейтралино, суперпартнер нейтрино. Но, как мы знаем, пока не было зафиксировано ни одной частицы суперпартнера.

Около 9 млрд лет после Большого Взрыва,
или 5 млрд лет назад _____

В конце 1990-х неожиданно для многих было обнаружено, что около 5 млрд лет назад темп ускорения вселенной начал расти. Таким образом выяснилось, что во вселенной не только не хватает материи — в ней не хватает и энергии. Причем в очень больших количествах. Эту отсутствующую энергию, конечно же, называли темной.

Согласно общей теории Эйнштейна, пространство располагает собственной энергией, подпитывающей Большой Взрыв. Эйнштейн добавил свою знаменитую космологическую константу, потому что поначалу никак не мог принять расширение пространства. Когда стало ясно, что пространство расширяется, константа была уничтожена, и пространству разрешили расширяться. Но сегодня ученым приходится вновь добавлять эту константу, чтобы обеспечить уравнениям Эйнштейна возможность описывать вселенную, расширяющуюся быстрее, чем было предсказано общей теорией относительности (в конечном итоге Эйнштейн не ошибся с самой константой, он просто добавил ее по ошибочной причине). Новую константу можно считать некоторым свойством пространства, в котором действует сила, сходная с гравитацией, отличающаяся только полярностью: вместо притягивания она отталкивает. Природа этой силы проявляется только на очень больших масштабах, как если бы сама гравитация стала отталкивать материю таких размеров. В этих отдаленных участках вселенной материя, которая еще не начала со-

бираться вместе под воздействием гравитации, уже никогда не соберется. Галактики и галактические скопления гравитационно связаны, но сверхскопления начинают исчезать за космическим горизонтом, прихватывая с собой далекие галактики.

Величина космологической константы, необходимой для описания ускорения расширения вселенной, крайне мала. На самом деле она близка к нулю — около $1/10^{60}$. Представляется странным, что мы находимся во вселенной, которой природа назначила число, столь близкое к нулю, но все же от него отличное. Этот вопрос волнует многих ученых.

Другие ученые подвергают сомнению постоянство темной энергии, что отменяет саму идею космологической константы. Поначалу была надежда, что энергия вакуума сможет стать объяснением этого ускорения разбегания вселенной, но, увы, энергия вакуума в 10^{120} раз больше, она просто мгновенно разорвала бы всю материю в клочья. Другим объяснением могло бы стать еще одно квантовое поле, пронизывающее вселенную: пятое взаимодействие, иногда называемое квинтэссенцией. Но это повлекло бы появление еще одной частицы наподобие бозона Хиггса, правда, не взаимодействующей с материей.

Вывод из всех недавних наблюдений на эту тему: вселенная вечно будет расширяться с ускорением.

Если теория Большого Взрыва выводит нас на правильный путь, мы должны согласиться с тем, что 23 % состава вселенной — невидимая материя, 73 % — темная

энергия и только 4 % — обычная материя. Или же, напротив, все эти отсутствующие субстанции могли бы стать свидетельством краха теории Большого Взрыва. Теория Большого Взрыва все же была успешной в столь многих отношениях, что лишь некоторых испугает ее неспособность описать бóльшую часть состава вселенной. На данный момент альтернатив теории Большого Взрыва просто нет, да и в любом случае мы стремимся к провалу наших теорий, чтобы найти следующие, в конечном счете еще лучше. Найти слабые места в теории — в этом и заключается развитие науки. Текущая теория будет либо исправлена, либо выброшена, и возможно, ей на смену придет теория с совершенно иным подходом.

Если охватить взглядом всю вселенную, временно оставив в стороне сложные вопросы темной материи и темной энергии, можно утверждать, что около полумиллиарда лет после Большого Взрыва во вселенной существовал островок видимой вселенной, состоящий из простых звездных образований, чуть более сложных, чем газовая вселенная, из которой развился наш островок, но и значительно уступающих в сложности сегодняшнему миру. Несмотря на всю динамику, стремительное перемещение материи и прочее, эта далекая вселенная представляется нам довольно скучной: набор огоньков, разбросанных в огромном пространстве. Возможно, это и не самая страшная перспектива. И все же у нас вполне могут быть основания сомневаться в простоте этой истории. Она простая, потому что верная или потому, что это единственный доступный нам способ рассказа о далеких объектах — они выглядят про-

стыми только потому, что мы смотрим на них издали. Ломаные очертания горы, стоит нам отступить подалее, превращаются из зубчатой сложности в гладкую простоту. Ранняя вселенная находится на периферии времени и пространства, на самом краю горизонта нашего знания. У этой истории может быть простое начало, потому что мы только начинаем понимать, как ее рассказывать, а может быть, и потому, что у всех историй начало именно такое.

Современная история сотворения мира — это рассказ о том, как простые структуры становились более сложными, вопрос лишь в том, что такое “самые сложные” и сколько их. Ученые рыщут по вселенной в поисках наиболее сложно организованных объектов и пытаются разрешить вопрос объединения простоты ранней вселенной с ее позднейшим разнообразием и сложностью. Переходя к следующей главе истории усложнения, мы вынуждены пристальнее приглядеться к тому, что происходит внутри обычной галактики (куда же еще смотреть в наших поисках сложности). И, если уж нам приходится продолжать свою повесть, глядя на происходящее в нашей собственной галактике, мы по меньшей мере можем утешить себя тем, что наша галактика — средняя среди множества таких же, разбросанных по вселенной, в которых история разворачивается точно так же.

Фокусировка

*У вселенной есть любопытное свойство:
люди думают, что ее необычные свойства
враждебны существованию жизни,
тогда как на самом деле они для этого
жизненно необходимы.*

Джон Бэрроу

Живя в своем доме, видимой вселенной, мы полагаем, что никакие структуры большего порядка не дают привилегий нашему существованию. Мы живем в самом обычном сверхскоплении галактик; Местная группа галактик — это обычное скопление, которое содержит в себе обычную галактику. Точно так же фрагмент Млечного пути, ставший нашей Солнечной системой, ничем не отличается от многих других районов нашей галактики или даже других спиральных галактик, содержащих звезды популяции I.

Около 5 млрд лет назад

Пять миллиардов лет назад в той части галактики, где мы сегодня находимся, начало конденсироваться ги-

гантское газовое облако¹, формируя множество звезд, в том числе и наше солнце. Часть облака, оформившаяся в нашу солнечную систему, имела 24 млрд км в поперечнике и содержала остатки жизнедеятельности как минимум двух поколений звезд.

Чтобы сконденсироваться и образовать звезду, горячий газ в звездной колыбели (так называют эти облака) должен сперва охладиться. В слишком горячем газе молекулы движутся очень быстро, и гравитация не может преодолеть их движение. Одной гравитации, по всей видимости, не хватало, чтобы запустить процесс конденсации, и ей на помощь пришли ударные волны от предыдущих поколений звезд, что ускорило образование солнца.

Поколения за поколениями звезды взрываются и разогревают некоторые газовые облака до такой степени, что им уже никогда не стать звездными колыбелями. Их судьба — навсегда оставаться в облачном состоянии, что, вероятно, относится к большинству существующих в данный момент молекулярных облаков. Процесс формирования звезд замедлился, но не просто из-за нехватки водорода, а из-за нехватки водорода подходящей температуры. В старых эллиптических галактиках формирование звезд просто прекратилось. Эпоха звездообразования во вселенной достигла своего пика спустя 10 млрд лет после Большого Взрыва и с тех пор медленно клонится к закату. Этот период закончится через 100 млрд лет.

¹ Несмотря на большое количество сгущающихся газовых облаков во вселенной, по отношению к общему числу облаков это довольно редкое явление.

Гравитация заставляет облака вращаться, и газовое облако, которое сгущается в Солнце, — не исключение. Вращение облака вызывает завихрение газа во внутренней части диска, которое образует растущий шар в центре, а газ и пыль внешних краев, наоборот, разносятся под воздействием вихря дальше от центра. Гравитация также сплющивает облако. В разных частях галактики наблюдались новые звезды, окруженные такими пылевыми гало. Как уже замечалось выше, конечный размер звезды зависит от того, как много пыли содержится в окружающем молекулярном облаке и насколько она плотна. Термоядерная реакция начинается по достижении ядром массы примерно в одну пятую массы Солнца.

Внешние края облака — это холодные зоны, где встречаются сложные неустойчивые молекулы. Когда взрывались первые звезды, все химические элементы впервые появились во вселенной, но также появились и простые молекулы вроде воды или углекислого газа. Эти молекулы возникли в виде тонкой ледяной пленки, покрывающей пылинки. А часть пыли, к примеру, могла быть сильно уплотненным углеродом в форме алмаза или графита.

Цикл от рождения звезды до ее взрыва является химической лабораторией по производству все более сложных молекул. Сотни видов углеводов (молекул, состоящих полностью или в основном из водорода и углерода) впервые появляются в звездообразующей туманности: среди них — формальдегид, синильная кислота и прочие так называемые добиологические молекулы. Название происходит из-за того, что они не-

обходимы для жизни, хотя и непонятно, благодаря какому механизму. Некоторые сложные образования, найденные в космосе (например, гликольальдегид), в лабораторных условиях через цепь реакций превращались в рибозу, ключевой ингредиент рибонуклеиновой кислоты (РНК). Если из РНК извлечь атом кислорода, она превращается в дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК).

Единственная известная нам жизнь появилась на этой планете, но добиологические молекулы встречаются по всей вселенной. Станным образом эти сложные молекулы существовали задолго до солнечной системы. 10–15 % газопылевого облака, давшего жизнь нашему солнцу, состоят из отходов как минимум двух предыдущих поколений звездоформирования. Жизни, как мы ее себе представляем, понадобилось около 9 млрд лет формирования звезд, прежде чем возникли правильные условия. И после этого во многих своих районах, как и в нашей галактике, вселенная оказывается тщательно подготовленной к требуемым жизнью условиям.

По астрономическим меркам звезда конденсируется очень быстро. Как только возникли нужные условия, солнце сгустилось и вспыхнуло в течение 100 тыс. лет, оставив после себя пылевой диск, из которого сформируется остаток солнечной системы. Солнце содержит 99,9 % всей доступной массы облака. Снаружи пылевого облака, экранирующего вспыхнувшее ядро, температура ниже 30 °С, не выше, чем в жаркий денек обычного английского лета. Именно в этой области сложные молекулы, собравшиеся из остатков многих

поколений звезд, неплохо защищены от внешних воздействий.

Нет никаких причин полагать, что наше солнце должно чем-то отличаться от звезд сходного размера, принадлежащих ко второму поколению¹. Ничто не разубеждает нас в том, что история нашего собственного солнца повторится во вселенной многожды.

Присутствие углерода из останков старых звезд немного ускоряет процесс сжигания водорода, но водород переходит в гелий по обычному сценарию. Радиация, порождаемая этой реакцией, выносится на поверхность солнца (этот процесс может занять 10 млн лет), где излучается в пространство в виде света и тепла. Солнце становится легче и ярче, и так все время. Солнце сжигает 4 млн тонн водорода в секунду, но, учитывая его массу в 10^{27} тонн, на полное сгорание топлива уйдет еще 5 млрд лет.

Планеты встречаются только у звезд популяции I, подобных нашему солнцу (они образуются из облаков с высоким содержанием металлов). Еще до того, как масса солнца достигла своего предела, планеты начали формироваться из остатков облака. Остывающие частички пыли медленно слипаются друг с другом, с течением времени и под воздействием гравитации образуя камни всех размеров вплоть до планет. Куски покрупнее притягивают мелкие и становятся еще больше, увеличиваясь как снежный ком. Оценки варьируются, но

¹ Когда астрономы говорят о звездах второго поколения, они имеют в виду все звезды, не относящиеся к первому. Часть материала нашего солнца происходит из третьего цикла звездообразования.

в среднем на формирование планетезималей до 10 км в поперечнике уходят десятки тысяч лет, от 50 до 500 км в поперечнике — сотни тысяч лет.

Прошел всего миллион лет с тех пор, как включилась солнечная водородная горелка, и Солнечная система уже представляет из себя динамическую систему, состоящую из примерно двадцати объектов размером с Луну и больше миллиона объектов более 1 км в поперечнике, не говоря о неисчислимом количестве совсем мелких объектов.

Теории возникновения планет пока только развиваются, и тем более это относится к газовым планетам. До сих пор считалось, что крупные солнечные спутники начинают захватывать своей гравитацией газ — тот, что остался от формирования Солнца. Один из этих спутников оказался на оптимальном расстоянии от Солнца, где была как раз подходящая температура для такого процесса. Этот спутник стал огромной газовой планетой, Юпитером, и своей окончательной массы он достиг за 5 млн лет. Скалистое ядро Юпитера в 29 раз тяжелее Земли¹ и удерживает вокруг себя атмосферу в 288 масс Земли. Нашему глазу недоступна сама поверхность газовой планеты, мы видим только внешнюю оболочку огромной атмосферы.

Сатурн в борьбе с Юпитером стал второй по величине газовой планетой, затратив на достижение необходимой массы на 2 млн лет больше.

¹ Астрономы пользуются Землей в качестве местной единицы измерения, удобной для соотнесения размеров разных объектов солнечной системы. Инопланетяне, конечно, выбрали бы другую меру.

Как только Солнце достигло своей окончательной массы, оно начало испускать солнечный ветер — поток высокоэнергичных протонов и электронов, выбрасывающийся с поверхности звезды в пространство, — который “выдувает” остатки водородного и гелиевого газа за пределы Солнечной системы. Высказывается гипотеза, что, если бы солнечный ветер был сильнее, газовые планеты просто не сформировались бы. Эта одна из тех деталей, которые тревожат коперниканцев, стоящих на страже децентрализованности вселенной. Наблюдения за некоторыми молодыми звездами подтверждают, что газовые планеты в их системе так и не сформировались именно по этой причине. Во вселенной могло образоваться много солнечных систем, но возникает вопрос, не обладает ли наша система какими-то качествами, которые делают ее особенной.

Атмосфера Сатурна составляет всего четверть атмосферы Юпитера, хотя их твердые ядра примерно одного размера, — это результат большей удаленности Сатурна от Солнца. Еще более далекие планеты Уран и Нептун совсем проигрывают борьбу за газ. В совокупности четыре газовых гиганта используют весь имеющийся в Солнечной системе газ.

Уран и Нептун расположены за пределами так называемой снеговой линии Солнечной системы, поэтому их твердая поверхность в большей степени состоит из льда, образованного замерзшими летучими водородными соединениями. Плутон и другие транснептуновые объекты, расположенные еще дальше, вынуждены довольствоваться льдом и прочими остатками в качестве материала; из того же материала со-

стоят ледяные кометы вокруг Плутона и за его орбитой, в поясе Койпера или в далеком облаке Оорта (если оно существует).

Но эта теория вызывает и возражения. Так, результаты наблюдений свидетельствуют, что большинство крупных газовых планет, обнаруженных в других планетных системах, располагаются гораздо ближе к своим солнцам, нежели Юпитер к Солнцу. Метод компьютерной симуляции позволяет выдвинуть другую теорию: все газовые планеты возникают неподалеку друг от друга, а затем под воздействием сложных гравитационных сил между ними расходятся на большие расстояния. Согласно этой теории, наши собственные газовые планеты могли образоваться гораздо ближе к Солнцу и лишь позднее передвинуться на свои нынешние места. В рамках этого объяснения крупные газовые планеты конденсируются за сравнительно короткие промежутки времени из газовых “карманов” в окрестностях молодого Солнца.

Теория встает на более твердую почву, когда дело доходит до каменистого материала, не вошедшего в состав Юпитера и Сатурна. Эти остатки приближаются к Солнцу и образуют планеты земной группы. Меркурий, Венера, Земля и Марс в основном состоят из минералов, называемых силикатами, и металлов. Эта внутренняя часть солнечной системы в данный момент еще слишком горяча для летучих соединений. Разрозненные куски каменистого космического мусора носятся по орбите в зоне, называемой поясом астероидов, который расположен между земными и газовыми планетами.

Все планеты вращаются по орбитам в одном направлении — против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса Солнца, и практически в одной плоскости: это отличительная черта Солнечной системы, которая не менялась с ее первых дней в виде сплюснутого вращающегося пылевого диска. Ньютон и Лаплас поняли, что это не может быть простым совпадением, и оказались правы. Пыль вращалась в одном направлении, когда Солнечная система еще была единым облаком, и продолжает вращаться в этом же направлении, хотя сама пыль теперь собралась в планеты. Лишь несколько комет движутся в обратном направлении, будучи вытолкнутыми на новую орбиту. Среди них — комета Галлея.

В таком формате описания Солнечная система сводится к простой динамической системе сталкивающихся материальных шаров. Ранее вселенная представлялась в виде облаков сталкивающихся газовых частиц, сближающихся под воздействием гравитации, еще ранее — в виде кварк-глюонной плазмы. В основном физическое описание вселенной, как выясняется, оперирует разного размера частицами, сталкивающимися друг с другом.

Области вселенной, сходные с нашей Солнечной системой, населены объектами макроуровня, движение которых лучше описывается ньютоновой механикой, чем квантовой. Более мелкие объекты подвержены притяжению более крупных, которое разгоняет их до больших скоростей, повышая вероятность столкновения и раздробления. Кометы и планеты еще не обрели своих окончательных орбит и рыщут, сталкива-

ясь друг с другом, их швыряют и ловят разные гравитационные поля, самое заметное из которых — поле Юпитера. Многие крупные объекты системы тоже еще не легли на свои устойчивые орбиты. Кометы в конечном итоге окажутся в поясе Койпера или в облаке Оорта, но в своем путешествии они не раз столкнутся с планетами.

Всякий раз, когда планета земного типа испытывает удар, она нагревается. Если ударов достаточно много или они достаточно сильны, планеты нагреваются до такой степени, что железо выплавляется из каменистого планетного материала. Железо проникает вглубь, создавая железное ядро. За первые 100 млн лет существования Солнечной системы произошло множество столкновений и как минимум два очень больших: в одном участвовал Меркурий, в другом — Земля.

В установлении возраста Земли и Солнечной системы используются разнообразные радиоактивные изотопы, обнаруживаемые в метеоритах и лунных образцах породы. Результаты подтверждают первую тщательную датировку, произведенную в 1953 году американским геохимиком Клэром Паттерсоном (1922–1995) и составившую 4567 млн лет с небольшой погрешностью. Паттерсон использовал изотоп уран-238, встречающийся в земной породе. Период полураспада урана-238 составляет 4510 млн лет, что делает изотоп крайне подходящим для данной задачи. За 4510 млн лет половина произвольно взятого количества урана-238 распадется, излучая альфа-частицы, и превратится

в другой элемент — торий-234. Этот распад называется альфа-распадом и регулируется сильным ядерным взаимодействием. В свою очередь торий-234 также распадается в протактиний-234, испуская электроны в процессе бета-распада (регулируется слабым ядерным взаимодействием). В конце этой цепочки распада достигается стабильный (нерадиоактивный) элемент. Относительное количество продуктов полураспада позволяет датировать тот объект, часть которого они составляют.

Вновь перед нами пример взаимосвязи между знаниями о квантовом мире (ядерные взаимодействия) и о макром мире (датировка всей Солнечной системы). Наличие урана в земном ядре замедлило процесс его застывания. Еще до того, как об этом эффекте стало известно, ирландский физик Уильям Томсон (1824–1907), впоследствии лорд Кельвин, в своем методе датировки опирался на скорость охлаждения расплавленного земного ядра. Он получил ошибочный возраст Земли в 400 млн лет и в дальнейшем пересматривал его со значительным увеличением. И только с пониманием свойств радиоактивных веществ возраст Земли смог быть установленным точно.

Через 10 млн лет после того, как Земля достигла своей окончательной массы, с ней столкнулся космический объект размером с Марс. Сила столкновения была настолько велика и выделилось так много тепла, что ядра двух планет спланились, а значительная часть скальной коры Земли была выброшена в космос, где образовала вокруг планеты кольцо осколков. С течением времени эта материя собралась воедино под воздейст-

вием гравитации — так образовалась Луна. Эта теория поддерживается не всеми, но является наиболее признанной. Поскольку орбита Луны является почти идеальной окружностью, по-видимому, столкновение произошло по касательной. Критики теории утверждают, что легкое касательное столкновение было практически невозможным, учитывая динамическое состояние Солнечной системы того времени, но близкое к лобовому столкновение привело бы к значительно более вытянутой лунной орбите, чем та, что наблюдается сегодня. При этом достаточно убедительным является тот факт, что Луна, в отличие от других планет земного типа, не имеет железного ядра.

С течением времени Солнечная система понемногу успокаивается. Спустя полмиллиарда лет в ней установился относительный порядок, серьезная бомбардировка закончилась. Но в интервале от 4,1 до 3,8 млрд лет назад случилось неожиданное — вновь началась бомбардировка (которую назвали поздней тяжелой бомбардировкой). Число кратеров на Луне, возникновение которых датируется этим периодом, свидетельствует о том, что в Солнечную систему вновь вернулся хаос. На данный момент неизвестны причины этой бомбардировки, хотя высказываются предположения, что сдвиг тяжелых газовых планет на большое расстояние (если он имел место) мог вызвать сложные гравитационные волны, встряхнувшие достаточно сбалансированную к тому моменту Солнечную систему.

К концу этого периода в Солнечной системе установилось некоторое равновесие, и она во многом ста-

ла такой, какой мы ее видим сегодня. Осталось считать число крупных объектов со своими орбитами, все остальное переместилось в астероидный пояс, пояс Койпера и облако Оорта. Солнечная система настолько стабильна, не считая отдельных катастрофических событий, что большие изменения в ближайшие несколько сотен миллионов лет представляются маловероятными, если только человечество не нарушит ее баланс. Мы живем в среде, где вероятность столкновения с крупной кометой снизилась до одного столкновения раз в 10 млрд лет, а с малой — до одного в 10 млн лет. В пределах этих вероятностей и существует иллюзия стабильности.

Появляются свидетельства в пользу того, что, возможно, и наша солнечная система также является типичным представителем других планетарных систем вселенной. До 1992 года Солнечная система была единственной известной нам многопланетной системой. В 1992 году в окрестностях пульсара *PSR 1257+12* открыли еще одну, примерно в 980 световых годах от Солнца. В 1995 году была открыта планета размера Юпитера на орбите вокруг солнцеподобной звезды $\zeta 1$ Пегаса. А в 1999 году обнаружили многопланетную систему, солнце которой, как и наше, находится в стадии сгорания водорода. Эта планетная система вращается вокруг главной звезды в системе нескольких звезд Эпсилон Андромеды на расстоянии около 44 световых лет от нас. Поэтому астрономы верят, что будут обнаруживать новые солнечные системы, все более похожие на нашу.

Мы обнаружили также несколько новых “юпитеров” — крупных газообразных планет, подобных Юпитеру нашей системы, поскольку теперь у нас есть сложная технология, с помощью которой мы смогли увидеть то, что и так всегда было. Масса нашего Юпитера более чем вдвое превышает массу всех остальных планет, вместе взятых. Возможности той технологии, которой мы располагаем ныне, лежат как раз на этом пределе, для того чтобы в будущем открывать планеты, как мы надеемся, подобные Земле, нам потребуются новые методы и усовершенствованная техника. В частности, мы ищем так называемые планеты-Златовласки¹, условия которых были бы оптимальны для жизни.

Первую землеподобную планету за пределами солнечной системы обнаружили в 2005 году, затем были открыты и другие. Такие планеты называются сверх-Землями, они имеют массу как минимум в пять раз больше Земли и напоминают газовые планеты солнечной системы, только без газа. Не исключено, что планета, открытая в 2007 году, была первой обнаруженной Землей-Златовлаской. Три планеты вращаются вокруг звезды Глизе 581, которая имеет массу в три раза меньше массы солнца и расположена на расстоянии 20,5 светового года от нас. Насколько можно судить, эти планеты по размеру сопоставимы с Землей.

¹ Сказка про Златовласку известна русским читателям в пересказе Льва Толстого “Маша и три медведя”. Маша-Златовласка была очень привередлива. Приготовленная для нее каша должна была быть в самый раз: не очень горячей и не очень холодной. (Прим. перев.)

Главное условие при поисках еще одного примера какого-нибудь явления, неважно, какого именно, заключается в том, чтобы понимать, что это, собственно, за явление. Нетрудно распознать мяч в еще одном мяче, но для того, чтобы понять, как будет выглядеть еще одна Земля, надо знать, в чем состоит неповторимая особенность Земли; лишь тогда мы будем понимать, какие признаки искать в новой земле. Именно желание развеять иллюзию привилегированного положения Земли во вселенной и влекло науку вперед на протяжении четырех столетий с тех пор, как Коперник лишил Землю статуса физического центра вселенной и неожиданно для себя установил научный принцип, который гласит, что Земля не только не лежит в центре вселенной, но и вообще не занимает центрального положения ни в каком смысле. Обнаружив схожие условия на других планетах, мы утверждаемся в своем коперниканском убеждении, что события, имевшие место здесь, также имели место и там, и во многих других местах. Благодаря открытию новых землеподобных планет мы можем представить свою планету в качестве экспериментального объекта и сравнивать ее с другими, типологически ей подобными. Существование других земель обогащает понимание уникальности или неуникальности нашей планеты. Ее особенность, в чем бы она ни заключалась, становится все более выраженной.

Сегодня, если есть такое желание, все еще можно считать, что Земля — единственная в своем роде. Однако если мы будем исходить из того, что Земля не уникальна, то материалистическое понимание вселенной

значительно продвинется вперед, а возможности обобщать взгляды, согласно которым Земля уникальна, сократятся.

Повторимся: мы начинаем с того, что решительно подвергаем сомнению нашу уникальность, и не потому, что хотим доказать собственную незначительность, а потому, что таким образом можно сформулировать вопросы научного поиска, движимого желанием глубже осмыслить, что мы из себя представляем. В настоящее время внимание целиком сконцентрировано на третьей планете от Солнца, и тем самым упускаются из виду все проблематичные и, таким образом, стимулирующие примеры привилегированности, которые могли бы заинтересовать науку. Подрывая эти привилегии, мы переориентируем науку на поиски иного. Завершится ли такое предприятие — вопрос веры.

Очевидно, выдающимся свойством Земли является ее способность служить домом для всего живого. Мы коперниканцы и убеждены, что жизнь существует повсеместно, но, прежде чем отправляться на ее поиски, надо понять, что такое жизнь и каких условий она требует.

Если бы Юпитер не защищал Землю от космической бомбардировки, трудно представить, как была бы возможна жизнь на Земле. Здесь мы сталкиваемся с первой трудностью. Не только условия самой Земли делают жизнь возможной, необходимы и особые условия всей солнечной системы. Мы знаем, что из-за условий во вселенной жизнь возникает редко: можно считать, что для возникновения молекул, пригодных для жизни, требуется примерно 10 млрд лет звездообразования,

и происходит это, когда процесс образования звезды подходит к концу. Аргументы, которые ставят условия существования человечества в зависимость от условий существования вселенной, иллюстрируют антропный принцип, равно используемый и коперниканцами, и антикоперниканцами.

Антропный принцип полезен при оценке колебаний в параметрах, которые определяют, как во вселенной возникла сложность. Например, этот принцип можно использовать для объяснения специфической плоскости пространства или бесконечно малой величины космологической константы. Коперниканец скажет, что такая плоскость заставляет нас верить в существование других вселенных, где пространство искривляется самыми разными способами и в которых или нет наблюдателей вообще, или наблюдатели отличаются от нас. Мы наблюдаем вселенную именно такой плоскости, потому что только в этой вселенной могли появиться такие же наблюдатели, как мы. Это один — и не самый легкий — способ поддержать идею, что мы не уникальны. Идеи параллельных вселенных и мультивселенной позволяют освободиться от представления, будто законы квантовой физики неразрывно связаны с существованием человека — наблюдателя вселенной. С другой стороны, противник учения Коперника может возразить, что здесь нет пространства для маневра, и будет использовать антропный принцип точно так же, только для отрицания идеи о расточительном разнообразии вселенных и утверждения идеи недостаточной ее сложности. Согласно второму закону термодинамики, любая система со временем становит-

ся менее упорядоченной. Вселенная может создавать порядок только за счет снижения упорядоченности где-то еще. Какова цена существования человечества как организованного сообщества? Смеем ли мы думать, что ценой этой оказалась наша вселенная — данного размера и с данной энергией?

Случайное столкновение, в результате которого кусок Земли отвалился и образовалась Луна, тоже оказалось необходимым для возникновения жизни. Луна остановила бешеное вращение Земли вокруг своей оси, превратив его в покачивающееся колебание. Это небольшое колебание вместе с углом наклона земной оси по отношению к Солнцу отвечает за умеренность сезонных изменений; в противном случае они были бы резкими и исключили возможность существования на Земле сложных форм жизни. Без благотворного влияния Луны жизнь приняла бы совсем иные формы. Это не значит, что жизнь не могла бы существовать вообще, просто мы не можем представить себе, насколько иначе она могла бы выглядеть. Наше описание вселенной в конечном счете ограничивается силой воображения. Поскольку мы сами являемся продуктом вселенной, наше воображение не может превзойти возможности вселенной, которую мы пытаемся описать. Что бы мы ни думали, вселенная всегда ставит предел нашей способности вообразить, что она из себя представляет.

Иногда ученые сталкиваются с совпадениями настолько странными, что не знают, как их классифицировать. Когда Луна только сформировалась, она располагалась в три раза ближе к Земле, поэтому лунный ме-

сяц продолжался всего пять дней. Луна отдаляется от нас на 38 мм в год и снижает скорость вращения Земли¹. На сегодня расстояние до Луны до Земли в 400 раз меньше, чем от Земли до Солнца. В этом, казалось бы, нет ничего особенного, но, поскольку диаметр Луны составляет 1/400 от диаметра Солнца, то во время солнечного затмения Луна в точности совпадает с Солнцем. Ничто подобное не будет иметь места в отдаленном будущем, как не имело места и в отдаленном прошлом. Древние использовали это явление для вычисления расстояния от Земли до Солнца. Маловероятно, что нам удастся использовать это совпадение как-то еще.

Поскольку Земля имеет железное ядро и вращается вокруг своей оси, она порождает магнитное поле, которое защищает планету от вредного для жизни воздействия радиации. Космические лучи излучаются Солнцем в форме состоящего из протонов и электронов солнечного ветра, который дует со скоростью 400 км в секунду (в условиях солнечного шторма скорость возрастает в три раза). Космические лучи отклоняются под действием магнитного поля Земли. Астронавты должны избегать их, когда выходят из корабля. Если для жизни обязательно иметь такую магнитную защиту, то тогда следует ожидать открытия и других

1 Однажды Земля в свою очередь замедлила скорость вращения Луны, в результате чего они оказались сцепленными воедино, и теперь Луна всегда обращена к Земле одной и той же стороной. На самом деле, как и Земля, Луна покачивается из стороны в сторону, т. е. показывает несколько больше, чем одну сторону. Луна платит Земле той же монетой, так что и с Луны всегда видна лишь одна сторона Земли.

землеобразных планет с магнитными полями. В противном случае нам придется придумывать иные версии возникновения сложной жизни, устойчивой к высоким уровням радиации.

Если бы не сила магнитного поля Земли, космические лучи лишили бы ее атмосферы. На Марсе нет атмосферы, потому что его магнитное поле слишком слабо. Какие бы формы жизни ни возникали на землеподобных планетах, им пришлось бы обходиться без атмосферы.

Даже содержание урана представляется идеально сбалансированным для жизни. Если бы его было слишком мало, Земля слишком быстро бы остыла. Она превратилась бы в инертное тело. Если бы урана было слишком много, высокая радиоактивность сделала бы жизнь невозможной. Тот уровень урана, который есть, позволяет предположить, что Солнце состоит из материалов третьего этапа звездообразования, а это напоминает нам, что не только условия солнечной системы тонко сбалансированы для потребностей нашей жизни, но и условия вселенной¹.

¹ Американский математик Джон фон Нейман (родился в Венгрии, 1903–1957) обнаружил еще более интересное соотношение между существованием человека и концентрацией урана. Он писал: "Если бы человек со своей технологией вышел на сцену несколькими миллиардами лет раньше, то получать уран-235 (необходимый для производства атомной бомбы) было бы легче. Если бы человек появился позже, скажем, на 10 млрд лет, концентрация урана-235 была бы настолько низка, что его нельзя было бы использовать". Похоже, существует равновесие между тем временем, когда мы открыли этот способ уничтожения нашего собственного биологического вида, и уровнем интеллекта, необходимым для такого открытия. В этот баланс включается и вопрос, на который пока нет ответа: достаточно ли мы умны, чтобы не уничтожить самих себя?

После того как солнечная система пришла в равновесие, а Земле больше не угрожают ни опустошение, ни раскрутка в обратную сторону в результате частых катастрофических столкновений с небесными телами, мелкие столкновения с древними каменными метеоритами, хондритами, подталкивают историю все возрастающей сложности к дальнейшему развитию. В этой истории продолжают действовать шарообразные куски материи, которые сталкиваются с другими. Газовые частицы превратились в звезды, галактики столкнулись друг с другом и стали вселенной — такой, какую мы видим в ее огромных масштабах. Внутри галактик мы обнаруживаем солнечные системы, которые ведут себя как шары на бильярдном столе. Присмотримся к одной устойчивой солнечной системе — нашей собственной: здесь более слабые столкновения рассказывают новую историю о постепенно складывающейся сложности.

В составе хондритов на Землю попадают сложные молекулы. Некогда они перемещались в прохладных отдаленных областях пылевого облака, из которого в результате концентрации образовалось Солнце. Как будто семена жизни, на Землю заносятся химические соединения, которые старше Солнца и относятся ко времени зарождения звезд. Хондриты и поныне продолжают падать на Землю. Один такой метеорит упал на деревню Мерчисон в Австралии в 1969 году. Как оказалось, он содержал 411 различных органических соединений, в том числе 74 аминокислоты, из которых восемь можно найти в белках живых организмов. Исследование относи-

тельного содержания, проведенное в 1970-е Арманом Дельсеммом, показывает высокую корреляцию между содержанием водорода, кислорода, углерода, азота и серы в живых организмах и в материале, полученном из комет. Жизнь рассказывает о своем происхождении из кометы. Единственное исключение — это фосфор, который имеется во всех живых организмах (правда, лишь в одной молекуле), но не содержится в кометах. И наоборот, среди веществ, содержащихся в космических материалах, только один элемент, инертный гелий, не нашел применения в живой материи. При всей своей сложности живая материя “соткана” примерно из 30 различных молекул, которые состоят из элементов, наиболее изобильно содержащихся во вселенной.

Скорее всего, жизнь на Земле началась не с нуля. Сложные молекулы, встроенные в живую материю, по-видимому, образовались в открытом космосе задолго до образования Земли. Гадая, где искать внеземную жизнь, мы, может быть, ищем ее не там, где надо. Внеземная жизнь — это мы сами. Мы пришли оттуда, из космоса, тогда как здесь, на Земле, быть может, существует иная жизнь, возможно бактериальной природы, которую мы еще не обнаружили.

Ученые говорят о “классической обитаемой” зоне жизни, которая во многих отношениях слишком узка для Земли. Это разочаровывает или интригует — в зависимости от того, во что ты веришь. Земля находится на таком расстоянии от Солнца, что вода может существовать в жидком состоянии. Земля — единственное известное нам место во вселенной, где вода

существует во всех трех агрегатных состояниях: льда, воды и пара. Единственное известное на сегодняшний день место.

Вода (H_2O) — самая распространенная трехатомная молекула во вселенной, она также попала на Землю с хондритами и в составе кометной пыли. Даже сейчас каждый год на Землю с кометной пылью поступает не меньше 30 тыс. тонн воды¹. В какой-то момент далекой истории Земли атмосфера наполнилась водяным паром и пролился первый дождь: это были ливни, в результате которых наполнились океаны. Древнейшие ископаемые находки, связанные с этими дождями, обнаружены в выемках индийских скал, которые насчитывают более 3 млрд лет, однако ученые думают, что проливные дожди с перерывами уже шли за миллиард лет до этого. Даже свойства воды специфическим образом способствуют возникновению жизни. Некоторые ученые считают, что сложные квантовые связи, присущие воде, также связаны с жизнью. Проще говоря, если бы лед не обладал меньшей плотностью, чем вода, — редко бывает, что твердое тело менее плотно, чем его жидкая форма, — то океаны промерзли бы от дна до поверхности, что погубило бы все морские формы жизни.

Мы знаем, что вода необходима для органической жизни. “Без воды все есть одна химия, — сказал Феликс Фрэнкс из Кембриджского университета, — но добавьте воду, и вы получите биологию”. Не так очевид-

1 Это не очень большой объем воды, им можно наполнить бассейн шириной 30 м, длиной 100 м и глубиной 10 м.

но, что вода необходима и для неорганической жизни планеты.

Земные континенты за столетия изменили местоположение и форму, их несут на себе тектонические плиты. Если бы не вода, тектонические плиты не двигались бы. Вода действует подобно смазке в машине, которая движет континентами. Сейчас существуют семь крупных плит и множество мелких. Мы не знаем, как континенты располагались в океанах, когда Земля была еще молода, но знаем, что лицо Земли за более чем 4 млрд лет ее истории сильно изменилось. Тектонические плиты имеют два слоя, кору и литосферу, вместе они медленно движутся относительно лежащего под ними слоя астеносферы. Плиты могут передвигаться на 0,66–8,5 см в год, что не слишком отличается от скорости роста ногтя на пальце ноги. Иллюзия, что плиты движутся, будто они жидкие, связана с процессом ползучести, когда частицы минералов, из которых состоит литосфера, постоянно переформируются в одном месте по мере их удаления от другого, что создает эффект движения вперед. Благодаря тектонической активности на поверхности суши не осталось следов бомбардировки Земли из космоса, однако свидетельства этого можно найти на дне океана и на открытой кратерами поверхности Луны, которая не имеет тектонических плит.

Движение тектонических плит Земли постоянно расширяет Атлантический океан, отдаляя Вашингтон от Парижа на 30 см каждые десять лет. Тихий океан, соответственно, сужается. Самый подвижный участок современного мира — юго-восточный выступ Аляски (ее

“ручка”), который когда-то соединялся с современной восточной Австралией. Он “отломился” 375 млн лет назад — совсем недавно с точки зрения нашей текущей фокусировки в несколько миллиардов лет — и стал передвигаться к северу. Возможно, что другие континентальные массы передвигались на еще большие расстояния, но история этих передвижений, по крайней мере на сегодня, для нас утрачена.

Вдоль границ тектонических плит развиваются разрушительные процессы землетрясений и вулканической активности. Именно здесь встают горы и образуются глубоководные океанические впадины. Через тысячу лет в том мире, каким он предстает перед нами сейчас, Гималаи могут подрасти в отдельных участках на метр, а в других более чем на метр разрушиться от эрозии. В глубоком прошлом Гималаев, конечно, просто не существовало.

Если бы на Земле внезапно исчезла вода, наша планета стала бы как современная Венера — с тектоническими плитами, которые больше не движутся. Венера имела чрезвычайно бурное тектоническое прошлое и может вновь активизироваться, если изменится ее атмосфера. Сейчас атмосферу Венеры в основном составляет углекислый газ, отчего на планете установился парниковый климат. Углекислый газ пропускает весь световой спектр, кроме инфракрасного излучения. Солнечное излучение, которое проходит сквозь атмосферу, отражается от поверхности и излучается обратно в недостающей части спектра, т. е. в его инфракрасной зоне. Инфракрасное излучение не может проникнуть за пределы атмосферы по той же причине, по которой оно

не могло проникнуть внутрь, — из-за присутствия углекислого газа. А поскольку инфракрасное излучение — это тепло, то в атмосфере задерживается тепловая энергия. Аналогичные свойства имеет стекло: оно не пропускает инфракрасные солнечные лучи, благодаря чему парники сохраняют тепло, поэтому процесс и называется парниковым эффектом.

Из-за парникового эффекта температура Венеры достигает 400 °С. В противоположность Венере Марс — это холодная и пустынная планета, она не имеет расплавленной магмы, которая приводит к вулканической активности. Земля уравновешена между этими двумя крайностями, причем именно атмосфера помогает сохранить столь неустойчивое равновесие. Странным образом, если бы образование Луны не изъело значительного куса земной поверхности, поверхность была бы слишком толстой для тектонических движений. Луна вновь играет важную роль в истории жизни на Земле.

Поле тяготения Земли (как и ее магнитное поле) как раз такое, какое необходимо для удержания атмосферы. На Луне атмосферы нет, потому что сила притяжения слишком мала (несмотря на ее близость, Луна довольно негостеприимна: температура падает до -170 °С ночью и поднимается до 100 °С днем). Атмосфера Земли в начале ее развития состояла в основном из водорода, который образовался, когда примерно 4,3 млн лет назад Земля начала остывать. Состав атмосферы изменился, когда к водороду прибавились газы, образовавшиеся при извержении вулканов: аммиак, метан, углекислый газ и водяной пар.

Во времена земной молодости яркость солнца была на треть ниже, чем сейчас, но из-за высокого содержания CO_2 и более тяжелой атмосферы температура у поверхности достигала 100°C , и океаны почти закипали.

Хотя магнитное поле и защищает Землю от самых разрушительных эффектов радиации, в наше время мы получаем больше защиты в результате усложнения развивающейся атмосферы. Атмосфера представляет собой серию оболочек, заключенных друг в друга: это магнитосфера, экзосфера, ионосфера, мезосфера, стратосфера (которая, в свою очередь, содержит озоновый слой) и тропосфера. Твердая земля — это также целый ряд слоев: кора, верхняя и нижняя мантии, жидкое железное ядро и твердое железное ядро. Ионосфера, внешний слой атмосферы, простирающийся на 80 км над поверхностью Земли, поглощает рентгеновское и некоторую часть ультрафиолетового излучения. Озоновый слой, расположенный на высоте 20 км, состоит из необычных атомов кислорода, O_3 вместо O_2 , которые особенно эффективно поглощают ультрафиолетовое излучение. Более тяжелые молекулы кислорода образуются в результате диссоциации воды под действием ультрафиолетовых лучей. Озоновый слой начал складываться в ранние периоды существования Земли, хотя обычного кислорода в то время на планете не было.

Земля образовалась из породы в результате аккреции (приращения) вещества из дискообразного облака космической пыли, но сегодня таких пород на Земле уже нет. В результате действия земных процессов этот

первичный материал превратился в знакомые нам породы. В результате извержений образовались различные вулканические породы, среди которых две основных формы — базальт и гранит. Базальт — это лава, которая быстро остывает при вытекании из вулкана и образует океаническое дно. Гранит — лава, которая остывает медленно и глубоко под поверхностью Земли, залегающая под континентами.

Трудно определить возраст древнейших пор. В результате разрушительных коллизий первого полумиллиарда лет жизни Земли поверхность планеты неоднократно расплавлялась, и геологические часы снова переводились на ноль. Наиболее определенно можно сказать только то, что возраст пород исчисляется таким большим сроком, какой только возможен для их существования в наблюдаемой нами сегодня форме. Геологическое время отсчитывается с момента возникновения этих ранних земных пород. Древнейшие вулканические породы обнаружены в Канаде, и предполагается, что они содержат частицы, которым больше 4 млрд лет. Это позволяет заключить, что вода существует на Земле так же давно, поскольку ее присутствие требуется для тектонического движения. Самые старые породы можно обнаружить на Луне, где, разумеется, нет никаких тектонических процессов. Возраст некоторых лунных камней достигает 4 млрд лет.

Этим мы ограничимся в обсуждении тех физических условий на Земле, которые могут оказаться, а могут и не оказаться предпосылками для развития жизни где-то еще. Однако прежде, чем мы задумаемся, какие из этих условий необходимы для жизни в известных

нам формах, нужно понять, как физическая Земля стала Землей живой, то есть более точно уяснить, что такое жизнь.

Подобно Моне Лизе, жизнь, быть может, “старше скал, меж которых она сидит”¹. В порядке дискуссии ученые высказывали мнение, что простейшая бактериальная жизнь пришла из открытого космоса, возможно, была занесена на Землю пролетающей мимо кометой. Микробы, как путешественники автостопом, добрались до Земли на древних метеоритах. Более убедительна точка зрения, что в течение первых миллионов лет существования Земли жизнь зарождалась несколько раз и затем исчезала под действием разрушительных сил среды. Как и все возникающие формы сложности, разворачивающиеся во вселенной, жизнь развивается при первой же возможности и стремится продержаться, пока условия остаются благоприятными. Чем бы она ни являлась по своей природе и каким бы способом ее ни занесло туда, где она есть, жизнь начинается, как только исчезают помехи для этого.

¹ Так выразился Уолтер Патер о шедевре Леонардо да Винчи (*The Renaissance*, 1893).

Начало начал

*Теперь я готов рассказать, как тела
Меняются и превращаются в другие тела.*

Тед Хьюз, "Истории из Овидия"

Je suis un ancêtre.

НАПОЛЕОН

Благородные американцы считают, что происходят от тех, кто прибыл в Америку на "Мэйфлауэр". Есть и такие, которые считают более благородным находить предков среди прибывших следующим кораблем и пославших вперед себя слуг. Если вы когда-либо составляли семейное древо, то знаете, как трудно проследить непрерывное развитие семьи даже в течение нескольких столетий. Лучшие дома Англии ищут предков среди участников норманнского нашествия, однако даже эти редкие находки отмечают собой генеалогические древа не старше какой-нибудь тысячи лет.

Примерно 600 поколений назад, около 10 тыс. лет до н. э., существовали первые города-государства. Но никому еще не удавалось проследить семейную историю так далеко. В одном из своих скучнейших пассажей Библия описывает генеалогию начиная с древних

колен израилевых, и до поры до времени, опираясь на эту генеалогию, некоторые культуры вычисляли собственную древность. Однако в начале XVII века стало известно, что в Китае император имелся уже в 3000 году до н. э., а китайская история, возможно, и того древнее. Подобные рассказы привозили и из Индии, и это позволило думать, что китайская и индийская цивилизации такие же древние, как древнееврейская, если не древнее. Такая перспектива обеспокоила Ньютона, который потратил много времени, устанавливая родословную ветхозаветных семей. Поколением позже французский писатель и философ Вольтер (1694–1778) утверждал превосходство восточных культур — это была еретическая позиция, которую церковь попыталась подорвать, скомпрометировав Вольтера, хотя, вопреки распространенному мнению, Вольтер вовсе не был атеистом, он лишь протестовал против организованной религии.

В “Анналах Ветхого Завета”, опубликованных в 1650 году, Джеймс Ашшер (1581–1656), архиепископ Армага, создал хронологию Божественного Творения. В приложении к своему труду, опубликованному в 1654 году, он вычислил, что Сотворение мира имело место вечером накануне воскресенья 23 октября 4004 года до Р. Х., и эта дата несильно отличается от других начавшихся по крайней мере во времена Беды Достопочтенного (ок. 672–735) попыток датировать акт Божественного Творения. Сегодня Ашшера никто не принимает всерьез, но в свое время он был очень уважаемым ученым, широко известным в Европе. Согласно некоторым толкователям Библии, царство человека должно было

продолжаться 6 тыс. лет, о чем свидетельствует строчка из Послания Петра: "Один день с Господом как тысяча лет, и тысяча лет как один день" (2 Пет 3:8). Сотворение мира началось около 4000 года до н. э. и, как предполагалось, должно было завершиться 6 тыс. лет позже. Сегодня мы полагаем, что в 4000 году до н. э. в Месопотамии было изобретено колесо. Ашшер записал свою датировку на полях Библии короля Иакова издания 1701 года. Именно на этой версии Библии основано фундаменталистское отношение к Священному Писанию.

Ко времени Ньютона верующие уже знали, что Земля гораздо старше, чем предполагалось. Ньютон полагал, что возраст Земли превышает 50 тыс. лет, а французский натуралист Жорж Бюффон (1707–1788) называл возраст в 70 тыс. лет. В середине XVIII века Кант думал, что Земле миллион лет (а вселенной — мириады миллионов веков). Французский математик и физик Жозеф Фурье (1768–1830) провел математический анализ потерь тепла и вычислил, что возраст Земли должен составлять приблизительно 100 млн лет. Сейчас мы благодаря знаниям о вселенной в ее самых больших и самых малых измерениях уверены, что возраст Земли насчитывает 4,6 млрд лет, и это стало известно лишь в 1950-е.

Если траектория исторического времени определяется с трудом, то траектория геологического времени еще более неясна. Организмы живут, умирают и по большей части исчезают навсегда. Нам повезет, если удастся проследить хоть какую-то линию геологического прошлого древностью в сотни миллионов лет.

Покинув историю и вступив в глубокое время эволюции, мы можем руководствоваться лишь тем, что сохранилось, — редкими ископаемыми окаменелостями, и удивительно уже то, что они вообще имеются, учитывая чрезвычайные обстоятельства, необходимые для их образования. Организм должен был иметь скелет, а смерть должна была застать его в таком месте, где могло бы происходить медленное разложение тканей и где в процессе образования осадка могли сформироваться минеральные отложения, которые постепенно заменили бы собой скелет, образовав его почти совершенную копию. Еще более редко процессом отложения осадка захватывались мягкие ткани или древесная смола каким-то образом удерживала в себе мелкое насекомое или часть растения, со временем затвердевая и окаменевающая, превращаясь в янтарь. Если бы не эти редкости, трудно представить, как можно было бы доказать теорию эволюции. Окаменелости находили в этрусских погребальных камерах, так что можно полагать, что даже в начале цивилизации люди уже понимали их значимость.

Но, если окаменелости встречаются так редко, как можно надеяться определить, кто есть предок? Придется отказаться от мысли провести прямую связь между организмами, живущими сейчас, и окаменелым останком организма, жившего в далеком прошлом. Вымирание — закон эволюции, выживание — ее исключение. Дело не только в том, что окаменелости встречаются исключительно редко, но и в том, что жизнь была невероятно изобильной. Мы наблюдаем это изобилие в природе вокруг себя, в лягушачьей икре или в семе-

нах растений, но трудно представить биологическое изобилие “глубокого времени”. Проследить линию прямого восхождения миллионов организмов теоретически не является невозможным, но определенно невозможно на практике.

Как выразился английский натуралист Чарльз Дарвин (1809–1882) в “Происхождении человека” (1872), эволюция — это убеждение в том, что происхождение любой формы жизни можно восстановить на основе какой-нибудь менее высокоорганизованной формы. Американский философ Дэниел Деннет (р. 1942) назвал эту мысль лучшей идеей в истории¹.

Все живые организмы имеют общих предков и в конечном счете одного общего предка, который жил в самом отдаленном геологическом времени. Теория эволюции не ищет прямых линий происхождения, вместо этого, несмотря на название знаменитой книги Дарвина, она шарит наугад во тьме “глубокого времени” в поисках общих предков. Если мы полагаем, что существовал единый общий предок, от которого пошла эволюция жизни, то следует также думать, что всех потомков можно представить в виде иерархии родственных связей с точкой схождения в месте этого единого общего предка, располагающегося далеко в глубине геологического времени. Мы никогда не обнаружим общего предка — это слишком далеко, но, оказываясь, можно вычислить, насколько мы генеалогически далеки от любого другого живого (или когда-либо жившего) организма.

1 В книге *Darwin's Dangerous Idea*, 1995.

Процесс наименования форм жизни и установления между ними связей начался задолго до появления теории эволюции. В XVIII веке шведский натуралист Карл Линней (1707–1778) составил классификацию живых организмов по видам и родам. Но и тогда идея классификации уже была не нова¹, хотя до Линнея никто не достигал такой степени систематизации. Линней организовал и поименовал 7700 видов растений (положив в основание классификации различия в строении их половых органов) и 4400 видов животных. Впервые наряду с другими формами жизни в классификацию был включен и человек. Но Линней придерживался принятого в то время мнения о том, что видов насчитывается “столько... сколько изначально сотворено Богом”, что все виды в неизменности существуют с момента Творения, когда они возникли из небытия. Задолго до Дарвина Линней считал обезьян-приматов хвостатыми людьми, но в его мировоззрении не было идеи изменения и эволюции, скорее наоборот. До Дарвина жизнь представлялась неизменной “великой цепью бытия”, упорядоченной от низших к высшим формам с человеком на вершине. В 1837 году, всего за двадцать два года до публикации “Происхождения видов”, британский философ Уильям Уэвелл (1794–1866) настаивал, что “виды реально существуют в природе, а перехода от одного вида к другому не существует”.

1 В VI столетии до н. э. Анаксимандр, основываясь на видимом сходстве строения человека и рыбы, высказал догадку, что жизнь зародилась в море.

Именно это представление о неизменности видов перевернула дарвиновская революция, что вновь вызвало прямой конфликт между наукой и церковью. Человечек не является ни целью творения, ни его конечной точкой. Идея целенаправленности эволюции избыточна в условиях случайного отсеивания в природе и во времени. Животная жизнь не состоит в условиях иерархического подчинения человеку ради эксплуатации ее человеком: человек тоже животное. Принципы Дарвина снова лишают человечество привилегированного положения, в результате чего принцип эволюции оказывается разновидностью принципа Коперника. В кровавой борьбе и под знаком случайности человек выделяется из среды зверей, он в конечном счете выходит из леса.

Идея единого Творения претерпевала критику и до Дарвина. В начале XIX века француз барон Кювье (1769–1832), ведущий натуралист своего времени, высказал мысль о многочисленных (а именно тридцати двух) периодах вымирания и новых актах творения. Только так он мог объяснить наличие окаменелостей, свидетельствующих о формах жизни, некогда существовавших, но не встречающихся среди современных форм. Впоследствии он отказался от этой идеи в пользу ортодоксального взгляда, что виды не изменяются. Другие ученые в попытках спасти библейский миф творения объявляли окаменелости остатками животных, погибших до всемирного потопа. Пока не появилась теория тектонического подъема, эту гипотезу, казалось бы, подтверждал тот факт, что окаменелости часто обнаруживаются в грунте высокого залегания.

Кроме того, барон Кювье содействовал развитию сравнительной анатомии, сравнив живые виды с ископаемыми. Говорили, что он мог реконструировать животное по одной кости. Задолго до Дарвина делались попытки организации животного мира на основании общих признаков. Сейчас считается, что наряду с другими особенностями собаки, лисы, медведи и еноты объединяются в одно семейство *Canidae* на основании общности строения внутреннего уха. Особого рода зубы (хищные зубы) отличают разнообразный отряд плацентарных млекопитающих — хищников. В эту группу входят не только хищные животные; так, например, туда относятся панды, которые почти исключительно травоядны. И наоборот, не все хищники принадлежат к отряду хищных. Человека часто относят к хищникам, но он не относится к этому отряду. Люди родственны хищникам, поскольку и те и другие относятся к отряду млекопитающих. Птицы, ящерицы, змеи и черепахи также сближаются с млекопитающими благодаря развитию из яйца, содержащего защитную амниотическую жидкость. Позвоночные — это более крупное подразделение, куда входят и амниоты, и все прочие животные со спинным хребтом. То, что организмы распределяются согласно видимым общим структурным признакам, наводит на мысль о наличии у них общего предка, но, как бы убедительны ни были такие схемы, они не доказывают факт эволюции и не объясняют, как она происходит. Исследование эмбрионального развития также намекает на происхождение от одного и того же предка. На определенной стадии развития у заро-

дыша млекопитающего появляются жаберы, что указывает на наличие общего предка у человека и рыб. Также можно соотнести принцип работы сердца у млекопитающих с сердцем рыбы, у которой оно работает по тому же принципу.

Чарльз Дарвин не был первым, кто предположил наличие эволюции. Его дед Эразмус Дарвин (1731–1802) задумывался, не происходят ли все животные от “одной живой нити”, а Жорж Бюффон задавался более конкретным вопросом — не произошел ли североамериканский бизон от какой-то предшествующей формы европейского быка. Французский натуралист Жан-Батист Пьер Антуан де Моне, шевалье де Ламарк (1744–1829), тоже предложил теорию эволюции, но его объяснение не встретило поддержки в наше время. Ламаркисты считали, что признаки, выработанные за время жизни, — например мускулистое тело, натренированное в частых посещениях тренажерного зала, — могут передаваться последующим поколениям. Дарвин дал иное объяснения передачи изменений от поколения к поколению. Природа отбирает признаки, наиболее приспособленные к изменениям окружающей среды. Теорию естественного отбора он дополнил теорией полового отбора: этими двумя принципами описывается действие эволюции на макроуровне. Неброская с виду самка павлина использует половое различие для контроля над естественным отбором. Именно самка выбирает, какому самцу предстоит участвовать в размножении, а какому нет.

Зачастую кажется, что половой отбор противодействует естественному. Крупные перья павлина

стесняют в полете, яркая окраска оперения у самца делает его уязвимой мишенью. Тем не менее, несмотря на эти неблагоприятные факторы, та ниша, которую павлины занимают в природе, позволяет им их излишества.

Дарвин сводит природу к факторам случайного отбора, отсутствующего целеполагания, пола, насилия и смерти. В другой связи к подобной редукции природы несколькими десятилетиями позже придет и Зигмунд Фрейд (1856–1939).

Идея естественного отбора и присущие ей вера в случайность и аморализм — “на повестке дня — убийство и внезапная смерть”¹ — оказали огромное влияние на викторианское общество. Представление о том, что выживают только самые приспособленные, привело к ничем не ограниченному капитализму, который проповедовал социальный дарвинизм. Такова была философия английского экономиста Герберта Спенсера (1820–1903), который произнес фразу “выживает наиболее приспособленный” и изобрел доктрину экономики, основанную на принципе невмешательства государства. Мысль о том, что виды можно улучшать путем селекции, породила во множестве формы научной евгеники, пионером которой был сводный двоюродный брат Дарвина, многосторонне образованный Фрэнсис Гальтон (1822–1911). Дарвина беспокоила мрачность нарисованной им самой картины: “Трудно поверить, что

1 Слова английского натуралиста Томаса Генри Хаксли (1825–1894). Хаксли страстно отстаивал теорию эволюции, за что получил прозвище Бульдог Дарвина. Его можно назвать Ричардом Докинзом своего времени.

в мирных лесах и тихих лугах идет эта ужасная, но беззвучная война". В конце концов он утратил веру в Бога, заменив ее стоицизмом и находя утешение в созерцании величия вселенной.

Дарвин верил, что постепенно и незаметно, на протяжении долгого времени, в результате естественного и полового отбора один вид может превратиться в другой. Он приводил пространные рассуждения о том, что искусственная селекция — например выведение человеком собаки и кошки — может служить доказательством естественного отбора. Пройдет несколько поколений, и человек будет выращивать совсем других животных. Естественный отбор, занимающий гораздо более длительные периоды времени, может давать еще более мощные изменения среди видов. Но аргументы Дарвина так и не получили доказательной силы. Утверждение об искусственном отборе можно так же легко использовать и против теории естественного отбора. В ходе селекции человек выбирает, каким видам жить, а каким нет, что мало отличается от вмешательства какого-нибудь всемогущего божества. Против этого говорит и то, что выраженные признаки, отбираемые селекционерами, часто приводят неотделимые от них слабости. У пекинесов образовались проблемы дыхания, у кошек с голубыми глазами и белой шерстью развилась глухота, и так далее. В дикой природе глухая кошка и хрипящая собачка не имели бы шансов. Искусственный отбор вскрывает проблемы, которые возникают, если вызываемые им изменения слишком значительны.

Если естественный отбор, согласно Дарвину, происходит путем мельчайших изменений на протяжении

длительного времени, то нужно доказать, что возраст Земли достаточно велик относительно продолжительности эволюции. Естественный отбор был лишен механизма, без которого теория Дарвина теряет смысл. И еще одно затруднение: не обнаружено окаменелых останков никаких переходных форм от одного вида к другому, которые свидетельствовали бы о постепенном изменении.

К проблеме времени стала обращаться развивающаяся геологическая наука. Шотландский фермер Джеймс Хаттон (1726–1797) выдвинул идею униформизма, то есть постепенного изменения, в геологии. Он заметил, что построенные римлянами 2000 лет назад дороги до сих пор видны. Эрозия имеет место, но протекает медленно. Это привело его к соображению о том, что процессы эрозии и отложения осадков можно использовать для измерения геологического времени. Хотя такие однородные геологические процессы прерываются катастрофическими событиями типа землетрясений и вулканических извержений, преобладающие процессы постоянны и однородны, и, если исходить из этого, можно использовать эту однородность в качестве своего рода часов. Принцип Хаттона позволил впервые датировать осадочную породу. Благодаря этому стало возможно датировать и содержащиеся в породе окаменелые останки. Идеи Хаттона популяризировал шотландский геолог Чарльз Лайелл (1797–1875) в своем трехтомном труде “Принципы геологии”, который был опубликован в 1830–1833 годах и оказал влияние на Дарвина.

Объясняя отсутствие промежуточных форм, Дарвин приводил слабые аргументы, утверждая, что про-

межуточные межвидовые формы вымерли и утрачены для наблюдения, потому что летопись археологических находок неполна, а природа расточительна. Несмотря на название своей знаменитой книги, Дарвин не знал, как объяснить происхождение видов. Скорее, он описал эволюцию сложных форм, которая, как можно предположить, происходит в результате естественного и полового отборов. Но без механизма для объяснения того, как именно это происходит, дарвиновская теория была обречена на провал. Оказав мощное воздействие в начале, дарвинизм вышел из моды.

Новые сомнения относительно дарвиновской теории эволюции были высказаны в конце XIX — начале XX века, когда почти одновременно три биолога вновь открыли труды Грегора Менделя (1822–1884). Мендель был монахом-августинцем и в 1956–63 годах в монастыре возле города Брно вырастил 29 тыс. ростков гороха на участке 35×7 м. Проанализировав 13 тыс. растений, он отметил, какие признаки передавались от поколения к поколению. Полученные Менделем данные позволяли предположить, что имеется некая “величина” наследственности, что противоречило дарвиновской теории гладкого и постепенного изменения. Подобные проблемы встречаются при попытке примирить “рваную” теорию квантовой физики с “гладкой” общей теорией относительности. Одно из самых ясных доказательств того, что при селекции характеристики не смешиваются, явствует из простого факта, что при соединении мужской и женской особи возникают мужские и женские особи, а не смешанные гермафродиты.

диты. Открытие того, что в растении гороха содержатся дискретные компоненты, которые определяют его общие свойства, стало первым шагом на пути к обнаружению генов.

Синтез двух механизмов эволюции — наследование вариаций (а не смешение) и естественный отбор — был произведен в 1930–40 годы, в том числе в работах американского биолога Сьюэлла Райта (1889–1988) и британских биологов Дж. Б. С. Холдейна (1892–1964) и Рональда Фишера (1890–1962). Через 90 лет после публикации “Происхождения видов” дарвинизм вновь оказался востребованным. Ученые, предложившие модель современного эволюционного синтеза, показали, что эти две теории не исключают друг друга. Спектр возможных вариаций описывается новой наукой — генетикой, а теория естественного отбора объясняет, почему сохраняются те вариации, которые наиболее приспособлены к среде. Спектр вариаций не является непрерывным, как полагал Дарвин, но состоит из дискретных полос. На микроскопическом уровне эта дискретность представлена генами, которые, как мы теперь знаем, представляют собой отдельные пакеты информации, записанной в очень длинных и сложных молекулах ДНК. ДНК содержится во всех без исключения клетках всех живых организмов.

Еще в 1940-е годы в книге “Что такое жизнь?” физик Эрвин Шредингер вопрошал, можно ли редуцировать биологию до молекул. Прочитав именно эту книгу, молодой англичанин Фрэнсис Крик (1916–2004) сменил карьеру физика на биологию.

Вместе с американским биологом Джеймсом Уотсоном (р. 1928) Крик в 1950-х открыл двойную спиральную структуру ДНК, тем самым положив начало молекулярной революции в биологии. Поиски происхождения жизни вновь ведут нас в глубину самых малых структур.

При всей пустоте атом является своего рода барьером между двумя мирами: миром повседневности, который, как нам представляется, состоит из отдельных движущихся предметов, и странным миром квантовой физики. Это барьер, который трудно преодолеть, потому что требуются огромные объемы энергии. По другую сторону барьера лежит мир физики частиц. ДНК — еще одна полезная концептуальная площадка для отдыха, где мир живой материи отделяется от неодушевленного. Но, исследуя ДНК, не нужно больше знать об атомах и их частях. Путешествие в глубину мелких структур уже не имеет смысла. ДНК — это код, который надо прочесть и понять, что является барьером иного рода, нежели атомный барьер, структура, не похожая ни на какую иную во вселенной. ДНК — это шаг вселенной в сторону символического.

ДНК-код состоит всего из четырех химических соединений: аденин, гуанин, цитозин и тимин. Чтобы подчеркнуть, что нас не интересует структура этих химических соединений, но лишь то, как они составляют алфавит жизни, их обычно обозначают первыми буквами — АГЦТ. Жизнь — это код, который можно переводить и читать словно книгу. Всякая жизнь (насколько нам известно) записана этим кодом — вот еще од-

но свидетельство ее, жизни, общего источника. ДНК — очень длинная молекула, которую можно читать как цепочку из четырех букв.

В языке жизни имеются и слова, и все они длиной в три буквы: ггг (гуанин гуанин гуанин), цтг, атц и т. д. Такой язык, по идее, должен состоять из 64 различных слов ($4 \times 4 \times 4$), но некоторые из этих слов означают одно и то же, так что на самом деле слов в языке всего 20. Кроме того, три из них представляют собой знаки препинания, так что этот язык не похож на другие, более знакомые нам.

В языке жизни есть и предложения, их мы называем генами. Значительная часть буквенных цепочек, которые записаны в длинной молекуле ДНК, раньше называлась “мусорной ДНК”. В состав “мусора” — или, как сейчас говорят, некодирующей ДНК — входят предложения или готовые рецепты, которые мы называем генами. Гены отделяются от ДНК, как и предложения, с помощью пунктуации. Ген — это осмысленное предложение, скрытое в некодирующей ДНК. Совокупность генов и некодирующей ДНК называется геномом. У некоторых бактерий генные последовательности составляют 90 % генома, у плодовой мушки — 20 %, а у человека — менее 2 %. Мы только сейчас начинаем понимать, какова роль некодирующей ДНК. Частично она выполняет важные функции, частично и впрямь похожа на мусор. К примеру, многие гены запахов, которые активны у животных, у человека выключены и являются мусорными. Эти гены деградировали, становясь все более и более бесполезными в результате многих мутаций.

Крошечные машины, рибосомы, отыскивают и считывают последовательности генов, превращая их в физические объекты. Слово становится плотью. Каждое слово в предложении представляет какую-то аминокислоту. Существует много разных видов аминокислот, но достаточно знать, что живая материя состоит всего из двадцати (они представлены двадцатью различными значениями слов в коде ДНК). Для наших целей не обязательно понимать, что такое аминокислоты, важно лишь, что они составляют класс молекул с особой структурой. Жизнь записана кодом, в котором используются одни и те же четыре буквы. Более того, все живые организмы закодированы на одном и том же языке, который состоит из 64 слов. Эти слова всегда выражены одними и теми же двадцатью аминокислотами.

Ген — это предложение, но также и готовый рецепт, который предназначен для считывания и превращения в цепочку аминокислот. Когда кухарка добирается до конца предложения и получает цепочку аминокислот, порядок которых соответствует порядку слов в предложении, цепочка сворачивается в сложную трехмерную форму — белок¹. Таким образом, каждый ген — это рецепт белка. Тело человека производит около 25 тыс. разновидностей белка, по одной на каждый ген.

Клетки — это фабрики, оборудованные крошечными машинами, которые производят белки, считывая

¹ Этот процесс гораздо сложнее, чем я описываю. Например, прежде чем рецепты считываются, они транскрибируются в другую молекулу, родственную ДНК, — РНК. Но нам это знать не обязательно. Я опускаю детали, оставляя главное.

определенные рецепты (гены), содержащиеся в молекуле ДНК. Клетки организма выполняют разные функции, потому что ДНК сообщает каждой, какую именно функцию выполнять. Клетки производят разные белки, потому что включаются разные участки молекулы ДНК. Клетка человека может стать эритроцитом, если включается белок, ответственный за производство гемоглобина, или превратиться в клетку головного мозга, если этот белок отключен. Гемоглобин — сложный белок (производный от белка), имеющий способность переносить кислород с потоком крови к органам тела. Клетки печени производят белок, который расщепляет пищу. Есть клетки, которые вырабатывают кератины — белки, из которых состоят волосы и ногти. Некоторые гормоны, например половые и гормоны надпочечников, также являются белками.

Белки, которые включают и выключают ДНК, присоединяются к мусорной ДНК, но не вполне понятно, каким образом. Процесс включения и выключения генов отчасти напоминает замкнутый круг. Откуда ДНК знает, как включать и выключать свои механизмы? Возможно, благодаря процессам, происходящим на клеточном уровне: клетки посылают сигналы друг другу, общаясь, каковы они, где в организме находятся и какие гены следует включить, чтобы произвести именно те белки, которые необходимы для их жизнедеятельности. Похоже, ДНК знает, какие гены включать и отключать, благодаря своему контексту в химическом составе конкретной клетки.

Некоторые организмы состоят из многочисленных клеток, другие относятся к одноклеточным.

А многие многоклеточные возникают как результат полового размножения. У сложных многоклеточных организмов, например у мух или у людей, каждый родитель отвечает за половину генетической информации, передаваемой следующему поколению. Молекула ДНК такая длинная, что она разламывается на фрагменты, хромосомы, в которых гены распределяются произвольным образом. Несколько генов, описывающих один и тот же признак, могут оказаться в составе разных хромосом. В каждой клетке содержатся два набора хромосом (два набора ДНК), кроме яйцеклеток и клеток спермы, которые содержат лишь по одному набору¹. В результате оплодотворения наборы хромосом обоих родителей рекомбинируются, и в потомстве получаются два новых, несколько отличных от родительских набора². Этими малыми различиями объясняется и незначительность изменений, которые мы наблюдаем от поколения к поколению. У людей они могут выражаться в разном цвете глаз. Перетасовка генетической информации в процессах воспроизводства приводит к росту вариативности, благодаря чему возникают преимущества в смысле естественного отбора в меняющейся среде и возникает более высокая степень сложности. Новый организм зарождается в результате повторений актов деления и репликации одной клетки, одного-единственного

1 Эритроциты — это исключения, они не содержат генетической информации.

2 Было подсчитано, что существует приблизительно 22000 различных вариантов сочетаний хромосом. В моей книге на данный момент это самое большое число.

оплодотворенного яйца. Организм человека состоит примерно из 100 тыс. млрд клеток. Удвоение быстро дает очень большие величины, как мы убедились в этом, обсуждая расширение вселенной. Хотя ДНК отдельных клеток почти идентичны, клетки различаются содержанием разных химических соединений. Конкретные типы клеток содержат конкретные типы соединений. В процессе деления образуются разные разновидности клеток. В организме человека имеется несколько сотен типов клеток.

Перед началом деления клетки происходит репликация (удвоение) клеточной ДНК. Структура молекулы ДНК особенно удобна для процесса удвоения. Знаменитые двойные спиральные нити всегда соединяются одним и тем же способом. Аденин (А) всегда связывается с тиминном (Т), а цитозин (Ц) — с гуанином (Г). Эти связи называются основаниями. ДНК человека содержит примерно 10 млрд парных оснований. Если нить двойной спирали ДНК выглядит как АТГГЦГГАГ, сразу становится понятно, что эта нить присоединяется к соответствующей нити на второй спирали, которая читается ТАЦЦГЦЦТЦ. Каждый раз, когда молекула ДНК удваивается, т. е. когда копируются все 10 млрд принадлежащих ей парных оснований, допускается не более десяти ошибок. Сложный механизм копирования и считывания следит за тем, чтобы эти ошибки в основном исправлялись. В каждой клетке содержатся ферменты, выполняющие функции издательских корректоров. Даже если изменится буква в цепочке ДНК, это еще не обязательно меняет смысл слова в геномном предложении, потому что значительная

часть слов означает одно и то же. Но, даже если замена буквы и приведет к искажению смысла слова, что повлечет воспроизведение иной аминокислоты, общая функция полученного таким образом белка в основном останется той же. Белки могут состоять из сотни и более аминокислот, но чаще всего лишь несколько контролируют функцию белка, тогда как остальные нужны в качестве строительных лесов. Ошибки при копировании называются мутациями. Если мутация все-таки случается, она редко имеет место в обеих парах генов. И даже одного немутировавшего гена достаточно для воспроизводства “правильного” белка.

Обычно мутации приводят к малым вариациям между организмами. Разные группы крови у человека — это результат минимальных различий в строении белка, который контролирует поверхностную структуру красных кровяных телец. Мелкие изменения последовательностей белковых соединений, связанных с производством меланина — белка, который влияет на цвет кожи, — дают рыжие волосы. Катастрофические мутации, как правило, не имеют места, но, если они все-таки происходят, организм, образованный такими генами, быстро выводится из генетического пула благодаря механизмам естественного отбора. Мутации представляют собой те самые мелкие изменения, о которых и говорил Дарвин, а не крупные, которые наступают в результате искусственной селекции.

Проект “Геном человека” был начат в 1990 году для идентификации всех генов в человеческом геноме

и рашифровки всех ДНК-последовательностей в геноме для понимания последовательностей, которые возникают между генами. Тогда полагали, что генов насчитывается 100 тыс., но, когда в 2003 году опубликовали полную генетическую карту, их оказалось менее 25 тыс. Плодовые мушки и круглые черви имеют геном размером в половину нашего, а геном риса насчитывает 40 тыс. генов. Но даже относительно скромного числа генов хватает для того, чтобы описать сложность человеческого организма. Речь идет об очень больших числах, астрономических — хотя, может быть, правильное было бы называть самые большие числа вселенной биологическими. Комбинаторные возможности 25 тыс. генов на много, много порядков выше самых высоких величин, с которыми мы до сих пор сталкивались, бороздя просторы вселенной. Но дело даже не в этом. Сложность организма — это следствие его роста. Не количество генов в геноме, а порядок и закономерности в экспрессии генов отвечают за межвидовые различия. Ген *hoxc8* в организме цыпленка включается на более долгое время, чем в организме мыши, — отсюда у кур длинные шеи. Гены, которые отвечают за общий план строения тела, называются гомеотическими. У таких различных организмов, как человек и муха, строение глаза вполне сходно. Вообще за строение любых глаз отвечает ген *rx6*. Медузы имеют гомеотические гены, которые примечательным образом подобны генам, определяющим строение тела человека, и это подобие можно объяснить только эволюцией. Мы не похожи на медуз в основном по причине иной экспрессии генов. Не

объем словарного запаса отличает великого драматурга (хотя у некоторых действительно лексикон очень велик). Даже имея ограниченный лексикон, можно писать великие пьесы. Имеет значение, как слова употребляются вместе, и то же самое относится к языку всего живого — языку с ограниченным словарем и небольшим числом предложений.

Если сравнить геномы (молекулы ДНК) всех живых организмов, мы увидим, что они имеют общий источник происхождения. Теория эволюции объясняет, каким образом генетический код — 64 триплета и 20 ими закодированных аминокислот — остается тем же у всех живых организмов. Теория эволюции объясняет и то, как сообщения, закодированные таким образом, изменялись (а иногда почти совсем не изменялись) со временем и от вида к виду. Некоторые гены сохраняются в неизменном виде на протяжении миллиардов лет, потому что изменение в их строении приведет к нарушению какой-нибудь жизненной функции и соответствующий ущербный организм будет изъят в результате естественного отбора. Изменения во времени в составе некодирующей мусорной ДНК в результате ошибок копирования (мутаций) называются дрейфом ДНК и используются в качестве биологических часов для датировки появления общего предка в эволюционной истории.

Поскольку белок изготавливается по генетическому рецепту, то, сравнив белки разных биологических видов, можно показать, что эти виды родственно свя-

заны между собой. В организме человека и в строении дрожжей имеются белки с очень сходными функциями, но они состоят из аминокислот, выстроенных в разных порядках. Сравнив белки в организмах разных видов, мы узнаем, как такие белки эволюционировали. Факт сходства функций белков человека и дрожжей указывает на наличие у этих двух очень разных форм жизни общего предка.

У биологов-эволюционистов в настоящее время имеется два метода классификации форм жизни: сравнение анатомических признаков окаменевших и живущих организмов и сравнение их ДНК¹. В совокупности этих методов эволюционная биология становится полностью сформированной наукой, выводы которой поддаются проверке. Данные о сходстве на уровне ДНК подтверждают существование эволюционного двояродного родства на макроуровне. В конце XX века молекулярная биология стала инструментом, способным предоставить независимые доказательства данных, полученных в исследовании окаменелостей. Дарвин полагал, что собаки являются потомками нескольких видов псовых, однако недавно с помощью генетического сравнения на ДНК-уровне установили, что все собаки произошли от серого волка. Думали, что гиппопотам родствен свиные, однако генетические данные свидетельствует, что он ближе китам, дельфинам и морским свиньям, т. е. китовым. Иногда орга-

¹ ДНК не выживает в окаменелостях. Время от времени обнаруживают полуразрушенную ДНК в телах животных, сохранившихся во льду или в глине. См. главу "Африка, здравствуй и прощай".

низмы имеют похожий внешний вид, потому что эволюционировали в сходных условиях. Но морфология обманчива, и анализ ДНК может рассказать совсем другую историю. Некогда из анатомических сравнений делали вывод, что ближайшим родственником человека является горилла, но ДНК-анализ говорит, что мы ближе к шимпанзе. Молекулярная биология произвела революцию в способах классификации организмов. ДНК оказалась другой разновидностью окаменелостей.

Эти два метода датировки позволяют классифицировать жизнь согласно иерархии взаимных связей в хронологическом порядке от настоящего к прошлому. А путешествуя в обратном направлении, от прошлого к настоящему, трудно удержаться от соблазна думать, будто мы наблюдаем картину эволюционирующей сложности. Трудно отделаться и от представления, что бактерия примитивнее нас, мы слишком полагаемся на наши собственные представления о сложности. В вопросе о сложности на макроуровне наши мнения предвзяты.

Может статься, что мы никогда не найдем общего предка для всех форм жизни, дошедших до наших дней, эта часть истории эволюции утеряна. Однако мы знаем, что общий предок всех многоклеточных был одноклеточным организмом. В далеком прошлом мы обнаруживаем массу одноклеточных, и наши самые надежные теории утверждают, что у них должен быть общий предок в еще более далеком прошлом. Большинство ветвей на древе одноклеточных форм жизни вымерло, но одна такая ветвь ведет к многоклеточным формам,

а остальные эволюционировали и превратились в одноклеточные организмы нашего времени.

Четыре миллиарда лет назад _____

Одно время думали, что все формы жизни составляют цепочку, для существования которой необходим солнечный свет. Но солнечные лучи пронизывают океан лишь на глубину 50 м (фотическая зона), тогда как в 1970-е одноклеточная жизнь была обнаружена вблизи глубоководных гидротермальных источников на глубине почти 2 км. Вместо солнечного света организмы в качестве источников энергии используют содержащиеся в воде химические соединения. Из-за давления воды вблизи таких источников температура может достигать сотен градусов по Цельсию. (Точка кипения воды составляет 100 °C на уровне моря и при нормальном атмосферном давлении. Если давление повышается, повышается и точка кипения. В местах гидротермальных источников, т. е. в разломах земной коры, откуда истекает газ, давление воды может превышать атмосферное давление в 25 раз.) Предполагается, что именно здесь обитали самые первые формы жизни, поскольку только в таких условиях они могли развиваться, скрываясь от вредного излучения из открытого космоса. Одноклеточные организмы, которые обнаруживаются вблизи гидротермальных источников или в иных экстремальных условиях, называются археями — это наименование им дали недавно. Раньше их классифицировали вместе с бактериями. Счита-

лось, что археи могут жить только в экстремальных условиях, но сейчас выяснили, что они живут в самых разных условиях и составляют, возможно, 20 % биомассы планеты.

Химические соединения, обнаруженные в составе породы из Акилы (Западная Гренландия, возраст породы — 3,8 млрд лет), возможно, на сегодняшний день являют собой самые ранние следы жизни, но надежность этой находки оспаривается. Другие спорные физические доказательства — это окаменелости того же возраста, которые называются строматолитами. Их находят в западной Австралии и предполагают, что они представляют собой еще одну древнюю форму одноклеточных — цианобактерии¹, по сути, обычную тину.

По мере остывания мирового океана эволюционировали организмы, которые научились использовать энергию солнечного излучения, превращая углекислый газ в сахар и кислород (фотосинтез). Либо цианобактерии эволюционировали из не способных к фотосинтезу видов вокруг глубоководных источников (археи), либо и те и другие независимо друг от друга произошли от ныне утраченного общего предка. Цианобактерии — первая форма жизни, обитавшая в верхних слоях океана, и в качестве отходов фотосинтеза они образовали первый кислород. Существуют данные, что цианобактерии занимались диссоциацией углекислого

¹ Раньше они назывались сине-зелеными водорослями. Сейчас термин "водоросли" употребляется только по отношению к более сложным организмам.

газа и образованием кислорода уже 3,5 млрд лет назад. Все мировые запасы кислорода — это дар царства фотосинтезирующих бактерий. Без бактерий кислорода не существовало бы.

Самый первый кислород на Земле не попадал в атмосферу. Поскольку Земля никогда раньше не испытывала воздействия кислорода, она начала ржаветь. Все земное, что было способно к окислению, стало окисляться. Мы наблюдаем следы этого процесса в слоях красных оксидов, которые залегают глубоко под землей. Только после того, как процессы окисления подошли к концу, уровень кислорода в атмосфере начал расти. Это заняло длительное время. Еще 2,4 млрд лет тому назад содержание кислорода в атмосфере составляло всего лишь 0,1 %. Два миллиарда лет назад оно достигло 3 %. Сейчас эта цифра составляет 20 %.

Первые археи защищались от стерилизующего воздействия ультрафиолетового излучения, укрываясь глубоко под водой, а первые обитатели поверхностных вод нашли защиту, прячась за частицами карбоната кальция, т. е. мела. Углекислый газ растворяется в воде с образованием карбонатов. Первые фотосинтезирующие бактерии использовали карбонат кальция в качестве защитного покрытия. Когда бактерии погибали, частицы карбоната кальция опускались на дно и со временем образовали слои меловых отложений. Весь мировой запас мела получился в результате этого жизненного процесса, образовавшись из скелетов существ, которые не видны невооруженным глазом. Известняк — еще одна форма карбоната кальция, но, поскольку он состоит из раковин более сложных организмов, мы на-

ходим его только на миллиарды лет позднее. То, как древние бактерии использовали карбонат кальция, дает ключ к пониманию взаимосвязанности всех форм жизни, это доказательство эволюции. Защитные покрытия примитивных бактерий в дальнейшем превращаются в панцири более развитых организмов, а затем в кости — остроумное превращение панциря, который организм носит не снаружи, а внутри и использует для несения веса, — в кости животных, которым предстоит со временем расстаться с плавучим образом жизни и поселиться на суше.

Одно из следствий образования меловых пород заключается в том, что они запирают в себе значительные количества углерода и таким образом препятствуют выходу парникового эффекта из-под контроля. Позднее углерод будет откладываться в форме угля и нефти, которые также являются продуктами жизненных процессов, подвергавшимися компрессии в течение целых геологических эпох. Благодаря вулканической деятельности часть этого углерода перераспределяется в контуре обратной связи, что свидетельствует в пользу теории английского ученого и вольнодумца Джеймса Лавлока (1919), которая называется гипотезой Геи. Эту ныне широко признанную гипотезу Лавлок предложил еще в 1960-е, но тогда ее проигнорировали, а в 1970-е она стала предметом споров. Гея — это древнегреческая персонификация Земли, буквально — бабушка Земли. Гипотеза Геи предполагает, что имеется тесная связь между живыми и неживыми процессами на Земле. В этой сбалансированной системе обратной связи океаны перемещают тепло по поверхности Зем-

ли, а горы создают погодные системы, в обратную связь включены и Луна, и Солнце. За миллиарды лет в результате тектонической активности и деятельности живых существ парниковый эффект и уровни кислорода получили тонкую настройку. Если бы не парниковый эффект, глобальные температуры были бы на 15 градусов ниже, чем теперь. Сегодня нас беспокоит то, что в результате деятельности человека парниковые температуры чрезмерно повысятся или уже повысились.

Археи и бактерии выработали в себе сложную молекулярную машинерию за относительно короткий период — возможно, всего за несколько сотен миллионов лет, — после того как Земля стала пригодной для жизни. В 1980-е Фред Хойл и шриланкийский астроном Чандра Викрамасинг (род. 1939) заявили, что даже самая простая бактерия не может построить такой сложный аппарат в пределах имеющегося времени. По их словам, с таким же успехом можно было бы одним вихревым движением собрать из утиля на свалке “Боинг-747”. Они подсчитали, что вероятность случайного синтеза аминокислоты составляет 1 к 10^{20} , но поскольку простая бактерия состоит из 2 тыс. белков, то такая вероятность сокращается до 1 к $10^{20 \times 2000}$, или 1 к 10^{40000} . Мы вновь убеждаемся, насколько биологические величины больше астрономических. Количество элементарных частиц в видимой вселенной — “всего” 10^{80} . Но в этой аргументации есть и слабое место. Природа не занимается сборкой сложных вещей с нуля, и даже так называемая простейшая бактерия уже обладает высокой степенью сложности. Все можно объяс-

нить естественным отбором. Если имеется минимальное преимущество, как бы мало оно ни было, такое преимущество имеет повышенную вероятность пройти естественный отбор. Если какой-то белок способствует малейшему ускорению какой-то реакции, он имеет больше шансов пройти отбор, чем другие, не оказывающие влияния на эту реакцию. (Но важно и то, что белок, который столь же незначительно затормозил бы реакцию, тоже был бы дисквалифицирован.) Природа не производит отбор из всех возможных конфигураций, она отбирает из того, что есть. Независимо, насколько прост данный белок, важен факт, что нечто простое существует и функционирует чуть более эффективно, чем все остальное.

Эпизод превращения химической жизни в биологическую остается белым пятном в истории эволюционирующей вселенной, но мало кто из ученых сомневается, что мы вскоре откроем то, каким образом неодушевленные атомы превратились в одушевленные молекулярные структуры. Жизнь — это процесс самоорганизации и саморепликации. Это сложные цепочки химических соединений — полимеров, которые способны к самовоспроизводству. Можно предположить, что за несколько миллионов лет эволюции пребиотические молекулы превратились в самореплицирующие путем естественного отбора. Но как именно это произошло, пока непонятно, хотя лишь немногие биологи сомневаются в том, что это имело место.

Граница между геологической и органической жизнью размыта. Жизнь не только зародилась из неорга-

нической жизни, но процессы, которые мы понимаем под словом “жизнь”, неразрывно связаны с неорганической активностью планеты: океаны, вулканы, горы и жизненные процессы взаимосвязаны.

Ньютон думал, что алхимия даст ему ключ к тому божественному началу, которое вдыхает в прах жизнь и которое можно обнаружить в растениях, животных и в некоторых неорганических формах, таких как кристаллы. Но, когда мы познаем, каким образом жизнь рождается из неживой материи, органический и неорганический миры сольются в один непрерывный спектр. “Жизнь” окажется лишь условным обозначением отличия одушевленного от неодушевленного. Мы сможем проследить свою эволюцию в глубину времен, и не только до таких общих предков, как археи и бактерии, но до первичного водорода, до Большого Взрыва, может быть, даже до мультивселенной или какого-то подобного начального состояния нашей вселенной. Мы познаем, каким образом жизнь вписывается в законы природы. Мы приблизимся к ответу на вопросы: что мы имеем в виду, когда говорим “жизнь”? какие иные формы может принимать жизнь? Мы унесемся воображением, представляя себе то, какой жизнь могла бы стать, какой она могла бы быть.

Три миллиарда лет назад _____

Миллиард лет спустя после возникновения на Земле жизнь была представлена исключительно одноклеточ-

ными археями и бактериями. Устойчивость одноклеточных форм жизни показывает, насколько тесна связь между живыми и неживыми процессами. Археи и бактерии — это лишь простейшие формы жизни, в том смысле, что они состоят из единственной клетки, хотя даже одноклеточная бактерия содержит 10^9 – 10^{11} атомов. Но, будучи древнейшими обитателями Земли, они также претендуют на то, чтобы считаться формой, наиболее продвинувшейся в эволюции.

Бактерии незаменимы для продолжения жизни на планете. Они уравнивают содержание в экосистемах не только кислорода, но и азота, углерода и серы. Известно, что бактерии участвуют в образовании нефти. Если бы не бактерии, не было бы гниения древесины. В породе на глубине 1 тыс. м под землей обнаружены бактерии, которые медленно расщепляют органические материалы без присутствия кислорода и делятся лишь раз в несколько тысяч лет; это наверняка самая неторопливая из всех форм земной жизни. Не исключено, что бактерии принимают участие и в образовании подземных залежей металлов.

С возникновением высших форм бактериальные формы жизни не оказались избыточными — наоборот, они пришли к процветанию и, наверное, лучше приспособлены к выживанию, чем многоклеточные. Именно бактерии переживут грядущие катастрофы. Их находили живыми в серной кислоте и в ядерных отходах. Содержащиеся в некоторых бактериях кристаллы магнетита помогают им ориентироваться в магнитном по-

ле. Есть данные, что некоторые формы жизни способны существовать в условиях, сильно отличающихся от земных, данные о том, что так называемые простейшие формы жизни на самом деле не нуждаются в привилегиях, предоставляемых Землей, которая была бы подобна нашей.

Ясно, какая именно форма жизни наилучшим образом приспособлена к грядущей катастрофе. Чтобы обмануть природу, нам придется использовать свой высокоэволюционировавший и сложный мозг, но, поскольку в нашем случае сложность развивается вне пределов природы, в этом соревновании мы победить не сможем. Бактерии же прошли испытания всеми мерами, которые природа могла против них применить, с самого начала выживая в мире, где уровень насилия был куда более высоким, чем сейчас.

В деятельности планеты, влияющей на баланс углерода, человек поставил себя в условия конкуренции с вулканами. Когда Гее потребуются пересмотреть баланс планеты с учетом того или иного вида активности, этот баланс нарушающей, вероятность того, что она пересмотрит его в пользу человека, мала. Если человеческий род исчезнет, бактериальные формы, скорее всего, останутся и будут продолжать эволюцию так, как позволят новые условия. Даже если человек сможет укрыться от гнева Геи, он не сможет выжить, если исчезнут бактерии. Нам не дано существования, которое не зависело бы от бактерий. Бактерии не только интегрированы в жизнь планеты, они интегрированы в деятельность тела. Организм человека содержит в десять раз больше бактериальных клеток, чем че-

ловческих, особенно на поверхности кожи и в органах пищеварения.

Два миллиарда лет назад

Археи и фотосинтезирующие бактерии — это одноклеточные организмы, не обладающие клеточными ядрами и носящие общее название прокариоты, что буквально означает “ядро”, от греческого слова *karyose*. Первая эукариотическая форма жизни — иными словами, клетка — с клеточным ядром появилась 1,5–2 млрд лет назад. В ядре располагается ДНК. Неизвестно, произошли ли эукариоты от прокариотов, но у них должен иметься общий предок, возможно, отличный и от тех и от других. Современный ДНК-анализ позволяет предположить, что осмысленно определить прокариотов невозможно, это всего лишь коллективное наименование, объединяющее две очень разные потомственные линии архей и бактерий. Мы даже начинаем думать, что, возможно, археи теснее связаны с эукариотами, чем бактерии. Одноклеточные эукариотические формы, как нам представляется, появились тогда, когда были достигнуты достаточно высокие уровни кислорода для поддержания их жизни (примерно 0,4 %).

Зато широко признана теория, которую в 1960-е популяризировала американский биолог Линн Маргулис (1938). Она предполагает, что некоторые бактерии-прокариоты встроились в эукариотические формы и превратились в органеллы. Этим термином обозначаются два типа новых структур: хлоропласты и митохондрии.

Линн Маргулис считает, что в результате симбиоза прокариоты превратились в органеллы других одноклеточных. Эта теория подтверждается тем, что ДНК в органеллах (которая принадлежит пришельцам-прокариотам) совершенно другая, чем ДНК, содержащаяся в клеточном ядре хозяина.

Эукариоты с хлоропластами называются протофитами, а эукариоты с митохондриями — протозоа. Благодаря хлоропласту впоследствии станет возможным фотосинтез растений. Благодаря митохондриям протозоа получают возможность использовать кислород в качестве топлива. Именно этими органеллами в свое время будут различаться растительное и животное царство, когда они появятся.

Вся наличествующая жизнь пока остается одноклеточной и довольствуется океанами.

Один миллиард лет назад _____

Считается, что многоклеточная жизнь возникла около 1,2 млрд лет назад. Тогда массы суши составляли единый континент Родиния¹. Многоклеточные формы жизни, по-видимому, зародились из другого типа симбиоза — свободной кооперации между одноклеточными, которая становилась более и более сложной. Фотосинтезирующие эукариоты стали образовывать колонии, как, например, первые морские водоросли (часть группы красных водорослей). Другим примером простейшей многокле-

1 Родиния вновь разломилась 750 млн лет тому назад.

точной жизни являются губки. Подробный механизм того, как был сделан скачок от одно- к многоклеточным формам жизни, пока отсутствует. Некоторое время спустя — и опять мы не знаем, посредством какого механизма — у эукариотов появилось размножение половым путем: процесс, в ходе которого яйцо (тип клетки) оплодотворяется, после чего начинается деление.

Жизнь могла оставаться на одноклеточном уровне 3 млрд лет, но, как только появился механизм, допускающий существование многоклеточной жизни, последняя появилась почти мгновенно (по меркам геологического времени). Она и должна была появиться, как только для этого возникли условия.

Примерно 550 млн лет назад эволюция, по видимому, вновь ускорилась, и впервые в летописи окаменелостей появляются животные с жесткими телами. Тот факт, что раньше таких окаменелостей не встречалось, вызывал вопросы уже во времена Дарвина. Дарвин полагал, что этот факт составляет единственную существенную угрозу теории эволюции. Он не мог объяснить, почему отсутствуют промежуточные межвидовые формы, но гораздо труднее было объяснить полное отсутствие окаменелых останков, которые были бы старше окаменелостей, обнаруженных в породах возрастом миллиард лет.

До 1980-х годов, пока микробиология не набрала силу, для картирования эволюционного развития в распоряжении ученых имелась лишь очень бедная летопись окаменелостей. Эта летопись вызывала беспокойство: в ней не только отсутствовали окаменелости старше 550 млн лет, но и вообще жизнь выглядела так, как будто она появилась мгновенно, в результате какого-то

взрыва. Данные о так называемом кембрийском взрыве поражают, особенно материалы из Берджесс-Шейл — пласта окаменелостей в канадских Скалистых горах, открытого в 1909 году, хотя важность сделанных там находок стала очевидной только в 1980-е, когда их подвергли повторному обследованию. Всеобщее внимание к находкам Берджесс-Шейл привлек американский биолог Стивен Джей Гулд (1941–2002) в своей книге “Удивительная жизнь” (*Wonderful Life*, 1989). Стало ясно, что бывают долгие периоды геологического времени, когда ничего не меняется, после чего наступают стремительные периоды эволюционного развития.

В 1954 году американский биолог Эрнст Майр (1904–2005) опубликовал наблюдение, что крупные популяции сохраняют стабильность: они не демонстрируют эволюционных изменений, предсказанных, казалось бы, теорией естественного отбора. Выводы о том, что означает подобный эволюционный стасис, были сделаны Гулдом и американским биологом Найлсом Эдмундом (1943) в 1970-е годы. Данные находок из Берджесс-Шейл свидетельствуют, что стабильность составляет норму и сменяется внезапными периодами изменений; Эдмунд и Гулд назвали это явление прерывистым равновесием. Как объяснить, почему популяции сохраняют стабильность в течение миллионов лет, даже несмотря на изменения генетического уровня? Это стало предметом оживленных и даже ожесточенных споров.

Эволюцию можно в упрощенном виде представить как конкуренцию между генами; такая точка зрения стала популярной благодаря книге Ричарда Докинза “Эго-

истичный ген" (1976-й, русский перевод — 1993 год). Эволюция не может не происходить на генетическом уровне, потому что гены — это единственный способ передачи признака от поколения к поколению. Но естественный отбор влияет не только на гены, он действует на всех порядках величин. Элдридж утверждает, что гипотеза Докинза работает, когда эволюцию изучают от поколения к поколению, но она бесполезна "в качестве общей теории эволюции, которая объясняла бы крупномасштабные события в истории жизни". Очень сложно провести соотношение между эволюционными изменениями на уровне организма (или популяции) и изменениями на генетическом уровне. До сих пор не хватает, и об этом продолжают споры, механизма для объяснения взаимодействия между средой, генами и организмами, являющимися реализацией генов.

Не имеет смысла задаваться вопросом, что фундаментальнее — ген или популяция. С тем же успехом можно спрашивать, что более фундаментально — стул или атомы, из которых он состоит. Если мы говорим о стульях, то на атомном уровне стул не имеет смысла, поскольку атомы не имеют свойства "стульности". Большие структуры (стулья, коты) обладают свойствами ("стульность", "котовость"), которые существуют только в макромире и не являются качествами частей, из которых они состоят. Но если мы хотим узнать, из чего сделан стул, тогда в конечном счете мы будем задаваться и вопросами относительно атомных и субатомных частиц.

Кембрийский взрыв только потому представляется нам взрывом, что он проявляет себя в таком масштабе,

который мы, люди, визуально признаем сложным. Мы предоставляем сами себе привилегированную позицию, если думаем, что эти новые формы более сложны, чем предшествующие, сложность которых, возможно, очевидна на молекулярных уровнях. Мы рискуем занять антикоперниканскую позицию, отдавая предпочтение чему-то только потому, что оно имеет те же размеры, что и мы. Изменение, приведшее к возникновению многоклеточной жизни, свидетельствует, казалось бы, о том, что эволюция набирает ускорение. Еще одно доказательство — появление организмов с жесткими телами. Однако на самом ли деле эволюция ускоряется или это только так представляется — вопрос расстановки акцентов. Нам кажется, что она ускоряется, потому что люди обращают больше внимания на многоклеточные организмы или организмы с жесткими телами.

По причине исторической и визуальной значимости кембрийский период стал центром, вокруг которого расставляются геологические датировки. Период длительностью в полмиллиарда лет от кембрийского взрыва и до настоящего времени называется фанерозойским эоном. “Фанерозойский” буквально означает “относящийся к видимой жизни”. Геологическое время, предшествующее кембрийскому взрыву, называется докембрийским эоном, это непропорционально длительный отрезок времени, который начинается с образования земли 4500 млн лет тому назад.

Эоны подразделяются на эры. Последняя эра докембрия называется неопротерозоем и тянется миллиард лет до начала фанерозойского эона 542 млн лет на-

зад. Это также и начало палеозойской эры, как и начало кембрийского периода (еще одна хронологическая единица). До недавнего времени имелись данные о крупных независимых формах жизни, начавшейся при кембрии, но в XX веке появились доказательства того, что крупные организмы жили и в период, предшествовавший кембрию, хотя интерпретация этих находок потребовала времени. Этот период, эдиакарский, получил наименование в 2004 году. Здесь мы вступаем в геологическое время, где периоды имеют имена.

Конец прекембрийского зона

Неопротерозой (1 млрд — 542 млн лет назад) _____

Эдиакарский период (630–542 млн лет назад)

Хотя у нас нет сведений о существовании крупных независимых форм жизни раньше, это не значит, что их действительно не было. Первые известные нам макроскопические организмы — капля вещества, которая называется эдиакарская биота, а своим видом напоминает “наполненные грязью мешки или стеганные матрасы”. Жизнь эдиакарского периода зародилась на мелководье, в плавнях, где организмы, у которых тело имело большую площадь, могли поглощать максимум кислорода. Среди них были первые животные, научившиеся зарываться в илистый грунт, — умение, приобретенное благодаря эволюции целома, т. е. мешка, в котором содержались органы. Целом не только позволял этим древним животным рыть туннели. Впоследствии благодаря целому более крупные организмы,

имеющие скелет, смогут наклонять и поворачивать корпус. На суше сложной жизни нет. Эдиакарская биота не проявляет никаких связей с позднейшими формами; это, скорее всего, означает, что эдиакарская биота и все прочие организмы уже отделены друг от друга многочисленными ответвлениями линий потомков и должны иметь общих предков в более отдаленном прошлом, но от этих предков или не осталось следов в летописи окаменелостей (возможно, потому что они были слишком мягкотельными и не fossilizировались), или их окаменелые останки до сих пор не обнаружены.

Возможно, в это время появились существа, похожие на медуз. (До недавнего времени считалось, что они появились позже.) Животные, родственные медузам, относятся к типу стрекающих (в принятой классификации тип — это подразделение царства). Медузы отличаются симметрией в строении тела, которая, как мы считаем, указывает на их родство с последующими, более сложными жизненными формами.

У медузы нет органов дыхания, кровообращения и выделения, не имеет она и нервной системы или четко выраженной головы, если не считать того места, где у нее расположен рот. Тем не менее медузы имеют дискретные органы. У них нет мозга, зато есть несколько глаз. Они очень дальнозорки, но слабо различают день и ночь или верх и низ.

Можно полагать, что с самых древних времен глаз и мозг развивались совместно. Имеющиеся у нас два вида зрения — глазами (при непосредственном дей-

ствии света) и мозгом (при интерпретации и понимании света) — связаны между собой. В клетках многих организмов, в том числе одноклеточных, имеются скопления молекул, состоящих из светочувствительного белка родопсина. Раз возникнув, этот белок впоследствии обнаруживается в глазах всех существ всех времен. Хотя мы еще не совсем понимаем, каким образом родопсин у прокариотов связан с родопсином у развитых эукариотов, вероятно, они связаны между собой и в дальнейшем это семейство белков послужит еще одним доказательством эволюции от общих форм.

Около 600 млн лет назад земля снова превратилась в единый суперконтинент Паннотию. Существование Паннотии было недолгим, она вновь распалась спустя всего 60 млн лет.

Начало фанерозойского зона

Палеозойская эра (542–251 млн лет назад) _____

Кембрийский период (542–488 млн лет назад)

Датировка кембрийского периода менялась даже в XXI веке. Согласно авторитетным источникам, кембрий начался 580 млн лет назад, но в 2002 году Международная подкомиссия по глобальной стратиграфии — организация, которая занимается определением подобных параметров, — установила, что кембрий начался примерно 545 млн лет назад, а в 2004 году эту дату изменили на 542 млн лет назад. Породы этого периода были впервые обнаружены в Уэльсе. Имя

“кембрий” образовано от названия древнего валлийского племени.

В кембрийский период появляются первые животные, имеющие раковину. Они называются членистоногими и отличаются жестким экзоскелетом и сегментированным телом. Все ныне живущие животные унаследовали строение тела от животных, возникших в кембрийский период. Трилобиты — странные существа, похожие на очень крупных мокриц, — были самыми первыми членистоногими. Они жили в течение 200 млн лет и, наверное, являются вторыми по знаменитости среди окаменелостей после динозавров. Членистоногие составляют самый крупный тип ныне живущих животных, включая насекомых, пауков и ракообразных (которые все появились значительно позже). В кембрийский период появляется много типов, к настоящему времени вымерших. Возможно, в это время какие-то животные делают первые вылазки на сушу, но в основном жизнь протекает в океанах. Нет и наземных растений. Поверхность земли представляет собой голые пустыни и океаны.

Во время кембрийского периода массы суши образуют два континента, Гондвану и Лаурентию.

В конце кембрия наступил период вымирания, в результате чего виды или исчезли полностью, или резко сократились в численности.

Границы геологических отрезков времени отмечаются периодами массивного вымирания организмов, что отражается в заметных изменениях археологической летописи. О причинах можно строить до-

гадки, но, скорее всего, вымирание стало результатом возрастания вулканической активности и последующих изменений парникового эффекта. Только катаклизм такого масштаба может нарушить устойчивую стабильность популяций. Менее масштабные изменения в экологической системе не способны двинуть эволюцию вперед. Пожары и штормы приводят лишь к временным сбоям. Экосистемы способны воссоздаваться, используя информацию, содержащуюся в соседних популяциях, эволюционная история которых лишь незначительно отличается от популяции, подвергшейся разрушению. Популяция легко приспосабливается к медленному наступлению ледника, если находит новые территории для питания и размножения и тем самым сохраняет статус кво. Стремительная эволюция новых форм происходит в результате сильнейших сбоев, охватывающих планету: это землетрясения, падения метеоритов, изменения парникового эффекта. Именно общей стабильностью на уровне популяции объясняется, почему эволюция как бы ускоряется, когда планета переживает катаклизмы.

Ордовикский период (488–444 млн лет назад)

Вначале в геологии преобладали британские геологи. Так что этот период, как и следующий, получил название от наименования кельтского племени, жившего на территории Британии. Имеются окаменелости печеночника — растения, представляющего собой нечто среднее между мхом и водорослью, — возрастом 475 млн лет. Появляются первые примитивные рыбы — первые позвоночные, т. е. животные, имеющие спин-

ной хребет. Между ордовикским и силлурийским периодами происходит первое из пяти так называемых крупных вымираний, во время которого исчезает половина всей фауны. Относительно причин вымирания согласия нет, возможно, оно совпало с наступлением особенно сурового ледникового периода.

Силлурийский период (444–416 млн лет назад)

Примерно 440 млн лет назад первые животные, способные дышать воздухом, начали осваивать сушу. Это были крохотные существа, похожие на клещей. Одновременно осваивать сушу начали и первые настоящие растения, хотя, согласно некоторым спорным версиям, наземные растения уже существовали гораздо раньше. Первые наземные животные начали перерабатывать первую растительную массу, так образовался первый компост.

Окаменелости крупных наземных растений возрастом 425 млн лет были обнаружены в Ирландии.

В это время основные массы суши планеты располагались в Южном полушарии. Нынешняя Сахара в то время была Южным полюсом.

Девонский период (416–359 млн лет назад)

Около 400 млн лет назад уже существуют папоротники, тысячножки, пауки и первобытные акулы. Есть следы первых жизненных форм в пресной воде. Распространяются челюстные рыбы со скелетом. Такой рыбой является целакант (латимерия). Он появляется 390 млн лет назад и существует до сегодняшнего дня,

внешне не меняясь. Какое-то время думали, что он вымер более 60 млн лет тому назад, пока в 1938 году не выловили экземпляр у побережья Южной Африки. Впервые появляются семена. Биомасса перемещается из океанов на поверхность суши. Почва кишит клещами и тысяченожками, ими питаются плотоядные, и так впервые животные начинают поедать друг друга. Из рыб, подобных целаканту, выделяется класс земноводных. К концу этого периода среди первых наземных поозвоночных уже имеются хвостатые земноводные. В конце девонского периода происходит второе из пяти крупных вымираний. В последнее время распространено мнение, что эти вымирания имели разные причины и как бы пульсировали в течение 3 млн лет. К концу девонского периода треть всех биологических семейств вымерла.

Каменноугольный период (359–299 млн лет назад)

Содержание кислорода повышалось и достигло пика в 35 %. Появляются массивные древесные папоротники, не связанные родственной связью с современными деревьями. Со временем их останки окаменеют и превратятся в уголь. Появляются двупарноногие (тысяченожки) величиной до 2 м. Самое древнее физическое свидетельство животной жизни, если не считать окаменелых костей, — это окаменевший след гигантской тысяченожки, оставленный 350 млн лет назад и обнаруженный в Шотландии. Появляются первые пресмыкающиеся, которые эволюционируют от предка, общего для них и пресноводных. Членистоногие начинают выходить из моря на сушу.

Пермский период (299–251 млн лет назад)

У некоторых насекомых (членистоногих) вырабатывается способность летать. Стрекозы одними из первых завоевывают новую стихию. В конце пермского периода происходит самое крупное вымирание, поразившее до 96 % всех видов. Земля в это время представляет собой единую массу — Пангею — и в основном необитаема. Великое вымирание продолжается 60 млн лет. По предварительным сведениям, его причиной послужило падение метеорита.

Мезозойская эра (251–66 млн лет назад) _____

Триасовый период (251–200 млн лет назад)

Появляются первые — хвойные — деревья. Некоторые представители отряда ящериц превращаются в крокодилов, другие — в динозавров. Уже появились пчелы. В конце периода наступает еще одно вымирание.

Юрский период (200–146 млн лет назад)

Примерно 200 млн лет назад Пангея начинает раскалываться. Юрский период отличается преобладанием земноводных, особенно динозавров. Появляются археоптерикс и летающие земноводные. Примерно 200 млн лет назад появляются черепахи и грызуны. Существуют мухи, термиты, крабы и омары.

Меловой период (146–66 млн лет назад)

Одни из первых млекопитающих — это сумчатые. Первобытные кенгуру существуют уже 136 млн лет назад.

Когда-то считалось, что млекопитающие появились только после исчезновения динозавров, но на самом деле они совпали с динозаврами по времени по меньшей мере на 65 млн лет, хотя и не процветали. В этот период уже существуют все крупные подразделения насекомых. Цветы появляются поздно, около 75 млн лет назад. Летающие динозавры эволюционируют и превращаются в современных птиц.

Последнее крупное вымирание — если не считать вымирания, которое происходит в наши дни, — наступило 65 млн лет назад, когда исчезли динозавры. Хотя относительно причин большинства крупных вымираний имеются лишь гипотезы, в отношении причин этого вымирания имеется единодушное согласие. В 1978 году американский геолог Уолтер Альварес (1940) и его отец, физик Луис Альварес (1911–1988), выдвинули гипотезу о том, что приблизительно в это время Земля столкнулась с кометой диаметром 10 км. В мае 1984 года нашлись подтверждения того, что 64,4 млн лет тому назад комета диаметром 30 км столкнулась с Землей в районе полуострова Юкатан; это было самое крупное столкновение в Солнечной системе после окончания периода тяжелой поздней бомбардировки. Некоторые до сих пор поддерживают теорию, что динозавров погубило извержение вулкана. Глобальная катастрофа прерывает интервалы эволюционного стазиса и освобождает нишу для быстрой эволюции. Исчезновение динозавров, а с ними и половины других животных видов привело к расцвету млекопитающих, хотя большинство их видов, появившихся в начале этого периода, впоследствии вымерло.

Кайнозойская эра

(66 млн лет назад до наших дней) _____

Период палеоцена (66–23 млн лет назад)

Не совсем ясно, когда появились первые млекопитающие с плацентой, но данные ископаемых говорят о том, что в раннем палеоцене они уже существовали. Судя по данным ДНК, где-то 85–100 млн лет назад жил общий предок всех плацентарных. Поскольку ископаемых данных на этот счет нет, гипотеза остается спорной. Первые приматы появляются также в раннем палеоцене. И вновь, судя по молекулярным часам ДНК, значительно раньше, возможно в середине мелового периода, на Земле обитал их общий предок.

55 млн лет назад появляются зайцы и кролики. 50 млн лет назад начинают расти Гималаи. Поверхность Земли начинает напоминать современную картину, только Австралазия образует единую массу с Антарктикой. Появляются летучие мыши, мыши, белки и водные птицы (включая цапель и аистов), а также землеройки, современные рыбы и все основные растения. Появляются травы.

Более 30 млн лет назад постоянным атрибутом жизни на Земле становятся ледниковые периоды. До этого времени они тоже наступали, но резко и нерегулярно.

Ледниковый период характеризуется наличием льда на полюсах планеты, так что, технически говоря, мы и сейчас живем в ледниковую эпоху.

26 млн лет назад в Северной Америке уже простирались прерии. С появлением лугов появились и животные, которые на них пасутся, например лошади,

а также животные, для которых луга становятся ареалом обитания, например примитивные обезьяны. Существуют свиньи, олени, верблюды и слоны.

Период неогена (23 млн лет назад до наших дней)

Эпоха миоцена (23–5,3 млн лет назад)

Периоды подразделяются на эпохи. Чем ближе мы подходим к своему времени, тем более подробно можем классифицировать геологическое время. В эту эпоху представлены все современные семейства птичьих. Млекопитающие превращаются в животных, в которых легко узнать современные биологические роды: например, среди китовых это кашалот. Появляются бурые водоросли, или ламинарии, что дает возможность эволюционировать новым видам водных животных, например выдре.

В эту эпоху существует более 100 видов человекообразных обезьян. Судя по молекулярным данным, шимпанзе, гориллы и гоминиды начали отделяться друг от друга 12–15 млн лет назад.

За 1,5 млн лет неоднократно пересыхает Средиземное море, всего около 40 раз, началось это примерно 6 млн лет назад. Знать о таких деталях в более отдаленном прошлом для нас невозможно, поэтому по мере приближения к нашему собственному времени история эволюции кажется нам более сложной.

Эпоха плиоцена (5,3–1,8 млн лет назад)

В начале плиоцена по просторам саванн перемещается общий предок человека и шимпанзе. 3–5 млн лет назад у гоминидов появляется прямохождение.

Примерно 2 млн лет назад начинается современный ледниковый период. Он продолжается 60–100 тыс. лет, и ледник отступает в течение 10 тыс. лет. (Замечу еще раз, что в более глубоком прошлом мы не можем различить такого рода подробности.) В разгар ледникового периода льдом покрыта территория, в три раза большая, чем в наши дни. Уровень моря опускается до 130 м. В это время возникновение ледниковых периодов можно объяснить влиянием Гималаев, которые образуют барьер для атмосферной циркуляции. Другая гипотеза связывает ледниковые периоды с небольшими изменениями орбиты Земли и земной оси и отрицает воздействие, связанное с изменением солнечных температур и парникового эффекта, которые играли роль в далеком прошлом.

Эпоха плейстоцена (1,8 млн — 11 800 лет назад)

Огромные массивы льда то надвигаются, то отступают по всей Северной Америке и Евразии вплоть до 40-й параллели, где сегодня расположены Денвер и Мадрид. Последние 900 тыс. лет наблюдаются резкие скачки температуры. Климат холоднее, чем теперь, намного холоднее. Луга отступают, и на их месте образуются холодные сухие пустыни. Самый недавний ледниковый период был недолог и начался примерно 70 тыс. лет назад, еще до того, как успел полностью отступить ледник предшествующего периода. Он достиг своего максимума 21 тыс. лет назад.

Эпоха голоцена (11 800 лет назад — до наших дней)

В начале этой эпохи становится теплее. Человек впервые начинает заниматься возделыванием растений и разведением животных.

Сейчас мы переживаем самый конец последнего ледникового периода, чем отчасти объясняется, почему тают северные полярные льды, льды в Гренландии и альпийские ледники. Но нет сомнения, что таяние льдов происходит значительно быстрее из-за деятельности человека.

На сегодняшний день науке известно 1,8 млн видов. Среди микроорганизмов имеются миллионы видов, которые еще не получили наименования. Но виды, которые существуют в наше время, составляют невообразимо малую долю всего того, что когда-либо жило на Земле.

В результате случайности из необозримых пространств “глубокого времени” и среди множества жизненных форм появился человек. В этом смысле человек определенно не является главным действующим лицом в истории о разворачивающейся сложности вселенной. Означает ли это, что в разнообразном мире природы мы сбились с пути? Неужели у нас в этом мире нет ни адреса, ни привилегий? Это не вполне так — или по крайней мере пока еще не вполне так. Насколько нам известно, человек — это первый биологический вид, наделенный способностью описывать тот мир, часть которого он составляет. И этот факт дает нам, по-видимому, значительные преимущества.

Африка, здравствуй и прощай _____

С первого взгляда я понял, что в моих руках не обычный череп человекообразного существа. Здесь, в известняковом песке, лежаломестилище для мозга, в три раза превосходящего мозг бабуина и значительно крупнее мозга взрослого шимпанзе¹.

РАЙМОНД ДАРТ, когда в 1925 году впервые обнаружил череп существа, впоследствии названного *Australopithecus africanus*

Есть ли причины полагать, что для понимания эволюционирующей сложности нужно сосредоточиться на исследовании человека? Почему не на других формах жизни — например, на бактериях? И вообще, почему именно на формах жизни? Инстинктивно мы понимаем, что вселенная эволюционирует, порождая все более и более сложные структуры, но это трудно доказать. Как заметил физик Эрик Чейсон, “самая примитивная водоросль... имеет большую степень сложности, чем самая причудливая туманность Млечного пути”. Но, даже если все верно, это трудно объяснить. Чейсон предложил собственную иерархию

¹ Раймонд Дарт, *Adventures with the Link* (1959).

степеней сложности, в основе которой лежит отношение потребляемой системой энергии к ее (системе) размеру — под системой подразумевается и водоросль, и галактика. Как и следовало ожидать, водоросль поглощает и испускает больше энергии (относительно своего размера), чем галактика. В таком случае действительно можно думать, что мозг представляет собой самую сложную структуру во вселенной, по крайней мере насколько нам известно. Есть основания даже полагать, что мозг человека — сеть из сотен миллиардов нейронов, где каждый нейрон соединен с 10 тыс. других нейронов — это самый или почти самый большой мозг среди живых организмов, если измерять его размер относительно размеров тела, однако по тем же соображениям пальму первенства все-таки следовало бы отдать землеройке.

Но ведь и придумал эту историю сам человек. Чтобы описать окружающий мир, человек должен думать, мысль производится сознанием, а сознание мы, материалисты, считаем эволюционной функцией головного мозга. Если мозг является неотъемлемой частью истории разворачивающейся сложности, тогда мы с полным основанием можем вести историю по направлению увеличения головного мозга у наших человекообразных предков. Но мы, коперниканцы, хотим верить, что и другие рассказчики тоже рассказывают эту же самую историю.

Все, что осталось от наших предков, — это скромный набор окаменелых костей. На самом деле имеются ты-

сячи таких образчиков, хотя значительную часть из них составляют фрагменты костей: целый скелет или череп крайне редки. И, базируясь лишь на нескольких сотнях из них, палеоантропологи¹ выстраивают человеческое происхождение. Все именно так, но мои слова можно воспринимать и иронически, поскольку в отсутствие серьезного физического материала это относительно молодое направление науки движется вперед посредством воображения, находчивости, будучи приправлено еще и немалой дозой спекуляций².

1 От греческого *palaios* — “старый” и *anthropos* — “человек”.

2 Хранители священных останков, если такая профессия вообще существует, вероятно, сталкиваются с той же проблемой: как отличить подлинное от мнимого в материале, в основном состоящем из костных останков. В римско-католической традиции реликвии подразделяются на три категории. К первой относятся останки тела святого или предметы, непосредственно связанные с жизнью Христа (например, ясли или крест). Жан Кальвин как-то заметил, что, если собрать все реликвии, считающиеся фрагментами Святого Креста, материала хватит на то, чтобы построить целый корабль. Однако в 1870 году провели исследование, в котором установили, что общий вес всех таких реликвий не составляет и 1,7 кг. Реликвиями второй категории считаются предметы, с которыми святой или святая соприкасались в земной жизни (например, предмет одежды). Третью категорию составляют предметы, которые соприкасались с реликвиями первой категории, например покров, в который было завернуто тело усопшего святого. В соборе Св. Петра в Риме хранятся четыре величайшие реликвии, хотя Церковь не претендует на их уникальность и их же можно встретить в других храмах. Это фрагмент Креста Господня, копье Лонгина, пронзившее тело Христа на кресте, голова апостола Андрея и плат св. Вероники с нерукотворным образом Христа. Всего в мире насчитывается три головы Иоанна-Крестителя, два тела папы Сильвестра, 28 пальцев руки св. Доминика. В результате в таксономии этой очень специальной области возникает любопытная проблема. Как-то раз я побывал в музее, где занимают атрибуцией священных останков и где меня больше всего поразили хранящиеся в самых дальних углах галереи наполненные костями банки с этикетками “Различные святые”, как будто ученые отчаялись найти более определенную атрибуцию.

Палеоантропологи особенно заинтересованы даже не сколько в окаменелых черепах или их фрагментах, сколько в тазовых костях. Потому что история, которую они сочиняют, — это история о растущем мозге и прямохождении.

Данные ископаемых окаменелостей полны провалов, что оказалось еще более очевидным в наше время, когда внимание науки сосредоточилось на тех нескольких миллионах лет, которые отделяют человека от первых приматов. За последние десятилетия данные исследований окаменелостей дополнились результатами ДНК-анализов, что позволило заполнить некоторые пробелы. Материал для анализа ДНК обычно невозможно добыть из окаменелостей¹, поэтому сейчас больше известно о наших родственных связях с другими существующими видами², чем о человекоподобных видах, дошедших до нас в виде окаменелостей или не дошедших вовсе. Но ситуация меняется. В 2006 году на северо-востоке Испании был обнаружен костный мозг, сохранившийся в окаменелых костях лягушек и саламандр, возраст которого составляет около 10 млн лет. Кости не всегда каменеют полностью, в крайне редких случаях (как в Испании) мягкие ткани могут сохра-

1 Сюжет романа Крайтона "Парк юрского периода" (1990) строится на том, что ДНК динозавра находят не в окаменелостях, а в крови, которую высосал юрский москит, найденный в капле янтаря.

2 Это родство само по себе может быть использовано для того, чтобы проследить эволюцию человека. Люди эволюционируют совместно с микробами внутри них. Например, мы можем обнаружить следы африканских предков человека, изучая находящиеся во рту бактерий, которые называются стрептококками (*New Scientist*, 18 августа 2007 года).

ниться внутри частично окаменевшей кости. Вероятно, подобные находки могут обнаружиться и в уже имеющихся собраниях окаменелостей, хотя, возможно, хранители коллекций не захотят расколотить свои редкости в слабой надежде сделать еще более важное открытие.

Опираясь на данные разных методик, наша история получает продолжение: примерно 65–100 млн лет назад похожий на лемура примат эволюционировал и превратился в насекомоядного предка человека. Примерно 25 млн лет назад этот предок-лемур стал развиваться и превратился в обезьяноподобного примата: так появились обезьяны Старого и Нового Света и человекообразные обезьяны. Человек в конечном итоге произошел от ветви человекообразных обезьян.

19 млн лет назад человекоподобные обезьяны снова начали развиваться, и возникли классы малых и крупных человекообразных. Например, гиббон — один из малых. Все малые и крупные человекообразные обезьяны, а также их вымершие родичи называются гоминоидами. Гоминоиды — одновременно они существовали в десятках разновидностей — развивались далее, образовав одну из ветвей — группу африканских и азиатских крупных человекообразных, совокупно называемых гоминидами. Орангутан — единственный на сегодня представитель азиатских человекообразных обезьян. Молекулярный анализ позволяет предположить, что орангутаны развились, отделившись от общего африканского предка примерно

12–16 млн лет назад. Анализ окаменелостей ничем не может помочь, поскольку примерно 16 млн лет назад летопись ископаемых останков в Африке прерывается, а затем они вновь обнаруживаются и датируются 5–6 млн лет назад. Ископаемые останки крупных обезьян, соответствующие этому промежутку, обнаруживаются в Европе и Азии. Мы предполагаем, что крупные человекообразные продолжали эволюционировать и в Африке, но, может быть, окаменению останков препятствовал климат тропических лесов. Согласно другой, гораздо менее популярной гипотезе, крупные человекообразные мигрировали из Африки, их дальнейшая эволюция происходила в Европе и Азии, после чего они вернулись в Африку, где их история возобновилась. Как бы то ни было, все останки гоминидов, соответствующие последним нескольким миллионам лет, обнаружены в Африке, так что они и происходят из Африки, как предполагал Дарвин.

Африканские крупные человекообразные дали в эволюционном развитии лишь три современных вида: шимпанзе¹, гориллы и люди. Эту группу (включая многочисленных вымерших родственников) называют гомининами. Сохранилось два вида шимпанзе: *Pan troglodytes*, то есть обычный шимпанзе, и *Pan paniscus*, известный как шимпанзе бонобо (или карликовый шимпанзе). К сожалению, никаких следов шимпанзе среди окаменелостей не зафиксировано.

1 Шимпанзе на бытовом уровне часто называют мартышками, что неверно. Строго говоря, мартышки даже не относятся к обезьянам.

Данные молекулярной биологии свидетельствуют, что человек и горилла эволюционно отделились друг от друга 6–8 млн лет назад, а человек и шимпанзе — предположительно 5 млн лет назад¹. Множество наших вымерших прямоходящих предков, отделившихся от предков гориллы и шимпанзе, объединено в группу гоминини.

Человек — единственный выживший вид рода *Homo*. Он также является единственным представителем вида *Homo sapiens* и единственным членом подвида *Homo sapiens sapiens*. Некоторые относят неандертальца к подвиду *Homo sapiens neanderthalensis*, но, может быть, еще убедительнее позиция тех, кто предлагает выделять его в отдельный вид *Homo neanderthalensis*.

Чтобы разобраться с этими матрешками, палеоантрополог должен как-то решить, похожа ли окаменелость на кость обезьяны (шимпанзе или гориллы) или на кость гоминида (т. е. на человеческую). Иногда такие решения принимаются словно произвольно. Сходство между человеком и человекообразной обезьяной всегда бросается в глаза, где бы они не оказывались рядом друг с другом. Когда в 1839 году королева Виктория посетила лондонский зоопарк и увидела орангутана Дженни, она записала в дневнике, что Дженни оказалась “страшным образом, болезненно и неприятно похожей на человека”. Наверное, не меньше была изумлена и Дженни. Виктория пишет, что ее охватил страх, несмотря на принятое до Дарвина представление, что виды сотворе-

¹ Нет общей точки зрения на то, когда разделились шимпанзе и люди. Это вполне могло случиться около 8 млн лет назад.

ны по отдельности друг от друга и границы между ними непоколебимы. Само существование королевы зависело от веры в превосходство породы, и присутствие такого отвратительного подобия беспокоило тем более. Дарвин также посетил Дженни и вынес из этого совсем иные впечатления. Не дрогнув перед выбором антропоморфных эпитетов, он записал в дневнике, что Дженни радуется, как шаловливое дитя. "В своей гордыне человек считает себя великим творением... Более смиренно и, полагаю, справедливо считать, что человек произошел из животных". Так он, еще за 20 лет до публикации своей теории эволюции, отозвался на панику, вызванную присутствием дальнего родственника человека.

Старейших предков гомининов с точностью указать нельзя, даже имея нескольких кандидатов. Ископаемые останки *Sahelanthropus tchadensis* датируются 7 млн лет назад, и некоторые ученые считают его старейшим известным предком рода *Homo*, но это утверждение базируется на допущении, что шимпанзе и люди разошлись более 7 млн лет назад, а не около 5 млн, как показывает молекулярный анализ. Согласно последним данным, *Sahelanthropus tchadensis* относится к ветви шимпанзе, а не к человеческой. Аналогичным образом окаменелости *Ardipithecus ramidus kadabba*, относимые к интервалу 5,8–5,2 млн лет назад, вероятно, тоже следует отнести к ветви шимпанзе. Также под вопросом находится *Orrorin tugenensis*, еще один представитель гомининов, хотя и он, вероятно, относится к ветви шимпанзе или горилл. *Orrorin tugenensis* жил 6,1–5,8 млн лет назад.

Большинство ученых сходится в том, что человек принадлежит ветви, произошедшей от рода гомининов *Australopithecus*. Австралопитеки впервые появились около 4 миллионов лет назад.

Но было два вида австралопитеков: относительно тонкие (антропологи используют слово “стройный”), по всей видимости близкие к нашим непосредственным предкам, и более крупные, парантропы (входящие в род *Paranthropus*), с большими коренными зубами, предназначенными для разжевывания растений. Парантропы отделились от стройных австралопитеков около 2,7 млн лет назад и вымерли немногим больше миллиона лет назад, когда уже возникли первые люди.

Род *Australopithecus afarensis* существовал 3–4 млн лет назад и, возможно, эволюционировал, породив иные виды гомининов. самого знаменитого представителя *Australopithecus afarensis* зовут Люси или AL288-1. Ее обнаружили в 1974 году в Эфиопии и по окаменевшим костям определили возраст — 3,18 млн лет. Объем ее мозга равнялся 380–430 мл, т. е. четверти или трети от объема современного человеческого мозга.

Australopithecus africanus имел рост около 130 см и, судя по форме тазовых костей и зубов, напоминал скорее человека, чем обезьяну, причем мозг его был размером с мозг шимпанзе (485 мл) — больше, чем у *Australopithecus afarensis*. Происхождение *Australopithecus africanus* неизвестно, как неизвестна и его дальнейшая эволюция — мы знаем лишь, что этот вид уже существовал в то время, как постепенно исчезал *afarensis*, и сам исчез 2,5 млн лет тому назад.

1,5–2,5 млн лет назад в Африке сосуществовало как минимум пять видов *Australopithecus*, но, насколько мы можем судить, ни один из них не породил род *Homo*. Считается, что человек напрямую не произошел ни от одного из этих вымерших гоминини. Все они были переходными формами, и указывать на кого-то одного было бы спекуляцией: в летописи окаменелостей слишком много пробелов. Максимум, на что мы можем рассчитывать, — это установление дальнего родства, а не прямого происхождения. Однако мы знаем, что примерно 2 млн лет назад какой-то вид древних гоминини, о существовании которого мы больше не узнаем ничего и никогда, эволюционировал и превратился в род, который мы называем *Homo*.

Самый ранний из них — поименованный в 1964 году кенийским археологом Луисом Лики (1903–1972) *Homo habilis* с объемом головного мозга 590–690 мл, несколько больше мозга австралопитека. Считается, что он возник около 2,2 млн лет назад. Рядом с останками *Homo habilis* были найдены каменные орудия (хотя использование каменных орудий не является уникальной характеристикой рода *Homo* и зафиксировано как минимум на 0,3 млн лет раньше появления самого *Homo habilis*). В остальном из всех древних видов *Homo* он наименее похож на человека, и многие ученые, например кенийский палеонтолог Ричард Лики (р. 1944), исключают *Homo habilis* из рода *Homo* (по причине его маленького роста, непропорционально длинных рук и других не свойственных человеку признаков). Они даже именуют его *Australopithecus habilis*.

Дополнительную путаницу вносит *Homo rudolfensis*, ранний вид рода *Homo* (хотя эта атрибуция и чрезвычайно спорна), от которого и произошел *Homo habilis*. *Homo rudolfensis* получил название на основе анализа единственного черепа и поначалу считался образцом *Homo habilis*. Его относительно большой объем мозга, 752 мл, был пересчитан антропологом Тимоти Бромиджем в 2007 году и составил всего 256 мл.

Бедность палеоантропологической летописи демонстрирует, сколь хрупки построения, которые можно было бы считать научными доказательствами. Это не “плохая” наука, а область знания, которая делает что может, исходя из незначительного объема объективных данных. Судя по апокрифам, кости раскладывались во всевозможных комбинациях, лишь бы найти опору той или иной теории. Палеоантрополог Джон Ридер невесело шутил на эту тему: “Удивительно, как часто первая интерпретация новой находки подтверждает предрассудки своего первооткрывателя”. Примерно то же говорил Ницше: любая теория есть не что иное, как частная исповедь. До самого недавнего времени останки и орудия были единственным ключом для датировки эволюционного прошлого, но сейчас с помощью ДНК-анализа научные описания археологического прошлого начинают приобретать большую объективность.

По поводу первого представителя вида *Homo* ученые сходятся на кандидатуре *Homo ergaster*, который появился около 1,9 млн лет назад. Его мозг имел объем около 1000 мл, в два раза больше, чем

у *Australopithecus africanus*, и внешне парень тоже походил на нас. Но это не значит, что *Homo ergaster* — наш прямой предок, нам лишь известно, что за миллион лет или даже быстрее объем мозга у некоторых гоминини увеличился по меньшей мере вдвое. *Homo ergaster* исчез 1,4 млн лет назад, возможно перейдя в вид *Homo erectus*.

Скелет “турканского мальчика”, обнаруженный на озере Туркана в Кении в 1984 году, датируется 1,6 млн лет назад и часто относится к *Homo ergaster*, а иногда — к *Homo erectus*. Это скелет мальчика 11–12 лет ростом 160 см. Если бы он жил дольше, он, возможно, вырос бы до 185 см.

Homo erectus существовал одновременно с *Homo ergaster* и пережил его, он доминировал на Земле в течение миллиона лет. А около 1,5 млн лет назад *Homo erectus* стал первым гоминидом, который мигрировал из Африки и расселился по свету. Знаменитые ископаемые останки *Homo erectus* — “яванский человек”, обнаруженный в Индонезии, и “пекинский человек”, найденный в Китае. Однако с 1990 года и эту теорию тоже ставят под сомнение.

Более древние находки останков гоминидов начинают попадаться на пространствах Евразии, в Индонезии, Грузии или, например, в Испании. Некоторые ископаемые датируются более давними временами, чем *Homo erectus*. Если эту часть африканской версии считать убедительной, то получается, что африканские виды *Homo* покинули прародину раньше, чем мы думали. Иначе требуется другая версия. Для многих ученых Евразия заменила Африку, теперь она счита-

ется тем очагом, в котором расцвела ранняя эволюция человека.

Как бы то ни было, наша история возвращает нас на 350 тыс. лет назад в Африку, где появляется новый вид *Homo* — *Homo heidelbergensis*. Спустя некоторое время часть популяции мигрирует и эволюционирует, превращаясь в *Homo neanderthalensis*, или неандертальцев. Некоторые называют их *Homo sapiens neanderthalensis*¹, но неандертальцы генетически сильно отличаются от людей (это было установлено в 1997 году), так что они не относятся к одному виду и не являются прямыми предшественниками человека².

150 тыс. — 200 тыс. лет назад история вновь возвращается в Африку, где популяция какого-то неизвестного вида *Homo* эволюционирует в *Homo sapiens*. Считается, что возраст самых древних останков *Homo sapiens* насчитывает 130 тыс. — 195 тыс. лет: эти останки носят имя Омо по имени реки в Эфиопии, где их обнаружили. Имеются единичные находки человеческих останков на Ближнем Востоке, датируемые сроком от 100 тыс. лет, но эта популяция то ли вымерла, то ли вернулась в Африку. Следующие по древности останки современного человека обнаружены на озере Мунго в Австралии и насчитывают 42 тыс. лет.

1 Современный человек имеет точное наименование *Homo sapiens sapiens* именно по этой причине, но нам доподлинно не известно, имеются ли у данного вида другие подвиды.

2 Есть мнение, что *Homo erectus*, неандерталец и *Homo sapiens* сложным образом скрещивались между собой, так что переход от старых анатомических типов к новым был нечетким.

Палеоантропологи утверждают, что человечество зародилось в Африке, и действительно, все самые древние образчики останков современного человека обнаружены именно там. Молекулярная биология подтверждает эту версию. В каждой своей клетке мы несем две разновидности ДНК: одна содержится в ядре, другая, митохондриальная, — вне ядра. Принципиально важно, что митохондриальная ДНК не подвержена изменениям, кроме межпоколенных генетических мутаций. В отличие от ядерной ДНК, которая делится пополам при передаче следующему поколению, митохондриальная ДНК почти полностью наследуется по материнской линии. Если рассчитать мутационный дрейф по митохондриальным ДНК у населения всего мира, то можно, подсчитав, в каких географических регионах унаследованы те или иные мутации, разделить население земного шара согласно материнскому клану. Брат и сестра с общей матерью принадлежат клану этой матери, следовательно, можно соединить между собой всех двоюродных родственников одной бабушки, всех потомков одной прабабушки и так далее. 6,5 млрд человек планеты Земля можно разбить на 33 материнских клана, из которых 13 находятся в Африке. Но и эти кланы, в свою очередь, таким же образом восходят к одному клану и к одной-единственной матери, которая жила в Африке 150 тыс. лет назад.

Дрейф ядерной ДНК тоже добавляет кое-что к нашей истории. Хотя люди — близкие родственники горилл и шимпанзе, сопоставление этих гоминидов по дрейфу ДНК обнаруживает резкие различия. Как само-

стоятельные популяции гориллы и шимпанзе не отличаются географическим разнообразием, зато имеют высокое генетическое разнообразие внутри популяции. В отличие от них современные люди, распространившись по планете, состоят в тесном генетическом родстве. Из этого можно, по-видимому, сделать только один вывод: наши предки вымерли все, кроме одной группы, от которой и произошли ныне живущие люди. Эта группа составляла не более нескольких сотен человек и проживала в одном и том же регионе 50 тыс. лет назад, а возможно, и ранее. Полагают, что эта группа жила в Восточной Африке, единовременно ее покинула и мигрировала к северо-востоку, перейдя на другой берег Красного моря. 50 тыс. лет назад Красное море было уже и на 70 м мельче, чем сейчас. Группа достигла процветания, и ее потомки за несколько десятков тысяч лет заселили весь мир, вытеснив, не смешиваясь, виды *Homo*, которые встречались на пути их расселения. Недостаток этой теории — при том что из всех современных теорий она наиболее общепринята — в ее неспособности объяснить установленный не так давно факт: сегодня встречаются аборигенные популяции с отличной ДНК, то есть они не имеют общих предков со всем остальным миром.

Только за последние 40 тыс. лет человек распространился в ареале современной Европы, предположительно в результате продолжавшейся 15 тыс. лет миграции из Леванта¹ либо, что более спорно, из Индии².

1 Восточная часть побережья Средиземного моря. (Прим. перев.)

2 Недавно возникла гипотеза, что *Homo sapiens* вытеснил *Homo heidelbergensis* в Индии около 70 тыс. лет назад. А оттуда 50–40 тыс. лет назад *Homo sapiens* добрался до Австралии и Европы.

По-видимому, люди населили Австралию задолго до того, как добрались до Европы. Теорию раннего заселения Австралии поддерживает факт внезапного и необъяснимого исчезновения на материке всех животных весом свыше 100 кг примерно 50 тыс. лет назад. Не зная врагов крупные млекопитающие стали легкой добычей охотников. Прямых доказательств того, что человек послужил причиной их вымирания, нет, но каждый раз, когда животных в той или иной части света постигает массовое вымирание, поблизости оказываются люди. Первые люди высадились на Американском континенте лишь 11 тыс. лет назад¹, что совпало с внезапным исчезновением 70 % всех крупных млекопитающих Северной Америки. После 33,7 млн лет спокойного существования вымерли саблезубые тигры (это произошло 9 тыс. лет назад). 10 тыс. лет назад, после 4 млн лет жизни, вымерли мастодонты. Ирландский олень появился 400 млн лет назад и вымер 8 млн лет назад. Мамонт, живой и невредимый с эпохи плиоцена 4,8 млн лет назад, вымирает всего лишь 4500 лет назад.

Мы не знаем, как удалось этому небольшому отряду *Homo sapiens*, покинувшему Африку 50 тыс. лет назад, добиться процветания и вытеснить все остальные виды *Homo*. Нет доказательств применения насилия, хотя, судя по природе современного человека, эта гипотеза достойна рассмотрения. Одно объяснение, которое сам автор, теоретик Джудит Рич Харрис, призна-

¹ Одна сомнительная теория гласит, что заселение Америки произошло 33 тыс. лет назад.

ет плодом чистой интуиции, гласит: *Homo sapiens* охотился на *Homo neanderthalensis* и питался ими, считая их животными из-за волосяного покрова¹. К сожалению, о первых *Homo sapiens* мы знаем меньше, чем о некоторых других видах *Homo*, и гораздо меньше, чем о неандертальцах. На сегодняшний день ученые согласны с тем, что *Homo neanderthalensis* является последним видом *Homo*, существовавшим одновременно с человеком. Недавно в качестве другого кандидата предложили *Homo floresiensis*, который, как утверждается, существовал наряду с *Homo sapiens* каких-то 12 тыс. лет назад. Однако эта атрибуция столь же сомнительна, сколь и прочие. Выдвигается контраргумент, будто ископаемые останки свидетельствуют не об отдельном виде, а о карликовости (как болезни). Самая недавняя из известных нам популяций неандертальцев жила на южном побережье Гибралтара и вымерла около 30 тыс. лет назад.

Если рост объема головного мозга свидетельствует о нарастании эволюционной сложности, то на сегодняшний день неандертальца надо считать венцом творения, по крайней мере среди известных нам продуктов творения, поскольку из всех видов *Homo*, известных сегодня, именно у него был самый большой мозг. А еще неандертальцы были сильнее нас.

Но объема мозга и физической силы недостаточно. Природа отбирает не самых мозговитых, а самых приспособленных, а приспособленный — не значит

¹ Также высказывались предположения о каннибальской природе *Homo sapiens*.

самый сильный: приспособиться — это уметь соответствовать среде обитания. Британский психолог Николас Хамфри (1943) описал вид обезьян, среди которых находятся умы, способные раскалывать особенно трудные орехи. К сожалению, ядрышко такого ореха ядовито. В этом случае самыми приспособленными в популяции оказываются те, у кого не хватает ума, чтобы сообразить, как добраться до ядра.

Много изменений претерпела человеческая популяция во время последнего исхода из Африки. По видимому, ритуальные захоронения и употребление в пищу рыбы явились первыми из так называемых культурных универсалий, т. е. тем, что свойственно всем человеческим племенам, но не свойственно другим видам. Даже когда неандертальцы селились вблизи богатых источников рыбы, нет никаких свидетельств, что они ею питались. Ритуальные захоронения и употребление в пищу рыбы появляются более 100 тыс. лет назад в левантийском ареале. Еще одна культурная универсалия — искусство. Раскопки в пещере Бломбос в ЮАР обнаружили украшения из ракушек. Возраст в 75 тыс. лет делает их самыми старыми предметами искусства¹ на сегодняшний день. Наскальную живопись датировать сложнее: некоторые образцы могут достигать 50 тыс. лет, но точно датированные имеют возраст 32 тыс. лет и находятся во Франции.

¹ Птица шалашник, наверное, будет возражать. Я имею в виду искусство как продукт самосознания, но тогда придется спросить, что мы понимаем под сознанием.

Ранние формы употребления орудий — каменных орудий — в этот период ничем не отличаются от способов применения орудий неандертальцами. В сущности, формы употребления орудий оставались неизменными на протяжении пары миллионов лет, как вдруг около 50 тыс. лет назад орудия стали более технологичными. Появились орудия из кости и оленьего рога¹. Возможно, в это же время начинает складываться и язык, хотя, естественно, существуют разные теории, причем некоторые говорят о постепенном и долговременном изменении (возможно, занявшем миллионы лет). Нет единого мнения относительно того, умели ли неандертальцы говорить.

В течение последующих нескольких десятков тысяч лет современные люди вырабатывают и прочие культурные универсалии: религию, музыку, шутки, приготовление пищи² и табу на инцест. Стратегический конфликт, который мы называем войной, развился в стратегический конфликт, который мы называем игрой (или наоборот).

Цивилизация, видимо, зародилась в Средиземноморье, в частности в Леванте. Кебарское племя кочевников — охотников и собирателей (первое племя анатомически современных людей) — жило там в 18 000—10 000 годах до н. э. и сменилось людьми натufийской культуры.

-
- 1 Есть несколько находок, подтверждающих эту теорию. В конце 1990-х в угольной шахте в Шенингене (100 км на восток от Ганновера, в Германии) были найдены деревянные копья, датируемые 400 тыс. лет.
 - 2 Огонь был в ходу уже 1–2 млн лет, так что готовка, конечно, появилась раньше, в данном случае речь идет скорее о кухне.

Около 12 тыс. лет назад климат сменился, а с ним навсегда изменилась и человеческая культура. В целом ряде мест, но прежде всего, возможно, у натуфийского народа, более теплая погода позволила возникнуть земледелию. Выращивались зерновые, одомашнивались животные. Так впервые биологический вид стал контролировать свою среду обитания и экосистему. Человек отобрал несколько растений и несколько животных и начал необратимо изменять мир.

Приехали

*Ведь наш безжизненный язык,
Наш разум в суете напрасной
Природы искажают лик,
Разъяв на части мир прекрасный.*

*Искусств не надо и наук.
В стремление к подлинному знанью
Ты сердце научи, мой друг,
Вниманию и пониманью.*
Уильям Вордсворт, "Все наоборот",
пер. И. Меламеда

Дальше — история.

История подходит к концу там, где она встречается с настоящим, где повествование встречается с повествователем. Сейчас ось, вокруг которой вращаются прошлое и будущее, располагается там, где находимся мы. Однако законы природы описывают вселенную, в которой нет ни прошлого, ни будущего. Относительно судьбы вселенной нетрудно заключить, что, если человеческий род исчезнет завтра, ничего не изменится. Джеймс Лавлок предсказал, что к концу столетия в результате глобального потепления погибнут

миллиарды и что Гея обретет новое равновесие, превратившись в планету, на которой жизнь человека станет невозможной. Американский биолог Джаред Даймонд (1937) напоминает, что на протяжении всей истории общества, засорявшие собственную среду обитания, вымирали, в качестве примера он приводит судьбу цивилизаций, некогда процветавших на острове Пасхи и в Гренландии. Через несколько миллионов лет континенты вновь сойдутся и образуют единый монолит, как это уже бывало много раз. Через миллиард лет солнце будет светить на 10 % ярче, чем сейчас. Через 3 млрд лет железное внешнее ядро Земли окончательно застынет. Через 5 млрд лет Солнце израсходует свой запас водорода и превратится в красный гигант. Через миллиарды лет наша галактика сольется с соседней галактикой Андромеды. Через десятки миллиардов лет галактики, которые мы сейчас наблюдаем с Земли (сама Земля к тому времени уже давно перестанет быть пригодной для жизни), исчезнут с горизонта видимой вселенной. Ночное небо (что бы это ни значило на тот момент времени) постепенно опустеет и полностью погаснет.

Долгосрочные прогнозы судьбы вселенной дают теории, которые работают на самом крайнем фронтире современного знания. Они по необходимости умозрительны. Хотя удивительно, как отличаются сценарии будущего вселенной и насколько они чувствительны по отношению к малым изменениям в малом числе параметров. Будущее вселенной во многом зависит от содержания в ней массы и темной энергии, с чем связана степень ускорения (или замедления) расширения

вселенной в будущем. Наиболее вероятным исходом считается тепловая смерть вселенной (также известная под именем Большой Мороз). Звезды выгорят. Галактики превратятся в черные дыры, которые будут постепенно испаряться. Вселенная превратится в сплошное излучение и постепенно станет остывать до абсолютного нуля, т. е. до того теоретического уровня температуры, при котором атомы подходят настолько близко к полной неподвижности, насколько это допускает принцип неопределенности Гейзенберга. Зародившись в форме излучения при максимально высокой температуре, какой она была в глубочайшем прошлом, вселенная закончит существование в форме излучения самой низкой температуры: таково ее отдаленное будущее. В этой вселенной будут царить черные дыры вплоть до отметки в 10^{40} лет после Большого Взрыва, полностью они испарятся за последующие $1,7 \times 10^{106}$ лет. Затем наступит Темная эра, которая будет длиться вечно.

Если принимать интерпретацию множественности миров, которая допускается квантовой физикой, то в будущем видимой вселенной разыграются все возможные сценарии. А если на самом деле существует мультивселенная, в состав которой входит и наш клочок видимой вселенной, то тогда многочисленные — возможно, бесконечное их число — другие вселенные с другими законами природы переживут гибель нашей; другие вселенные, в которых и законы природы совсем иные.

Описываемая такими неумолимыми физическими законами, сама вселенная, кажется, не обращает на

нас ни малейшего внимания. Тем не менее мы можем оставить в ней свой след. Бывший королевский астроном Мартин Риз (1942) предсказывает, что человечество изыщет способ разорвать ткань времени-пространства, ткань вселенной. Как это ни парадоксально, если людям удастся разрушить вселенную, мы получим право утверждать, что доказали, несмотря ни на что, свою уникальность. Если бы в этот момент рядом нашлись антикоперниканцы, они бы воскликнули: "А мы говорили!" Но даже такой насильственный акт не является заключительным. Если мультивселенная существует, то окажется, что мы разрушили лишь наш собственный клочок, который называем "видимой вселенной". Наш разрушительный акт не будет иметь вообще никакого значения. Поэтому повторяю еще раз: созерцая вселенную, мы находимся на двух полюсах одновременно: исключительной привилегированности и ничтожности. Научный метод исходит из нашего ничтожества, но постоянно обнаруживает привилегированность. Поэтому, чтобы двигаться вперед, ученым все время приходится изобретать новые и более изощренные утверждения ничтожности человека, тогда как вселенная, в свою очередь, отвечает тем, что отказывается отречься от человека и его центрального положения в физических процессах. Закончится ли когда-нибудь эта игра, неясно. Но мы страстно желаем ее разрешения. Мы хотим верить, что получим наконец ответ, который завершит наше вопрошание. Верить, что наука может поставить точку, — значит всеми силами стремиться к определенности конца, то есть верить, что законы природы, ис-

черпывающе описывающие вселенную, существуют и что их можно обнаружить.

Но с философской точки зрения идея законов природы, высеченных в камне, вызывает беспокойство. Если наука подрывает все прочие формы неопределенности, почему она, в таком случае, утверждает вечность законов природы? Галилей и Ньютон верили, что естественные законы созданы Богом и что задача ученого — разгадать их механизмы. В этом смысле научный метод является плодом системы верований, свойственных и монотеизму, о неизменном и вечном характере вселенной. Всего 30 лет назад Джон Уилер впервые задался вопросом, что мы имеем в виду, говоря о вечных законах. Сегодня его идеи снова в моде. Он предположил, что в будущем сами законы природы окажутся продуктами эволюции. Мы называем их законами, но вначале они могли быть расплывчаты и в процессе отбора превратиться в те законы, которые мы имеем сейчас. Если наука подрывает всякую определенность, почему этому не подлежат и законы природы? В то же время, если законы природы эволюционируют в процессе естественного отбора, то что такое естественный отбор? Является ли естественный отбор верховным законом природы? Или дело совсем в другом — в некоей логической неизбежности, в неминуемых последствиях акта повествования о природе? Пока что это вопросы для философов. Материалисты-прагматики ждут материально-физических доказательств.

Вечные законы не содержат понимания настоящего, момента, который зовется “сейчас”. Если законы

природы вечны, то человеческий опыт настоящего оказывается иллюзией. Вселенная, управляемая вечными законами, не имеет швов. Все, что существует, существует навсегда в виде взаимосвязанной и неделимой паутины явлений. Эйнштейн полагал, что его теория относительности описывает как раз такую реальность, что и прошлое, и будущее имеют вечное существование и только человеческая личность отказывается это признать. За месяц до смерти Эйнштейн написал о недавней кончине своего друга Мишеля Бессо: "Он покинул этот странный мир, немного опередив меня. Это не имеет значения. Для нас, верующих физиков, различие между прошлым, настоящим и будущим — не более чем чрезвычайно упрямая иллюзия". Если природа реальности такова, то можно сказать, что время не движется, оно просто есть. Временной вектор — это обман существования, познаваемое качество, которое мы испытываем в масштабах занимаемого нами объема вселенной, точно так же иллюзорна и отдельность времени от пространства, если существует эйнштейновский пространственно-временной континуум.

Если же настоящее не является иллюзией, тогда мы занимаем в нем привилегированное положение. Опыт нахождения здесь и сейчас возвращает рассказ к рассказчику. Чтобы убавить привилегированность и тем самым успокоить коперниканцев, нам следует надеяться, что в других местах во вселенной рассеянные в пространстве и времени многочисленные рассказчики рассказывают ту же историю. Но, как заметил некогда Энрико Ферми, если инопланетяне есть,

где же они? Должно ли нас беспокоить их отсутствие, учитывая, что существование инопланетян — аргумент, который материалисты частенько используют против привилегированного положения человека? Нас, кажется, не навещают хотя бы потому, что вселенная чрезвычайно обширна и разрежена. В 2007 году компьютерная модель физика Расмуса Бьорка предсказывала, что разведка 4 % вселенной займет 10 млрд лет, даже если мы научимся перемещаться со скоростью $1/10$ скорости света, а эта скорость для нас недостижима в ближайшем будущем и, вероятно, не станет возможной никогда.

По крайней мере пока история материального мира остается нашей собственной историей. Она начинается с описания слишком простой для полного понимания вселенной, а заканчивается слишком сложными для описания рассказчиками. Для равновесия мы располагаем на одном конце вселенную в целом, а на другом — человеческий мозг, который ее воспринимает. Если в нашем мозге есть нечто, что дает нам определенные привилегии во вселенной, то мы можем задаться вопросом: есть ли какое-то осмысленное разделение между мозгом и вселенной? И в конечном итоге есть ли вообще осмысленное разделение между чем бы то ни было? Мы кажемся чем-то особенным лишь потому, что не можем провести границу между историей и ее рассказчиком. Но, будучи коперниканцами и материалистами, мы продолжаем историю, потому что интересуемся: а что значит “рассказывать историю”? Как могут выглядеть другие рассказчики? Есть ли что-то особенное в человеческом мозге, что

позволяет людям находить смысл в объектах и символах, а также встраивать прошлое и настоящее в концепцию будущего? Если это нечто есть, то что же это такое?

Задача осмысления окружающего материального мира, по-видимому, возникла одновременно с зарождением в человечестве сознания. Но что такое сознание?

Уже более трехсот лет научный метод делит мир на тело и разум. Наука взяла себе тело, отдав разум и душу религии. По одну сторону располагается мир субъективных ценностей, эстетики, нравственности и веры, по другую — наука. “Наука заключила выгодную сделку, — говорит британский биолог Руперт Шелдрейк (1942), — она получила практически все”.

Несмотря на то что в картезианской дуалистической философии машиноподобное тело рассматривается отдельно от неподвластной физическим законам души, сам Декарт не подразумевал такой жесткой границы. Он хотел обосновать тезис об уникальном положении человека во вселенной: только человек обладает этой загадочной материей — сознанием. Ему не удалось решить проблему взаимодействия между сознанием и телом. Он ошибочно полагал, что местом физической встречи этих двух миров является шишковидное тело в головном мозге. Картезианское учение о сознании наделяет человека своего рода привилегиями, которые вызывают протест коперниканцев, однако наука надолго отказалась от исследования проблем сознания и тем самым оказалась неспособной объяснить его.

Американский нейробиолог Роджер У. Сперри (1913–1994) утверждал, что сознание есть эмергентное

свойство человека, наподобие “стульности” стула: мы видим “стульность”, наблюдая стул в окружающем мире, но она исчезает при ближайшем рассмотрении. Прищурившись, мы различаем молекулы, из которых состоит стул, но они не имеют свойств, присущих стулу. Сперри, который впервые описал отдельные функции левого и правого полушарий головного мозга, понимал сознание именно так: оно несводимо к физическим процессам, но возникает в совокупности сложных процессов в работе мозга, исчезая при разложении этих физически сложных факторов на элементы.

Научный метод рассматривает сознание и материю так, будто они принадлежат разным мирам, но для любого живого человека тесная связь между ними очевидна. Как писал Ницше, “тело — это большой разум, множество с одним сознанием, война и мир, стадо и пастырь... Больше разума в твоём теле, чем в твоей высшей мудрости”. Ученые искали сознание в мозге, а не в теле как едином целом. Судя по недавним прямым исследованиям различных психических состояний, существует физическая связь между мозгом и якобы изолированными от физического мира феноменами сознания. Посредством электростимуляции мозга можно изменить систему убеждений индивидуума (по крайней мере пока воздействие продолжается). Исследование мозга буддийских монахов показало, что под воздействием медитации изменяются его физические структуры. А у лондонских таксистов часть мозга, отвечающая за память, больше, чем у большинства из нас.

Что отличает человеческий мозг от мозга даже наших ближайших родичей, шимпанзе, — это способность к установлению связей между клетками. Такая гибкость присуща только человеку. И в этом можно усмотреть материальную основу сознания. Однако есть ученые, которые стали задумываться — и, надо признать, они в меньшинстве, — не является ли сам мир содержанием сознания, а не наоборот. “Я полагаю, — заявляет когнитивный философ Дональд Д. Хоффман, — что все существующее есть сознание и его содержание. Пространство-время, материя и поля не имеют гражданства во вселенной, они без всяких притязаний обретаются в содержании сознания, где само их бытие зависит от сознания”. То есть сущность материальных вещей заключается в том, что они каким-то образом служат манифестации самого сознания. К этой точке зрения задолго до нас пришел Пруст в своем романе “В поисках утраченного времени”: “Быть может, неподвижность окружающих нас предметов внушена им нашей уверенностью, что это именно они, а не какие-нибудь другие предметы, неподвижностью того, что мы о них думаем”¹.

Допустим даже, что сознание является эмергентным свойством мозга. Но среди известных нам форм жизни только человек обладает настолько сложными нервными соединениями, что этой сложности хватает для появления именно такого сознания, которое позволяет нам познавать вселенную. Можно даже спро-

¹ Пер. Н. Любимова. (Прим. перев.)

ситель, что представляла бы вселенная, если бы ее не наблюдал такой сложный мозг, как мозг человека. "Невозможно существование реальности, совсем не зависящей от сознания, которое ее постигает, видит и ощущает, — писал французский математик Анри Пуанкаре (1854–1912). — Даже если бы такая реальность существовала, для нас она была бы совершенно недоступна". Если во вселенной нет познающего ее сознания, то великое представление, как выразился некогда Шредингер, играет при пустом партнере. Является ли сознание формой, в которой вселенная впервые осознает самое себя? Если это так, то, повторим еще раз, данный факт налагает бремя привилегированности на мозг и на сознание — продукт его сложной деятельности (если мы именно это считаем сознанием). В материалистическом понимании вселенной мозг приобретает первостепенное значение. И тем не менее трудно изолировать мозг от остальных органов физического тела, которое содержит мозг в себе, подключив его к нервной системе. Тело же неразрывно связано со своей средой. Ощущение есть динамическая активность, его нельзя раззять на части. Физический мир не отделен от того, что мы ощущаем, он становится частью опыта. Как утверждает физик Фримен Дайсон, "сознание вплетено в ткань вселенной". Мы не отделены от мира. Физический мир есть манифестация акта его восприятия.

Если мгновение, когда вы читаете эти слова, реально и не предсказываемо законами природы, значит, научный метод неполон и никогда не сможет описать природу реальности целиком. Ученые занимаются из-

мерениями в уверенности, что, раз измерения согласуются с теорией, они измеряют внешний мир, существующий независимо от нас. Вновь и вновь утверждая существование такой реальности (ученые в это верят), они обогащают теорию и все лучше уточняют измерения. Наука — это собрание фактов и догадок, подсказанных научной методологией, она озаряет то, что мы называем материальным миром, и определяет, что считать прогрессом. А то, открывает ли наука истину, не имеет отношения к делу. О своих успехах наука судит в собственных терминах, и они основываются на глубоких неразгаданных тайнах (что такое энергия? что такое поле?), которые сродни тайнам, постигаемым художником, философом или мистиком. Материалисты предпочитают смотреть в будущее, где существует более совершенное знание¹; мистики оглядываются в прошлое, где обретается великая мудрость. Но Эйнштейн предупреждал: “Тот, кто хочет быть судьей в области истины и знания, потерпит кораблекрушение под смех богов”. К счастью, есть ученые и художники, которые довольствуются тем, что “рассказывают о результатах шепотом на ухо соседу”². У спорящих сторон вера обращается в догму, особенно если одна из сторон настаивает, что видит Истину, незримую для другой. Догма же приводит к войне: я прав, ты не прав, мы неуязвимы, они враги. Вера “есть осуществление ожидаемого и уверенность в невидимом”³. Догма же настаивает, что

1 Хотя американский изобретатель Томас Эдисон (1847–1931) остается правым: “Мы не знаем ни о чем и миллионной части”.

2 Как выразился английский поэт Джон Китс в одном письме.

3 Евр. 11,1.

невидимое действительно существует. Взгляд инопланетянина потому и важен, что дает нам увидеть, как то, что подходит нам, не устраивает других. “Давайте жить дружно”, — говорим мы ссорящимся детям, тем самым вставая на позицию, которую мог бы занять и инопланетянин.

Веками наука и религия ведут войну. История науки отмечена целым рядом конфликтов с церковью, но толкуются они предвзято. Мы видим их задним числом, с точки зрения сегодняшнего состояния научного метода. Когда Коперник изъясил Землю из центра космоса, начался процесс, который надо понимать как исторический исток научного метода, а не только как реакцию на учение церкви. Наука поглощена идеей привилегированности, потому что эта идея встроена в научную методологию. Однако наука отвлекает внимание, заявляя, что на самом деле она лишь нейтрализует идеологию, оппонентом которой является. Действительно, Земля располагается в центре аристотелева космоса, но, по Аристотелю, она лежит на самом дне. Все земное — все то, что содержит распадающееся земное вещество, — падает на землю. Земля — это буквально место упавших вещей. В космологии, принятой церковью, Земля располагалась в центре космоса, но отнюдь не была привилегированным местом. Соппротивление церкви коперниканской модели вселенной диктовалось не страхом преуменьшить значение Земли. Знак равенства между физическим центром и привилегированной позицией ставит именно научный метод.

Или другой пример крупного неразрешимого конфликта: Дарвин, конечно, разрушил представление

о том, что человек стоит во главе великой цепи бытия, однако идея, что Земля и животное царство существуют ради эксплуатации высшим видом, подразумевается и в научном методе (как бы ученые это ни отрицали), а не только в иудеохристианской доктрине. Можно даже сказать, что наука расширила территорию эксплуатации, включив в нее всю вселенную. И монотеизм, и наука, более или менее открыто заявляя об этом, стремятся населить вселенную¹. Наука совершает успешные попытки делать жизнь более комфортабельной для части населения планеты, но также она способствует росту населения, при этом лишь отчасти обеспечивая его средствами существования, причем за счет все большего ущерба для планеты. Со временем наука рассчитывает заселить людьми и другие планеты — иной надежды у нас нет. И наука, и религия как облегчают, так и усугубляют страдание в мире. Хотя религия часто дает повод для войн, именно наука создает все более изощренные средства уничтожения людей.

Если мы желаем покорить космос, то что есть суть такого желания, если не стремление к господству? Природа сопротивляется нашим попыткам разоблачать ее секреты. Для выхода в открытый космос требуются огромные количества энергии, и огромные количества энергии нужны для преодоления атомного барьера. Ничем не сдерживаемые и наука, и монотеизм подавят

¹ Американский астроном Фрэнк Дрейк (р. 1930) однажды подсчитал, что энергии Солнца хватит на поддержание жизни 10^{22} человек.

природу. Но если мы собираемся воевать с природой, то нам не следует удивляться, обнаружив, что правила войны диктует именно она.

Мы не можем распустить материальный мир по ниточке, да и кому это нужно? Материализм — величайшая из когда-либо рассказанных историй. Мы можем попытаться понять, что такое материальный мир и каково наше отношение к нему. Материализм — это история о вселенной, полной смысла, но не имеющей цели. Как бы мы ни понимали смысл, это местный феномен, ориентированный на человека. Мы — люди, наблюдающие и живущие здесь и сейчас, — находимся в середине вселенной, мы живем на полпути между вещами, представляющимися нам самыми большими и самыми малыми. Неудивительно, что смысл как бы вытекает из вселенной по ее краям. Так и должно быть. Где проходит край, определяем мы. Смысл как таковой неотделим от процессов нашего взаимодействия с миром. Смысл, который не зависит от нас, бессмыслен. Например, с точки зрения атома вселенная выглядит по-иному и имеет иной смысл. Если бы мы могли воспринимать мельчайшие отрезки времени, мы бы наблюдали ядерные процессы. Находясь на другом конце временного спектра, иной тип сознания мог бы воспринимать рост растений, возникновение и разрушение планет, столкновения и слияния галактик. Если нам представляется, что сложность полнее всего воплотилась в телах среднего размера, то единственной причиной этого может быть то, что мы полагаем себя этими телами среднего размера. Когда мы смотрим

на горизонт, мы впадаем в иллюзию, считая себя центром всего нами обозреваемого.

Если рассматривать нашу вселенную из 10^{80} частиц как информационную машину (состоящую из нулей и единиц, называемых битами), то, как было подсчитано, 10^{120} бит информации эта машина уже обработала, осталось столько же. С точки зрения вселенского компьютера можно считать, что половина видимой вселенной обработана. Иными словами, мы живем в момент заката звездообразования, на заре длительного процесса угасания вселенной. Ученые уже беспокоятся о судьбе человечества после срока жизни Солнца. Но, возможно, это и есть наше время во вселенной. Тревога за нашу судьбу в конце времен есть лишь прикрытие для вечного страха перед собственной смертностью. Нас не беспокоит начало вселенной, когда нас не было вовсе, точно так же, как нас не беспокоит наше небытие перед собственным рождением. Тогда что же может нас так сильно волновать в нашей судьбе в столь отдаленном будущем, кроме тщетного желания управлять судьбой самой вселенной? Наши страхи перед вселенной могли бы быть меньше, если бы мы лучше понимали ее неотделимость от нас самих. Как бы мы ни старались и как тщательно бы ее ни описывали, мы не можем отделить ее от себя. Мы носим вселенную с собой.

Какой у нас адрес во вселенной? Это зависит от того, как мы понимаем, что такое вселенная и что значит это "во вселенной". Ответ на вопрос "где мы во вселенной?" зависит от того, что значит "мы". Как индивидуумы мы — это отдельные "я", созерцающие мир

отдельных вещей. “Я один в биении своего сердца”¹. Однако наука — это коллективное переживание мира, поэтому такое “мы” включает в себя еще больше. И, хотя наука тоже начинается с предпосылки того, что мир состоит из отдельных вещей, она развивается, объединяя отдельности во вселенную нераздельности. Наука говорит нам, что существует такое “мы”, которое произошло от одной матери, жившей 150 тыс. лет назад. Наши ДНК свидетельствуют, что “мы” — это все живое с общим ДНК-кодом, 3 млрд лет эволюции жизни. Но зачем останавливаться? Мы, как и вообще все, появились из первичного водорода, который заполнял вселенную 14 млрд лет назад. Но и на этом мы не остановимся. Мы, как и вообще все, — эволюционировавшее симметричное излучение. А до того мы были чем-то таким, что лежит за гранью “до того”, какой бы смысл в это “до того” ни вкладывался. Я — здесь. Ты — там. Мы — все и везде. Они — это мы.

Желание получить прописку — это желание статуса. Но понятие привилегии обессмысливается в мире, где все едино. Многие ученые отрицают, что наука когда-либо сможет описать эту цельность, но научная методология по крайней мере указывает на единство феноменов, которые мы называем вселенной. В конечном счете это убеждение не слишком отличает науку от непосредственного познания мира, называемого мистицизмом, или от того, что в иной форме составляет цель жизни художника, философа или богослова. Ученый как будто дробит действительность на части и раскла-

1 Китайский поэт Лю-Цзы. (Прим. перев.)

дывает их вдоль линии, называемой прогрессом. Для художника и мистика действительность нераздельна, время замкнуто в круг, а слово “прогресс” не имеет смысла: Пикассо не более (но и не менее) “развит”, чем Тициан. Но, каким бы способом мы ни приходили к реальности, дело лишь в том, как смотреть и что видеть. Даже если науке в один прекрасный день удастся описать все сущее и она не станет отрицать прочие формы поиска истины, то наука, искусство и религия в конечном счете встретятся. Американский астроном и физик Роберт Джастроу (1925–2008) предсказывал: “Взойдя на самый высокий пик, ученый обнаружит компанию богословов, которая расположилась там столетия назад”.

В современном мире, озабоченном определенностью и вечными ценностями, нам следует научиться жить в неопределенности бесконечного научного процесса (без необходимости веры в бесконечный научный прогресс). Нам хочется верить в вечность — любви, жизни, Бога или законов природы. Но, как постоянно напоминает Фрейд, определенность больше всего похожа на смерть. И возможно, лучшее, на что нам стоит надеяться, — это прожить в неопределенности столь долго, сколько можно вынести.

Библиография _____

- BARNES, JONATHAN. *Early Greek Philosophy* (Penguin Classics, 1987, revised 2001).
- BARROW, JOHN D. *The Constants of Nature* (Jonathan Cape, 2002).
- BOHM, DAVID. *Wholeness and the Implicate Order* (Routledge, 2002).
- BROCKMAN, JOHN, ed. *What We Believe but Cannot Prove* (Harper-Collins, 2006).
- CADBURY, DEBORAH. *The Dinosaur Hunters* (Fourth Estate, 2000).
- CADBURY, DEBORAH. *The Space Race: The Battle to Rule the Heavens* (Fourth Estate, 2005).
- CALAPRICE, ALICE. *The Quotable Einstein* (Princeton University Press, 1996).
- CHARLESWORTH, BRIAN and CHARLESWORTH. Deborah, *Evolution* (Oxford University Press, 2003).
- CHEETHAM, NICHOLAS. *Universe: A Journey from Earth to the Edge of the Cosmos* (Smith Davies, 2005).
- COLES, PETER. *Cosmology* (Oxford University Press, 2001).
- CONZE, EDWARD. *Buddhist Wisdom Books* (Allen and Unwin, 1958).

- COOK, MICHAEL. *A Brief History of the Human Race* (Granta Books, 2004).
- DALAI LAMA, HIS HOLINESS the. *The Universe in a Single Atom* (Morgan Road Books, 2005).
- DART, RAYMOND, *Adventures With the Missing Link* (Hamish Hamilton, 1959).
- DAVIES, MERRYL WYN, *Darwin and Fundamentalism* (Icon Books, 2000).
- DAVIES, PAUL. *Other Worlds* (J M Dent, 1980).
- DAVIES, PAUL. *God and the New Physics* (J. M. Dent, 1983).
- DAWKINS, RICHARD. *The Blind Watchmaker* (Longman, 1986).
- DELSEME, ARMAND. *Our Cosmic Origins* (Cambridge University Press, 1998).
- DENNETT, DANIEL C. *Darwin's Dangerous Idea* (Simon and Schuster, 1995).
- DRESSLER, ALAN. *Voyage to the Great Attractor: Exploring Intergalactic Space* (Knopf, 1994).
- ECCLES, JOHN C. *The Human Mystery* (Springer, 1979).
- ELDREDGE, NILES. *The Triumph of Evolution and the Failure of Creationism* (Henry Holt, 2000).
- FERGUSON, KITTY. *The Fire in the Equations: Science, Religion and the Search for God* (Bantam Press, 1994).
- FERREIRA, PEDRO G. *The State of the Universe* (Weidenfeld and Nicolson, 2006).
- FEYNMAN, RICHARD P. *The Meaning of It All* (Addison-Wesley, 1998).
- FISHER, LEN. *Weighing the Soul* (Weidenfeld and Nicolson, 2004).
- FORBES, PETER. *The Gecko's Foot: Bio-inspiration, Engineering New Materials from Nature* (Fourth Estate, 2006).
- FORTEY, RICHARD. *The Earth* (HarperCollins, 2004).
- GEE, HENRY. *Deep Time* (Fourth Estate, 2000).

- GEE, HENRY. *Jacob's Ladder* (Fourth Estate, 2004).
- GLEICK, JAMES. *Chaos* (William Heinemann Ltd, 1988).
- GLEICK, JAMES. *Genius: Richard Feynman and Modern Physics* (Little, Brown, 1992).
- GLEICK, JAMES. *Isaac Newton* (Fourth Estate, 2003).
- GOULD, STEPHEN JAY. *Bully for Brontosaurus* (W. W. Norton, 1991).
- GOULD, STEPHEN JAY. *Wonderful Life* (W. W. Norton, 1989).
- GRANT, EDWARD. *Physical Science in the Middle Ages* (John Wiley and Sons, 1971).
- GRAY, JOHN. *Straw Dogs* (Granta Books, 2002).
- GREENE, BRIAN. *The Elegant Universe* (Vintage, 2000).
- GRIBBIN, JOHN. *Science: A History* (Allen Lane, 2002).
- GUTH, ALAN H. *The Inflationary Universe* (Jonathan Cape, 1997).
- HALDANE, JOHN. *An Intelligent Person's Guide to Religion* (Duckworth Overlook, 2003).
- HALL, A. RUPERT and HALL, MARIE BOAS. *A Brief History of Science* (The New American Library, 1964).
- HAYNES, JANE. *Who Is It That Can Tell Me Who I Am?* (foreword by Hilary Mantel, intheconsultingroom.com, 2006).
- HOFFMAN, PAUL. *The Man Who Loved Only Numbers* (Hyperion, 1998).
- HUGHES, TED. *Tales from Ovid* (Faber and Faber Ltd, 1997).
Lines quoted by permission of the estate of Ted Hughes and Faber and Faber.
- JASTROW, ROBERT. *God and the Astronomers* (W. W. Norton, 1978).
- KIRK, G. S. and RAVEN, J. E. *The Presocratic Philosophers* (Cambridge University Press, 1957).

- KUHN, THOMAS S. *The Structure of Scientific Revolutions* (University of Chicago Press, 1962).
- MAY, BRIAN; MOORE, PATRICK and LINTOTT, CHRIS. *Bang: The Complete History of the Universe* (Carlton, 2006).
- MONOD, JACQUES. *Chance and Necessity: Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*, trans. A. Wainhouse (Collins, 1972).
- MORING, GARY F. *The Complete Idiot's Guide to Theories of the Universe* (Alpha Books, 2002).
- NEMIROFF, ROBERT J. and BONNELL, JERRY T. *The Universe: 365 Days* (Harry N. Abrams, 2003).
- NEWTON, ROGER G. *Galileo's Pendulum* (Harvard University Press, 2004).
- NIETZSCHE, FRIEDRICH. *Twilight of the Idols*, trans. R. J. Hollingdale (Penguin Classics, 1990).
- OERTER, ROBERT. *The Theory of Almost Everything* (Pi Press, 2006).
- PANEK, RICHARD. *Seeing and Believing* (Viking, 1998).
- PANEK, RICHARD. *The Invisible Century: Einstein, Freud and the Search for Hidden Universes* (Viking, 2004).
- PHILLIPS, ADAM. *Darwin's Worms* (Faber and Faber Ltd, 1999).
- POLKINGHORNE, J. C. *The Quantum World* (Longman, 1984).
- POPPER, KARL R. and ECCLES, JOHN C. *The Self and Its Brain* (Springer, 1977).
- PRIMACK, JOEL R. and ABRAMS, NANCY ELLEN. *The View from the Center* (Riverhead Books, 2006).
- RAMSEY, FRANK. *The Foundations of Mathematics and Other Logical Essays* (London, 1931).
- RANDALL, LISA. *Warped Passages: Unravelling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions* (HarperCollins, 2005).
- READER, JOHN. *Missing Links* (Little, Brown, 1981).

- REDFERN, MARTIN. *The Earth: A Very Short Introduction* (Oxford University Press, 2003).
- REES, MARTIN. *Just Six Numbers* (Basic Books, 2001).
- REES, MARTIN. *Our Final Hour* (Basic Books, 2003).
- RICARD, MATTHIEU and THUAN, TRINH XUAN. *The Quantum and the Lotus* (Three Rivers Press, 2001).
- RIDLEY, MATT. *Genome* (Fourth Estate, 1999).
- RIDLEY, MATT. *Nature via Nurture* (Fourth Estate, 2003).
- ROLLINS, HYDER E., ed. *The Letters of John Keats* (Harvard University Press, 1958).
- SEIFE, CHARLES. *Decoding the Universe* (Viking, 2006).
- SHELDRAKE, RUPERT. *A New Science of Life* (J P Tarcher, 1982).
- SINGH, SIMON. *Big Bang* (Fourth Estate, 2004).
- SOBEL, DAVA. *Galileo's Daughter* (Fourth Estate, 1999).
- SOBEL, DAVA. *The Planets* (Fourth Estate, 2005).
- SWAIN, HARRIET, ed. *Big Questions in Science* (introduction by John Maddox, Jonathan Cape, 2002).
- TAYLOR, TIMOTHY. *The Buried Soul: How Humans Invented Death* (Fourth Estate, 2002).
- TAYLOR, TIMOTHY. *The Prehistory of Sex: Four Million Years of Human Sexual Culture* (Fourth Estate, 1996).
- WEINBERG, STEVEN. *The First Three Minutes* (Andre Deutsch, 1977, revised edition Basic Books, 1993).
- WILBUR, RICHARD. *New and Collected Poems* (Faber and Faber Ltd, 1989). Lines from "Epistemology" quoted by permission of Richard Wilbur and Faber and Faber.
- БРАЙСОН Б. *Краткая история почти всего на свете* (пер. В. Михайлова). М. Гелеос, 2007.
- БРЕХТ Б. *Жизнь Галилея* (пер. Л. Копелева) // Театр. Пьесы. Статьи. Высказывания: В 5 т. М. Искусство, 1963.
- ГЕРАКЛИТ ЭФЕССКИЙ. *Фрагменты сочинения, известного позже под названиями "Музы" или "О природе"* (пер.

- С. Муравьева) // Тит Лукреций Карр. О природе вещей. М. Художественная литература, 1983 (опубликовано как приложение).
- ДАЙМОНД Дж. *Коллапс: почему одни общества выживают, а другие умирают* (пер. О. Жаден, А. Михайлова, И. Николаева). М. АСТ, 2010.
- ДАРВИН Ч. *Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь*. СПб. Наука, 1991.
- ДАРВИН Ч. *Происхождение человека и половой отбор* (пер. И. Сеченова). СПб. 1896.
- ДОКИНЗ Р. *Эгоистичный ген* (пер. Н. Фоминой). М., Мир, 1993.
- МАНН Т. *Волшебная гора* (пер. В. Станевич) // Собрание сочинений: В 10 т. М. Государственное издательство художественной литературы, 1959.
- НИЦШЕ Ф. *Сочинения в 2-х т.* (пер. Г. Рачинского). М. Мысль, 1990.
- ПЕНРОУЗ Р. *Путь к реальности, или Законы, управляющие вселенной* (пер. А. Логунова, Э. Эпштейна). Ижевск. Регулярная и хаотическая динамика, 2007.
- ПОППЕР К. *Логика научного исследования* (пер. В. Садовского, В. Брюшинкина, П. Быстрова, Д. Лахути, А. Никифорова). М., АСТ, 2010.
- ПРУСТ М. *В поисках утраченного времени* (пер. Н. Любимова). М., Художественная литература, 1980.
- ФЕЙНМАН Р. *Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!* (пер. Н. Зубченко, О. Тиходеевой, М. Шифмана). Ижевск. Регулярная и хаотическая динамика, 2001.
- ХОКИНГ С. *Краткая история времени* (пер. Н. Смородиновой). СПб., Амфора, 2010.
- ЭЛИОТ Т. С. *Пруфрок и другие наблюдения* (пер. А. Сергеева) // Полые люди. СПб., Кристалл, 2000.

Юнг К. Г. *Воспоминания, сновидения, размышления* (пер. В. Поликарпова). Минск, Харвест, 2003.

Юнг К. Г. *Синхрония* (пер. О. Чистякова, С. Удовик). М., Рефл-бук, 2003.

Пока я писал эту книгу, я часто обращался к интернет-ресурсу “Википедия”. У “Википедии” есть противники, но я не отношусь к их числу. Этот ресурс представляется мне в достаточной степени точным и всегда учитывающим самые новые сведения. Мое использование Интернета слишком обширно, чтобы приводить полный список ссылок, но особого внимания заслуживают два ресурса: обзор элементарных частиц, разработанный *Particle Data Group* при Национальной лаборатории Лоуренса университета Беркли (www.particleadventure.org), и сайт НАСА (www.nasa.gov). Также я хочу выразить глубочайшую признательность еженедельнику *New Scientist*.

Благодарности _____

В этой книге было бы значительно больше ошибок, если бы не помощь советами и опытом, которую оказали Эндрю Коулман, Стэйси д'Эразмо, Питер Форбс, Мег Джайлс, Тим Хьюз, Кейт Дженнигс, Дэниел Кайзер, Джералд Макьюэн, Хилари Мантел, Грэм Митчисон, Синтия О'Нил, Ричард Панек, Сет Пайбас, Мэтт Ридли, Стивен Роуз, Саймон Синг, Дэйв Собел и Тимоти Тейлор. Каждый из них прочел книгу на разных этапах ее написания. Процесс работы над книгой был бы менее приятным и, возможно, вообще не начался бы без поддержки Гиллона Айткена, Джейсона Арбакла, Томаса Блэйки, Кэрол Бозиджер, Мелани Брэйверман, Билла Клегга, Хейзел Коулман, Майкла Каннигема, Майкла Гормли, Кортни Ходелл, Сары Лейтенс, Блю Марсден, Кэтлин Оллереншоу, Шабира Пандора, Молли Пердью, Бет Повинелли, Нони Пратт, Салли Рэндольф, Джойс Рэйвид, Яна Варшавски и Кэти Вествуд. Я всем обязан своему агенту Майклу Карлайлу. Процесс подготовки к изданию был значительно облегчен участием Стивена Эпплби, Итана Бассофа, Тесс

Кэллуэй, Тима Даггана, Сью Фристоун, Кэролайн Гэ-
скойн, Эдди Миззи, Джеймса Найтингейла, Сьюзан
Сэндон и Майкла Шелленберга.

Эта книга не появилась бы на свет без любви
и дружеской поддержки Джейн Хейнс, Джеймса Ли-
сизна, Питера Паркера и Сэлли Викерс.

И наконец, очевидно, этой книги не было бы без
моей матери, которой она и посвящается.

Предметный указатель _____

- “Бесплодная земля” 211
“Диалог о двух системах мира” 119
“Как важно быть серьезным” 24
“Происхождение видов” 307, 391
“Происхождение человека” 391
“Что такое жизнь” 308
“Эгоистичный ген” 391
21-сантиметровое излучение 258
COBE, см. *Cosmic Background Explorer* 143
Corpus Hermeticum (Герметический корпус, собрание текстов) 107, 108
Cosmic Background Explorer (COBE) 143
De Motu 119
 $E = mc^2$ 133, 211
Homo останки 358, 359, 360, 361, 364
Homo род, см. Человек 354, 355, 357, 358, 359, 360, 362, 363, 364,
Logos 97
Mars Climate Explorer 73
Micrographia 145
Nanoarchaea (организмы) 151
PSR 1257+12 (пульсар) 278
SN1604 (сверхновая Кеплера) 56
VY Большого Пса (гипергигант) 55
W- и Z-частицы (бозоны) 226
Wild 2 (комета) 45
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) 143
Абсолютный ноль 239
Августин, епископ Гиппонский 78, 114, 224
Авраам 93,
Аврелий, Марк, римский император 105
Австралия: человеческие поселения 321, 360, 361, 362, 363
Австралопитеки 356,
Аденин 309, 314
Адронная эра 235
Адроны 235
Академ 100,
Аквинский, св. Фома 102, 109
Акила, Гренландия 321
Аккадская империя 103
Акрукс (или Гамма Южного Креста; красный гигант) 52
Александр Великий 103
Александрия (Египет)

- основан 103
- библиотека 104, 105, 107
- Алкивиад 108
- Алонсо Х, король Испании 111
- Алхимия 107, 326
- Альварес, Луис 343
- Альварес, Уолтер 343
- Альдебаран (Альфа Быка, красный гигант) 52, 53
- Альфа Стрельца (черная дыра) 59, 60
- Альфа Центавра А и Б (звезды) 50
- Альфа-лучи 158
- Альфа-распад 196, 197, 237, 276
- Альфа-частицы 158, 159, 197, 244, 275
- Америка: человеческие поселения 80, 295, 363
- Аминокислоты 286, 315, 324,
- Анаксагор 165,
- Анаксимандр 300
- Анаксимен 95
- Андромеды (*M32*) галактика 64, 141, 369
- Антиматерия 186, 187, 234
- Антропный принцип 282
- Апдайк, Джон 13
- Аполлоний Пергский 110
- Арабы: исследования и знание 53, 55, 93, 105, 106, 107, 109, 110, 164, с.122
- Аристарх 111, 112, 113
- Аристотель 92, 99, 101, 102, 103, 109, 110, 114, 115, 119, 120, 121, 123, 132, 155, 163, 164, 187, 380
- Арктур (звезда) 51, 52
- Археи 321, 322, 324, 326, 327, 329
- Архимед 111
- Аспект, Ален 209
- Астеронидов пояс 40, 41
- Астерониды 38, 40, 41, 42,
- Атмосфера: плотность 34, 292, 320
- Атомы
 - Бора модель 178
 - Демокрит 99, 155
 - Эйнштейна суждение о существовании 174, 177
 - и поля 197, 292
 - и образование звезд 237, 243, 244, 245, 248, 250, 259, 269, 370
 - сливового пудинга модель 158
 - и квантовая механика 177, 196, 203, 207
 - Резерфорда модель 159, 178
 - размер 145, 147, 154, 156, 157, 159
 - структура 99, 153, 155, 157, 158, 190, 193, 233
 - предположительно неделимые 99, 154
 - Атомы и атомизм 99, 155, 156
- Африка: колыбель человечества 318, 348, 353, 357, 359, 360, 361, 363, 365
- Ашшер Джеймс, архиепископ Армагский 296, 297
- БАК**, см. Большой адронный коллайдер 192, 215, 217
- Бакминстерфуллерин 152, 153, 202
- Бактерии
 - и эволюция человека 150, 294, 324, 327, 328, 348
- Барнарда галактика 63, 64
- Барроу, Джон 266
- Беда Достопочтенный 296
- Бедфорд, Сибила 23
- Беккерель, Анри 157
- Белые карлики 250
- Берджесс-Шейл 333
- Бериллий 252
- Беркли, Джордж, епископ Клойнский 70
- Бесконечность 13, 34, 49, 73, 81, 121, 124, 125, 139, 144, 210, 218, 227, 248

- Бесконечность: пространства 11, 70, 124, 125, 126, 131
 Бессмертие 13
 Бессо, Мишель 373
 Бета-лучи 198, 244
 Бета-распад 197, 198, 276
 Бетельгейзе (красный супергигант) 53
 Библиотека 103, 104, 105, 107
 Библия
 и генеалогия 93, 295
 история сотворения мира 117, 296, 297
 как история 117
 композиция (Ветхий Завет) 296
 Блум, Гарольд 123
 Бог, см. также Религия
 законы божьи 109, 139, 372
 природа и идея Бога 18, 98, 101, 108, 300, 385
 Бозоны 198, 199, 213, 226, 232, 263
 Бойль, Роберт: *Диалог о трансмутации металлов* 107
 Боккаччо, Джованни 108
 Большого взрыва теория 88, 142, 143, 218, 219, 222, 224, 226, 233, 235, 238, 240, 249, 255, 257, 259, 262, 263, 264, 267, 370
 Большого Пса карликовая галактика 55, 59
 Большое Магелланово облако (БМО) 62, 63
 Большой адронный коллайдер (БАК) 192, 217
 Бом, Давид 208
 Бор, Нильс 177, 178, 179
 Борн, Макс 185
 Бострем, Николас 15
 Бозций, Аниций Манлий Северин: *Утешение философией* 106
 Браге, Тихо 116
 Браун, Роберт 174
 Брехт, Бертольд 19, 390
 Бройль, Луи де, 7-й герцог 185
 Бромидж, Тимоти 358
 Броуновское движение 198
 Будда 70, 100
 Булавочная головка 149, 150
 Бумеранга туманность 56
 Бурдж Дубай, Дубай 32
 Бьорк, Расмус 374
 Бюффон, Жорж-Луи Леклерк, граф де 298, 303
 ■ вакууме 76, 121, 122, 211, 228, 232
 В галактике 260
 В движении 40, 125, 138
 В звездах второго поколения 267, 270
 В квантовой механике 208, 218, 221, 223
 В космосе 43, 114, 121, 256, 269
 В философии Платона
 Вавилон 92, 93, 94, 103
 Вадлоу, Роберт 29
 Вайнберг, Стивен 18
 Вакуум: в квантовой механике 211, 222, 228, 229
 Вакуумы 76, 121, 122, 157, 187, 188, 191, 211, 222, 223, 228, 229, 232, 233, 242, 263,
 Великая китайская стена 36, 67
 Великая стена (сверхскопления галактик) 66, 68
 Великая цепь бытия 300, 381
 Великий Аттрактор (галактики) 125
 Венера (планета)
 атмосфера 290
 расстояние до Земли и орбита 39, 40, 115
 состав 273
 тектонические плиты, неподвижные 289, 290

- температура 291
- яркость 57
- Вера в действительность и универсальную перспективу 74
- Веспуччи, Америго 62
- Видимость 30, 32, 44, 179, 183, 184, 241, 267, 356
- Виды (биологические) 300, 301, 302, 304, 338, 354, 356, 359, 362, 363
- Викрамасинг, Чандра 324
- Виктория, королева 354
- Винчи, Леонардо да 38, 294
- Виртуальные 193, 194, 196, 197, 198, 220, 233
- Вкус 88, 99
- Водород
 - в спектре 140
 - во вселенной 46, 140, 165, 238, 239, 246, 247, 248, 249, 251, 258, 267, 270, 278, 326, 369, 384
 - гидротермальные скважины 151, 320
 - ядра 159, 237, 238, 244
- Возрождение и повторное открытие древнего знания 106
- Воластон, Уильям 165
- Волновое уравнение (Шредингера) 185, 186
- Волос Вероники сверхскопление (галактик) 66
- Вольтер, Франсуа Мари Аруэ 296
- Вордсворт, Уильям 368
- Вояджер I (космический зонд) 46
- Время
 - и пространство 12, 69, 70, 71, 125, 126, 131, 132, 133, 134, 138, 212, 221, 377
 - измерение (действие) 77
 - как измерение 79, 82, 222
 - как иллюзия 70, 78
 - научное исследование 78, 79, 223
 - течение 70, 77, 80, 81, 204, 373
- Вселенная
 - в философии Платона 101, 120, 124
 - возраст 83, 143, 220, 225, 226, 235, 236, 247, 256, 275
 - горизонт и за его пределами 115, 142, 144, 241, 253, 263, 265
 - движение [во вселенной] 40, 97, 101, 110, 116, 118, 121, 122, 123, 124, 125, 128, 138, 141, 167, 260
 - допущение Эйнштейна об изотропности 135, 136
 - другие миры [во вселенной] 99, 205
 - единое описание 14, 87, 89, 95, 123, 126, 130, 192, 274, 283, 374
 - и общая относительность 136, 137, 219, 228, 262, 307, 373
 - как квантовый ландшафт 177, 226, 228, 229, 230
 - лабораторное создание 202, 245, 269
 - масса [во вселенной] 211, 212, 243, 260
 - место человека [во вселенной] 14, 28, 88, 147, 285, 347, 371, 375
 - множественность 370
 - обитатели 45, 75
 - плоскость 232, 282
 - постижение 102, 103, 135, 210
 - происхождение и ранний возраст 143, 220
 - распределение материи 232, 241
 - расширение 12, 137, 138, 141, 142, 179, 218, 225, 226, 233, 262, 263, 314, 369
 - рост ускорения 262, 263
 - свет [во вселенной] 43, 47, 59, 69, 142, 144, 227, 231, 239, 240, 254

- состав и протяженность 125
судьба 250, 267, 368, 369, 383
Выживание наиболее приспособ-
ленного 304, 308, 328, 364, 365
Вычисления: квантовые 205, 206
- Газ**
в образовании звезд 40, 42, 46,
49, 54, 60, 242, 243, 264, 267, 268, 271,
272, 273, 286, 291
газовые законы 207, 242
- Галактики**
движение 141
и сила гравитации 58, 59, 64,
65, 123, 263
и черные дыры 59, 60
карликовые 41, 44, 57, 59, 61, 62, 63,
64, 149, 353
и темная материя 57, 59, 61, 62,
63, 64
определенные и описанные
57, 63, 136, 142
скопления 47, 61, 65, 68, 228,
231, 242, 255, 260, 266
содержимое 60, 61, 62, 63, 234,
257, 260, 261, 268, 286
сформировавшиеся 60, 68, 255,
256
- Галилео, Галилей 113
Галлея комета 45, 274
Гало (галактические) 61, 67, 260, 261,
268,
Гальтон, Френсис 304
Гамма-лучи 56, 172
Гамов, Георгий 212, 224
Гейзенберг, Вернер 180, 181, 182, 183,
184, 185, 186, 197, 201, 208, 370
Гелий
во вселенной 46, 165, 238, 239,
245, 248, 253, 254, 258, 270, 287
ядра 237, 238, 244, 247, 252
- Гелиопауза 46
Гелл-Манн, Мюррей 160, 192
Гемоглобин 312
Генетика 308
Генетическое устройство 313, 316,
362
Геном (молекула ДНК) 310, 315, 316,
317
Генрих I, король 71
Гены 308, 310, 311, 312, 313, 315, 316,
317, 332, 333, 391
Геодезические купола 152, 153
Геологическое время (и датировка)
293, 297, 299, 306, 331, 332, 334, 338,
345
Георг III, король 43
Гераклит 77, 78, 97, 98, 390
Гермес, Трисмегист (Тот) 107
Герметическая традиция 107, 108
Герц, Генрих 172, 173, 175
Гершель, Уильям 43
Гея (теория) 323, 328, 369
Гидра Центавра сверхскопление
(галактик) 66
Гизин, Николас 209
Гилберт, Уильям 95
Гипатия 105
Гипергиганты (звездные) 55, 251
Гиппарх 110
Глаз: развитие 163, 305, 313, 316, 336,
337
Глизе 581 (звезда) 279
Глобальное потепление, см. также
парниковый эффект 290, 291, 323,
324, 339, 346
Глюино 213
Глюоны 196, 197, 199, 213, 233, 234
Голландия, см. Нидерланды 117, 146
Голоцена период 346
Гомеотические гены 316
Гомер 94, 95, 108

- Гоминиды 345, 352, 353, 354, 359, 361
 Гоминини 357, 359
 Гоминины 355, 356
 Гоминоиды 352
 Гондвана (континент) 338
 Горизонт: расстояние 32, 33, 119
 Гориллы 319, 345, 353, 354, 355, 362
 Гравитация
 в космосе 43, 123, 256, 257, 268, 274
 в образовании звезд 44, 212, 243, 246, 248, 257, 267, 270, 271, 273, 277
 и масса 123, 243, 245
 и общая теория относительности Эйнштейна
 и понимание устройства вселенной 47, 48, 49, 50, 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 134
 и свет 133, 135, 162, 192, 214
 квантовая теория гравитации 165, 169, 196, 200, 214, 215, 218, 221, 222
 Ньютонова теория гравитации 116, 122, 123, 124, 126, 129, 133, 134, 165, 169, 170, 193
 отталкивающая 262
 сила тяготения 43, 113, 116, 123, 132, 133, 144
 эффекты 134
 Гравитоны 214, 218
 Грей, Джон 94
 Гренландия 321
 Греция (древняя)
 и астрономия 95, 96, 110
 цивилизация и философия 77, 78, 94, 96, 98, 108, 165, 168
 Греческий язык и Возрождение 95, 106, 107, 108, 109, 110, 136
 Гриббин, Джон 157
 Григорий XIII, папа 80
 Гуанин 309, 310
 Гук, Роберт 145, 146, 163
 Гулд, Стивен Джей: Удивительная жизнь 332
 Гут, Алан 226
 Гюйгенс, Кристиан 81, 163
 Даймонд, Джаред 369, 391
 Дайсон, Фримэн 195, 378
 Дальтон, Джон 155
 Данте, Алигьери 108, 114
 Дарвин, Чарлз
 Происхождение человека 299, 391
 Происхождение видов 300, 307, 308, 391
 Дарвин, Эразмус 303
 Дарт, Рэймонд: *Adventures with the Missing Link* 348
 Девонский период 340, 341
 Девы сверхскопление (галактик) 65, 68, 125
 Девы скопление (галактик) 65, 66
 Дейтерий 237, 239
 Дейч, Дэвид 205, 206
 Декарт, Рене 123, 124, 125, 375
 Декогеренция 203, 204
 Дельсемм, Арман 15, 223, 287
 Деметрий 103
 Демокрита философия 155
 Деннет, Дэниел: *Darwin's Dangerous Idea* 299
 День: деление 79, 80
 Деревья: размер 203
 Детерминизм 207, 208
 Джастроу, Роберт 385
 Джойс, Джеймс 160
 Джонсон, Сэмюель 70, 71, 162
 Динозавры 30, 342, 343, 351
 Дирак, Поль 186
 Дистанция 40, 47, 48, 51, 53, 215, 249

ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) 151, 154, 269, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 316, 317, 318, 319, 329, 330, 344, 351, 358, 361, 362, 384,
Докинз, Ричард 304, 332, 333, 391
Доплер, Кристиан 140
Доплера эффект 140, 141
Досократики (философы) 78, 94, 96, 99, 200
Дрейк, Фрэнк 381
Дрекслер, Эрик 153
Дресслер, Алан 17
Дэви, сэр Гемфри 169

Евразия: и эволюция древнего человека 346, 359
Египет (древний) 30, 31, 72, 93, 94, 96, 105,
Единые теории 14, 87, 89, 95, 123, 126, 130, 192, 274, 283, 374
Естественный отбор
 и законы природы 304, 305, 306, 315, 324, 325, 372
 эволюция 303, 307, 325, 332, 333

Животные

 анатомия 302, 303, 310, 318, 323, 331, 335, 336, 338, 339, 340
 размер 29, 30, 363
 см. также формы жизни 390, 326, 330, 336, 340, 341, 343, 345, 364

Жизнь

 во вселенной 51, 55, 57, 74, 76, 206, 238, 245, 248, 251, 252, 269, 281, 287, 293
 на Земле 21, 152, 266, 269, 281, 287, 293, 326, 330
 происхождение 150, 287, 288, 294, 299, 309, 325, 330, 350, 369
 эволюция 299, 307, 357, 384

Заратустра 100

Затмение солнечное 284

Звездные системы 50, 51

Звезды

 движение 53, 58, 62, 91, 102, 111, 112, 121, 134, 279
 как источники света 38, 47, 52, 54, 55, 67, 240
 образование и состав 48, 54, 55, 178, 212, 242, 243, 244, 245, 249, 251, 253, 259, 267, 269, 282, 286
 размер и жизненный цикл 16, 17, 50, 51, 145, 243, 246, 247, 250, 251, 270

Здания: высота 31, 32, 33

Земледелие: возникновение 79, 92

Земли-Златовласки 279

Земля

 атмосфера 34, 291, 292, 322
 в движении 92, 111, 112, 113, 115, 116, 123, 124, 128, 133
 в столкновении 42, 275, 286, 343
 вода 93, 287, 288, 290
 возраст 20, 275, 276, 289, 297, 306, 334
 гравитационное поле 44, 60, 67, 64, 212
 железное ядро 284, 369
 жизнь 281, 283, 287, 293, 294, 326
 земные массивы и тектонические плиты 289, 290
 и гипотеза Геи 323
 и другие миры 74, 75, 279, 280
 измерение окружности 104
 как астрономическая единица измерения 271
 как центр вселенной 15, 58, 101, 110, 118, 121, 125, 280, 380
 кора 34, 276, 292

- ледниковые периоды 340, 344, 346, 347
 магнитное поле 56, 170, 171, 174, 284, 285, 291, 292, 327
 расстояние от солнца 39, 40, 82, 284
 скорость 82
 смещена из центра вселенной 58, 118, 280
 состав 165, 273, 276, 292, 293
- Известия** 322, 348
- Излучение**
 21-сантиметровое / излучение 258, 259
 см. также космическое микро-волновое фоновое излучение 238, 239, 240
 эволюция / излучение 142, 171, 172, 199, 227, 240, 258, 321, 322, 370, 384
 электромагнитные поля / излучение 172, 178, 238, 239, 257
- Измерение**
 единицы 39, 42, 50, 69, 71, 72, 73, 75, 76, 83, 177, 219, 251
 и квантовая механика 183, 187, 202, 205, 209, 217
 и наука 69, 74, 77, 80, 84, 88, 130
- Измерения:** количество 42, 88, 104, 187, 216, 217, 240
- Изотопы** 75, 237, 245
- Изумрудная скрижаль** (алхимический текст) 107
- Индукция** 169
- Индустана долины цивилизация** 93
- Инерция, закон** 121, 122
- Инквизиция католическая** 116, 117, 119
- Инопланетянин** 63, 74, 75, 79, 271, 373, 374
- Инфляция** 226, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 242
- Инфракрасное излучение** 290, 291
- Иова книга** 100, 240
- Искусство:** древнее 96, 365
- История** 81, 82, 83, 88, 91, 92, 93, 98, 103
- И-Цзин** (книга предсказаний) 97
- Маббала** 97
- Казимира эффект** 194
- Кайнозойская эра** 344
- Каку, Митио** 134
- Калаби, Эудженио** 216
- Калаби-Яу форма** 216
- Календари** 79, 80, 94, 111
- Кальвин, Жан** 350
- Кальция карбонат** 322, 323
- Каменноугольный период** 341
- Кант, Иммануил** 70, 78, 297
- Капитализм** 20, 304
- Карман, Теодор фон** 34
- Катодные лучи** 157, 198
- Квазары** 67, 241, 256, 257, 258, 259
- Квантовая пена** 228, 230
- Квантовая физика и механика**
 вычисления 179, 182, 183, 203, 205, 206
 и вселенная 177, 226, 228, 229, 230
 и гравитация 165, 169, 196, 200, 214, 215, 218, 221, 222
 и движение электронов 159, 177, 178
 и кварки 160, 161, 188, 189, 190, 191, 196, 198, 234, 235
 и классический мир 182, 194, 200
 и мгновенная передача информации 184
 и мир крупных объектов 183, 217

- и многомерное пространство
 - 192, 205, 229
 - и общая относительность 186,
 - 215, 218, 219, 221, 228, 307
 - и парадокс ЭПР 208, 209
 - и расширение вселенной 137,
 - 138, 141, 142, 179, 218, 225, 226, 233,
 - 262, 263, 314, 369
 - и реальность 190, 201, 204,
 - 207, 208, 238
 - и спин 190, 209, 214, 218, 221, 236
 - и теория света 178
 - импульс и расположение час-
 - тиц 180, 182, 184, 187
 - многообразие частиц 193, 215,
 - 220, 223
 - множественность миров 185,
 - 192, 307
 - об энергии 186, 194, 198, 228
 - теория поля 197, 198, 220, 228
- Квантовая хромодинамика (КХД)
 - 196, 235
- Квантовая электродинамика (КЭД)
 - 195
- Кварк-глюонная плазма 233, 235, 274
- Кварки 160, 161, 188, 189, 190, 191,
- 196, 198, 234, 235
- Кебарское племя (Левант) 366
- Кельвин, барон Уильям Томсон 276
- Кембрийский взрыв 231, 232, 331, 333,
- 334
- Кембрийский период 334, 335, 337,
- 338,
- Кеплер, Иоганн 56, 57, 62, 116
- Киббл, Томас 189
- Кинг, Стивен 29
- Кислород 198, 247, 248, 250, 269, 287,
- 292, 312, 321, 322, 327, 329, 330, 335, 341
- Китай
 - древняя цивилизация 55, 81,
 - 93, 296, 359
 - и генеалогия 296
- Китс, Джон 20, 28, 379
- Классический мир (материальный)
 - 106, 182, 183, 184, 187, 200, 203, 208
- Клетки
 - и гены 308, 311, 312, 313, 314, 361
 - ядра 361
 - размер 150
- Клещи 150, 340, 341
- Климат: и человеческая культура
 - 290, 346, 353, 367
- Койпера пояс 44, 45, 46, 49, 273, 275,
- 278
- Колумб, Христофор 104
- Кометы 34, 43, 45, 48, 49, 273, 274,
- 275, 278, 287, 293, 343
- Константы: в природе 211, 219
- Конфуций 100
- Конзе, Эдвард 12
- Копенгагенская интерпретация
 - квантовой механики 201, 205,
 - 209
- Коперник, Николай
 - De revolutionibus orbium*
 - coelestium* 112
- Коричневые карлики 247
- Космическое излучение 284, 285
- Космическое микроволновое излу-
- чение, или реликтовое излучение
- 238, 239, 240
- Космологическая константа 137,
- 142, 262, 263, 282
- Космологический принцип 135, 136,
- 137, 228, 231, 232
- Космос
 - и порядок 95, 97, 98, 101
 - как слово 95
 - см. также вселенная 142, 287
- Кошки парадокс 200, 202, 209
- Крабовидная туманность 55, 56
- Крайслер, Уолтер 32

- Крайтон, Майкл: *Парк юрского периода* 351
- Красное смещение 140, 141, 239, 257
- Красные гиганты 51, 52, 53, 61, 246, 247, 369
- Красные карлики 50, 61, 247
- Крик, Фрэнсис 308, 309
- Ксенофан 91
- Кювье, барон Жорж Леопольд Дагобер 301, 302
- Кюри, Мари 201
- Лавлок, Джеймс** 323, 368
- Лайелл, сэр Чарльз: *Принципы геологии* 306
- Ламарк, Жан-Батист Пьер Антуан де Моне, Шевалье де 303
- Лао-Цзы 100
- Лавлас, Пьер-Симон де 181, 274
- Лаурентия (континент) 338
- Левенгук, Антон ван 146
- Левкипп 99
- Ледниковый период 340, 344, 346, 347
- Лейбниц, Готфрид 14, 78
- Леметр, Жорж 138, 139, 141
- Лептоны 236, 238
- Лижи, Луис 357
- Лижи, Ричард 357
- Линзы 113, 115
- Линкольна собор 31
- Линней, Карл 300
- Литий 237, 238
- Личность: ее природа 70, 373
- Локоть (единица измерения) 72
- Луна
 воздействие на движение Земли 79, 123, 284
 возраст камней 293
 кратеры 277, 289
 происхождение 276, 277, 283, 284, 291
 расстояние до Земли 38, 283, 284
 условия 114, 115, 283, 291
- Льюис, Гилберт 177
- Любовь: формы 86, 98, 108, 385
- Люттер, Мартин 109
- Магеллан, Фердинанд** 62
- Магнетизм 84, 168, 171, 173
- Майкельсон, Альберт 19, 167
- Майр, Эрнст 332
- Макемаке (карликовая планета) 45, 46
- Максвелл, Джеймс Клерк 172, 173, 174, 176
- Малое Магелланово облако 62
- Малость 146
- Мантел, Хилари 86, 393
- Маргулис, Линн 329
- Маркс, Карл 20
- Марс (планета) 40, 273, 276, 285, 291
- Масса
 во вселенной 220, 236, 369
 и гравитация частиц 44, 60, 122, 123, 213, 214, 221, 243, 245, 268
 и энергия 162, 180, 211, 212, 221, 243
 массивные объекты гало галактик (*МАСНО*) 58, 65, 134, 255, 261
- Математика
 и квантовая механика 183, 184, 185, 194, 195, 214, 217, 232
 и ньютонова теория гравитации 122, 124
 и общая теория относительности 132, 133, 135, 137, 138
 и описание природы 87, 101, 120, 122, 191, 196
 начала 22, 87, 96, 116

- природа 101
свойства 210, 223, 231
- Материя и антиматерия 12, 34, 39, 40, 54, 55, 59, 67, 107, 122, 134, 142, 144, 154, 156, 160, 162, 163, 186, 187, 188, 189, 194, 196, 199, 214, 219, 221, 222, 225, 228, 230, 232, 233, 234, 238, 239, 240, 241, 248, 250, 256, 257, 260, 261, 262, 263, 264, 272, 276, 286, 287, 309, 311, 326, 375
- Мах, Эрнст 128, 155, 156
- Маятники 81, 125
- Медуза 316, 336
- Международная подкомиссия по глобальной стратиграфии 337
- Мезозойская эра 342
- Мезоны 224, 235
- Мел 322
- Меланин 315
- Меловой период 342, 344
- Мендель, Грегор 307
- Меркурий (планета) 40, 134, 275
- Мерчисон, Австралия 286
- Месопотамия 92, 103, 297
- Мессье, Шарль 54, 64
- Местная группа (галактик) 65, 68, 125, 266
- Металлы: в звездах 248, 249, 258, 270, 273
- Метафизическая спекуляция 24
- Метеоры и метеориты 34, 38, 165, 275, 286, 294, 339, 342
- Метр: определение 28, 71, 72, 73, 75, 77
- Микроскопы и микроскопия 88, 146, 150, 162, 165, 191, 194, 242, 308
- Миоцена эпоха 345
- Митохондрия 329, 330
- Млекопитающие
маленький размер 149
развитие 303, 342, 343, 345, 363
- Млечный путь, см. также Галактики 35, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 125, 136, 251, 257
- Мозг
сложность 328, 348, 349, 356, 364, 376, 377, 378
развитие 336, 337, 349, 351, 357, 358, 359
и разум 16, 101, 106, 181, 368, 375, 376
и вселенная 374
- Молекулы
Видимость 202
образование 152, 154, 155, 268, 269, 281, 292, 311, 312, 337
пребиотические 325
- Молекулярная биология 152, 318, 319, 354, 361
- Мона Лиза (портрет) 394
- Моно, Жак 15
- Монро, Мэрилин 28
- Море: см. Океаны 151, 320, 321, 330, 338
- Морли, Эдвард 166, 167
- Мо-Цзы 122
- мощи (святых)
- М-теория
- Мультивселенная 230, 326, 371
- Мунго, Австралия 360
- Мутации (генетические) 310, 315, 317, 361
- Мухаммед, пророк 106
- «Мэйфлауэр» (корабль) 295
- Мюоны 326
- Нанобы 151
- Нанометр 151, 153
- Нанотехнология 152, 153
- Наноуглеродная трубка 153
- Наполеон I (Бонапарт), император 295

- НАСА: о возрасте вселенной 42, 45, 143
 Насекомые: развитие 298, 342
 Насекомых яйца 150
 Наука
 вера в действительность и универсальную перспективу 74
 и описание объектов 43, 74, 83, 85, 87, 89, 205, 308, 384, 385
 фальсифицируемые теории 188, 358
 вопросы и ответы 14, 19, 87
 временность 91, 117, 127, 253
 и измерения 17, 83, 84, 88, 120
 и постижение материального мира 15, 18, 20
 и религия 18, 19, 117, 301, 375, 380, 381
 и универсальное описание мира 15, 160
 и философия 25, 77, 93, 95
 и школа 22, 23, 24
 история 19, 77, 83, 106, 109, 118, 139, 157, 164, 173, 224
 как слово 85
 Научный метод 20, 43, 69, 83, 84, 85, 86, 89, 91, 97, 102, 103, 116, 120, 138, 204, 210, 253, 371, 372, 375, 376, 378, 380, 381
 Неандертальцы 360, 364, 365, 366
 Небеса: как обиталище богов 101, 145
 Нельсон, Гораций, адмирал, виконт 28, 31
 Нептун (планета) 43, 44, 272
 Нейман, Джон фон 285
 Нейтрально 261
 Нейтрино 188, 235, 236, 244, 261
 Нейтронные звезды 55, 56, 59, 134, 251
 Нейтроны 55, 160, 196, 197, 197, 235, 237, 238, 244, 245
 Нельсон, Гораций, адмирал, виконт 28, 31
 Неогена период 345
 Неопределенности принцип 180, 183, 187, 370
 Неопротерозой 334, 335
 Нептун (планета) 43, 44, 272
 Нидерланды (Голландия): изобретение телескопа 119
 Нил, река 37, 107
 Ницше, Фридрих 94, 358, 376, 391
 Ничто 12, 13, 14, 98, 129, 145, 147, 148, 181, 211, 212, 270, 280
 Нумерология 96, 97
 Ньютон, сэр Исаак
 законы движения 80, 121, 122, 124, 129, 173, 181
 законы, модифицированные теорией Эйнштейна 125, 127, 129, 130, 134
 и алхимия 107, 326
 и Божий закон 139, 372
 механика 124, 125, 166, 173, 174, 221, 274
 о возрасте Земли 297
 о гравитации 123, 124, 133, 169, 170, 193
 о природе света 129, 131, 163
 Ньютонова теория гравитации 116, 123, 129, 130, 133, 134, 169, 170
 Обезьяны 345, 352, 353, 354, 356, 365
 Облака: высота 34
 Огонь: использование человеком 366
 Озоновый слой 292
 Окаменелости 30, 239, 298, 301, 318, 321, 331, 332, 336, 338, 339, 340, 351, 352, 353, 354, 355, 357
 Океаны: и формы жизни 151, 320, 321, 330, 338

- Окисление 322
 Оккам, Уильям 206
 Оккама бритва 206
 Окружность
 и небесное вращение 101
 как идеальная форма 97, 110,
 277
 Олимпийские игры (776 до н. э.)
 94
 Оорта облако 48, 49, 273, 275, 278
 Оптика 163, 173
 Опыт: личный 16, 22, 78, 85, 373
 Орангутанг 352, 354
 Органеллы 329, 330
 Ордовикский период 339, 340
 Ориона туманность (или M42) 54,
 55
 Орудия: древние 357, 358, 366
 Остракизм 105
 Отложение осадков 298, 306
 Относительность
 общая теория 133, 134, 135,
 136, 137, 138, 142, 162, 184, 218, 221,
 228, 262, 307
 см. также Эйнштейн, Альберт
 133, 137, 138, 173, 184, 185, 211
 специальная теория 127, 132,
 133, 167, 174, 186, 211
 Палеоантропология 350
 Палеозой 335, 337
 Палеоцен 344
 Пангея (континент) 342
 Паннотия (континент) 337
 Параллакс 111, 112, 140
 Парантропы 356
 Парменид 98, 212
 Парниковый эффект, см. также
 Глобальное потепление 290, 291, 323,
 324, 339, 346
 Партон, Долли 160
 Партоны 160
 Паскаль, Блез 11, 207
 Пасха: вычисление 109
 Пасхи острова 369
 Патер, Уолтер 293
 Паттерсон, Клэр 275
 Паули принцип исключения 248
 Паули, Вольфганг 190
 Пегаса 51 (звезда) 52, 278
 Пегаса созвездие 53
 Пекинский человек 359
 Пергам 105
 Пермский период 342
 Пикассо, Пабло 385
 Пипс, Сэмюель 146
 Пирамиды (египетские) 31
 Пистолет (звезда) 251
 Пифагор (и пифагорейцы) 96, 97,
 100, 101, 220
 Планетезимали 271
 Планетные системы (не солнеч-
 ные) 123
 Планеты
 в столкновении 275, 276, 277
 определение 44
 образование 40, 44, 270, 271,
 272, 273, 277
 законы движения 40, 64, 73, 97,
 110, 116, 123, 124, 134, 138, 164, 166, 167
 форма и направление орбит
 33, 35, 36, 39, 48, 49, 52, 110, 112, 116,
 133, 274
 Планк, Макс 127, 175, 176, 177, 219
 Планка постоянная 219
 Планковские единицы (и единицы
 времени) 220, 221, 225, 226, 236
 Платон 98, 100, 101, 105, 107, 108, 120
 Плейстоцен 346
 Плиоцен 345
 Плутониды (транснептуновые кар-
 ликовые планеты) 44, 272

- Плутон (карликовая планета) 44, 46, 272, 273
- Подольский, Борис 209
- Позвоночные: возникновение 302, 339
- Поздняя тяжелая бомбардировка 277, 281, 289, 343
- Позитроны 186, 238, 244
- Покой (отсутствие движения) 56, 124, 125
- Полимеры 154, 325
- Половое размножение 303, 313, 331
- Половой отбор в эволюции 303, 305, 307, 391
- Поля
 взаимодействие 169, 170, 171, 174, 193, 195
 и квантовая механика 174, 186, 188, 189, 193, 194, 195, 197, 215, 220, 228, 263
- Поминок по Финнегану* 160
- Поппер, Карл 166, 391
- Популяция I (звезды) 60, 259, 266, 270
- Популяция II (звезды) 61, 254, 255, 259
- Популяция III (звезды) 253, 254, 257, 258, 259
- Постоянство и спектральный анализ 76
- Приматы 300, 344, 351, 352
- Природа
 единая теория 183, 192, 205
 законы 19, 21, 59, 108, 139, 144, 204, 219, 229, 230, 326, 368, 370, 371, 372, 378, 385
 и декогеренция 204
 и материализм 85, 88
 и язык математики 87, 101, 122, 191
 константы 211
- Прогресс 20, 77, 82, 83, 88, 93, 117, 127, 137, 253, 379, 385
- Происхождение и наследственность 307
- Прокариоты 329, 337
- Проксима Центавра (звезда) 50
- Пространство
 бесконечность 11, 124, 125
 и время 12, 50, 69, 70, 71, 125, 126, 131, 132, 133, 134, 138, 212, 221, 264, 377
 пространство-время 50, 131, 132, 133, 134, 162, 170, 212, 217, 221, 232, 373, 377
 см. также Вселенная 40, 138, 234, 254
 содержимое 38, 70, 134, 147, 184, 264
- Протагор 28
- Протактиний 276
- Протогалактики 255
- Протозоа 330
- Протоны 159, 160, 161, 191, 193, 195, 196, 197, 198, 199, 235, 237, 238, 244, 245, 272, 284
- Протофиты 330
- Пруст, Марсель: «В поисках утраченного времени» 87, 377, 391
- Птолемей, Клавдий: *Альмагест* 110, 111
- Пуанкаре, Анри 378
- Пыльца: движение на поверхности воды 174, 175
- Радияция**
 обнаружение и описание / радиация 157, 158, 284, 285, 292
 солнца/излучение/радиация 56
- Радиоактивность: и распад 285
- Радиоволны 56, 172, 257

- Размер (величина) 16, 28, 30, 58, 110, 150, 153
 Разум: и мозг 16, 101, 106, 181, 368, 375, 376
 Рамсей, Фрэнк 16
 Резерфорд, барон Эрнест 158, 159, 178, 198
 Рекомбинация 239
 Религия
 научное постижение 375, 380, 381, 385
 отношение ученых 17, 18, 109, 296
 Рентгеновское излучение 172, 292
 Ржавение 322
 Рибосомы 311
 Ридер, Джон 358
 Риз, Мартин 371
 Рисовые поля 227, 228
 РНК (рибонуклеиновая кислота) 269, 311
 Родиния (континент) 330
 Родопсин 337
 Розен, Натан 208
 Росс, Уильям Парсонс, третий граф 55
 Рост (биологический) 299, 316, 324
 Рыба
 маленькая 149
 происхождение 300, 303, 339, 340, 341
 Сарате, Люсия 148
 Сателлиты (на земной орбите) 35, 36, 37, 38, 143
 Сатурн (планета) 42, 47, 271, 272, 273
 Сахаров Андрей 234
 Сверхновые 54, 55, 56, 62, 249, 250, 251, 254
 Сверхскопления 65, 66, 68, 125, 242, 263, 266
 Свет
 видимый 47, 171, 172, 257
 волновая и корпускулярная теория 164, 185, 193
 и время 135, 220
 и гравитация 60, 135, 144, 162, 192, 214, 259
 и квантовая механика 175, 176, 177, 178, 179
 и материя 144, 162, 163, 199, 240
 и темная материя 261
 и фотоэлектрический эффект как источник вселенной 69, 76, 77, 142, 143, 227
 материалистичная теория 12, 150, 162, 280
 скорость 59, 60, 76, 128, 129, 130, 131, 133, 135, 167, 171, 172, 173, 187, 192, 209, 211, 219, 231
 см. также излучение 142, 227, 257
 свет [во вселенной] 142, 144
 Световой год 49, 50
 Свободная воля 208
 Седна (небесное тело) 46
 Секунда (единица измерения) 82, 83, 134, 233, 237
 Сила тяготения 113, 116, 122, 123, 132, 133
 Силурийский период 340
 Сильное ядерное взаимодействие 192, 196, 197, 199, 213, 226, 233, 235, 237, 276
 Синий (цвет) 172, 175
 Скварки 213
 Скопления 47, 60, 61, 65, 66, 68, 212, 228, 230, 231, 242, 255, 256, 260, 266, 337
 Слабовзаимодействующие массивные частицы (вимпы) 261

- Слабое ядерное взаимодействие 192, 198, 199, 213, 226, 233, 235, 276
- Слоановский цифровой небесный обзор 41, 66
- Слоуна Великая стена (галактические скопления) 66
- Слоун-мл., Альфред П. 67
- Смерть
и определенность 253, 385
и небытие 13
- Смолин, Ли 24
- Сноу, барон Чарльз П. 133
- Собаки: предки 318
- Созвездия 52
- Сознание 202, 222, 349, 365, 375, 376, 377, 378, 382
- Сократ 100
- Солнечная система
см. также планеты, Солнце 11, 21, 38, 39, 40, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 58, 59, 68, 124, 128, 152, 215, 266, 267, 269, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 281, 285, 286, 343
- Солнце
в галактике 47, 58
гравитационный эффект 134, 135
движение 123, 124
жизненный цикл 51, 248, 383
затмение 284
излучение 284
как источник света 47
как центр вселенной 112, 118
масса 133, 270, 272
образование 267, 268, 269, 285
освещение Луны 38, 39
расстояние до Земли 39, 284, 287
см. также Солнечная система 11, 21, 38, 39, 40, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 58, 59, 68, 124, 128, 152, 215, 266, 267, 269, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 281, 285, 286, 343
- Сольве, Эрнест 201
- Сольвеевский конгресс, Брюссель (1927) 201
- Сотворения мира истории 98, 265, 296
- Социальный дарвинизм 304, 307
- Спектроскопия 140
- Спенсер, Герберт 304
- Сперри, Роджер У. 375, 376
- Спин 189, 190, 209, 214, 218, 236
- Спин (квантовый) 190, 221
- Спиральные рукава (галактик) 60, 125, 260
- Средиземное море высыхает 345
- Стандартная модель (квантовая теория поля) 189, 192, 199, 213, 217
- Статическое электричество 168, 171
- Стрельце, карликовая эллиптическая галактика в 64
- Строматолиты 321
- Стронций-90 198
- Струн теория 215, 216, 217, 218, 220, 221
- Супергиганты (звезды) 55, 251
- Суперсимметричные частицы 213, 214, 217
- Суфи, Абд-ар-Рахман Ас- 62
- Существование: в квантовом мире 182, 190, 200, 201, 203
- Сфера в философии Аристотеля 102
- Счета системы (древние) 72, 92
- Табак 144
- Таоны 236
- Тейлор, А. Дж. П. 208

- Телескопы: изобретение и развитие 35, 55, 56, 88, 112, 113, 114, 142, 146, 162
 Темная материя 260, 261, 264
 Темная энергия 262, 263, 264, 369
 Темная эра 370
 Темные века 106, 238
 Теон, отец Гипатии 105
 Теории всего (единые теории) 14, 87, 89, 95, 123, 126, 130, 192, 274, 283, 374
 Тепло 172, 176, 212, 245, 270, 276, 291, 297, 323
 Тепловая смерть (Большой Мороз) 370
 Термодинамика, второй закон 282
 Термоядерная реакция 244, 245, 268
 Технология, развитие 85, 87, 88, 115, 152, 179, 279
 Тимин 309, 314
 Тихий океан: глубина 33
 Тициан 385
 Томонага Синъитиро 195
 Томсон, сэр Джозеф Джон 157, 158
 Торий
 Торий-234 276
 Транснептуновые объекты 44, 272
 Треугольника галактика 64
 Триасовый период 342
 Тривиум 96
 Трилобиты 338
 Тритий 245
 Туркана озеро 359
 Уайльд, Оскар 29
 Уайтхед, Альфред Норт 100
 Углеводороды 268
 Углерод
 атомы 152, 202
 распределение 323
 образовался 247, 252, 268
 в звездах второго поколения 247, 248, 249, 250, 268
 углеродаты 323
 углекислый газ 268, 290, 291, 321, 322
 Уголь 212, 341
 Удвоение (чисел и мер) 226, 314
 Уилбур, Ричард, *Эпистемология* 162
 Уиллер, Джон 79, 134
 Ультрафиолетовое излучение 172, 175, 292, 322
 Униформизм 306
 Уотсон, Джеймс 309
 Ур Халдейский 93
 Уран 157, 159, 196, 197, 276, 285
 Уран (планета) 43, 44, 272
 Уран-238 275, 285
 Ускорители частиц 23, 26, 85, 188, 191, 192, 198, 222
 Уэвелл, Уильям 300
 Фалес Милетский 94, 95, 168
 Фанерозой 334, 337
 Фарадей, Майкл 169, 193
 Фейнман, Ричард 24, 160, 180, 195, 391
 Феномены: научное исследование 88, 140, 170, 174, 175, 196, 229, 382
 Феофил, епископ Александрийский 105
 Ферми, Энрико 188, 235, 373
 Фермионы 213
 Физо, Арман 128, 129
 Филлиппс, Адам 119
 философия: и древние греки
 Фичино, Марсилио 107
 Фишер, Роналд 308
 Флоренция и Возрождение 17, 54, 81, 99, 106, 107, 108, 109
 Формы жизни

- во вселенной 74, 76
- воздухотышащие 340
- вымирание видов 338, 339, 340, 341, 342, 343, 363
 - и адаптивность 116
 - и ДНК 308, 309, 311, 319, 344, 361, 384
 - и неодоушевленные объекты 309, 325, 326
 - и пребиотические молекулы 325
 - классификация 318
- количество известных видов 345, 364
 - малые 151
 - многоклеточные 313, 319, 327, 330, 331, 334
 - развитие 300, 319
 - растения 31, 298, 299, 300, 308, 326, 330, 338, 339, 340, 344, 346, 356, 366, 382
 - сложность 283
 - см. также человек 377
- Фосфор 287
- Фотино 213
- Фотическая зона (океаническая) 320
- Фотоны 177, 179, 192, 195, 199, 214, 233, 238, 239
- Фотосинтез 212, 321, 330
- Фотоэлектрический эффект 175
- Фрактальная геометрия, фрактальные объекты 231, 256
- Франклин, Бенджамин 168, 189
- Фрейд, Зигмунд 160, 304, 385
- Фридман, Александр 138
- Фрэнкс, Феликс 288
- Фуллер, Бакминстер 152
- Фундаментальный: как слово 126
- Фурье, Жозеф 297
- Фут (единица измерения) 71
- Хаббл, Эдвин 139, 140, 141, 179
- Хаббла телескоп 35, 56
- Хаксли, Томас Генри 304
- Хамфри, Николас 365
- Хаоса теория 97, 98, 207
- Харрис, Джудит Рич 363
- Хартл, Джеймс 221, 222
- Хаттон, Джеймс 306
- Хейнс, Джейн: *Who Is It That Can Tell Me Who I Am?* 394
- Хиггс, Питер 199
- Хиггса бозон (и поле) 199, 212, 225, 232, 233, 263
- Хищные (отряд) 302
- Хлоропласты 329, 330
- Хойл, Фред 17, 35, 252, 253, 324
- Хокинг, Стивен 18, 19, 21, 221, 222, 391
- Холдейн, Джон Бердон Сандерсон
- Хондриты 286, 288
- Хоффман, Дональд Д. 377
- Христианская церковь
 - как авторитет в области духа 108, 114
 - конфликты с наукой 381
 - и теория эволюции Дарвина
 - и открытия Галилея
 - и гуманизм 108, 109
 - и мощи 350
- Хромосомы 313
- Хьюз, Тед: *Tales from Ovid* 295
- Хэрриот, Томас 114
- Цвета 34, 38, 140, 163, 175, 176, 177, 190, 196, 221, 233
- Цезарь Юлий 80
- Цезия атом 82, 154
- Цианобактерии 321
- Цивилизация: истоки 92, 93, 93, 94, 96, 298, 366
- Цитозин 309, 314

Чандрасекара предел 250

Частица Бога 199

Частицы

в квантовой механике 179,
180, 183, 184, 185, 190, 193, 194, 199,
220

виртуальные 193, 194, 195, 196,
197, 198, 220, 233

и альфа-распад 196, 197, 276

и бета-распад 197, 198, 276

и поля 171, 186, 193, 194, 196,

220

и размер 34, 156, 157, 160, 161

и спин 189, 190, 209, 214, 218,

221, 236

импульс и местоположение 180,

182, 184, 187

как энергия 169, 176, 178, 180,

187, 191, 192, 198, 216, 217

масса 199, 200, 221

с отрицательной энергией

186, 189, 193, 236

типы и количества 186, 188,

189, 199, 213, 223, 224, 233, 234, 235, 236,
238, 261

Часы 80, 81, 131, 134

Чейсон, Эрик 348

Человек (люди)

воздействие наблюдателя за
квантовыми объектами 111, 127, 131,
140, 173, 201, 213, 227, 282

генетическое устройство 299,

302, 303, 310, 311, 312, 314, 315, 351

зависимость от бактерий 324,

328

задача осмысления окружающего
мира 374, 375

и вымирание видов 338, 339,

340, 341, 342, 343, 363

культурные изменения 81, 145,

365, 366, 367

материнские кланы и общие
предки 361

место во вселенной 14, 15, 28,

287, 373

происхождение и эволюция

151, 299, 339, 351, 353, 356, 360

размер 28, 29, 30, 147, 148

сложность 377, 378

судьба 16

Человеческого генома проект 315

Черного тела проблема 175

Черные дыры 59, 60, 65, 67, 251, 256,
257, 261, 370

Черные карлики 247, 250

Черч мисс (учительница математи-
ки) 23

Четырехмерная сущность 131, 217

Членистоногие 338, 341, 342

Шахматы: изобретение 226, 227

Шварцшильд, Карл 137

Швингер, Джулиан 195

Шекспир, Уильям 123

Шелдрейк, Руперт 375

Шимпанзе 319, 345, 348, 353, 354, 355,
356, 361, 362, 377

Шредингер, Эрвин 185, 186, 200,
201, 308

Шредингера кот парадокс 200, 202,
209

Шумеры 92, 93, 100

Эверетт, Хью 205

Эволюция

и вымирание 298

и генетика 316, 317, 332, 333, 384
и предки 151, 302, 303, 317, 341

темпы и развитие 306, 331, 326,

328, 334, 339, 343

теория 298, 300, 303, 304, 307,

317, 323, 331, 333, 355

- человека 151, 299, 339, 351, 353,
 356, 360
 Эддингтон, сэр Артур 139
 Эдиакарская биота 335, 336
 Эдиакарский период 335
 Эдисон, Томас 379
 Эдуард I, король 72
 Эйнштейн, Альберт
 $E = mc^2$ уравнение 133
 доказывает существование
 атомов 174
 и квантовая механика 206, 207
 и пространственно-времен-
 ной континуум 131, 132, 170, 373
 космологическая константа
 137, 138, 262
 космологические теории 211, 228
 на Сольвеевском конгрессе
 (1927) 201
 о Боге 18, 201
 о гравитации 132, 134
 о движении 120, 127, 129, 130,
 131, 143, 174
 о единой природе 135, 192
 о полноте мира за пределами
 квантовой механики 207, 209, 210
 о равномерности вселенной
 136, 241
 о свете 130, 131, 132, 143, 167,
 176, 177, 178, 211
 о смерти Бессо 373
 об истине и знании 379
 об уравнениях Максвелла 173,
 174
 относительности уравнения
 133, 137, 138, 173, 184, 185, 211
 отрицает эфир 167
 сотворение из ничего 212
 Эйнштейна — Подольского — Ро-
 зена (ЭПР) парадокс 209
 Экзоскелетные животные 338
- Эдридж, Найлс 332, 333
 Электричество
 и магнетизм 84, 168, 169, 171,
 179
 и свет 169, 171
 положительное и отрицатель-
 ное 159, 168, 189, 193
 поля 169, 171, 193
 Электромагнитное излучение и
 взаимодействие 171, 192, 195, 196,
 198, 213, 232
 Электромагнитный спектр излу-
 чения 172, 190
 Электронвольты 215
 Электроны 157, 159, 160, 161, 177, 178,
 179, 183, 186, 188, 189, 190, 193, 195,
 198, 206, 213, 215, 219, 235, 236, 237,
 238, 244, 250, 272
 Электрослабое взаимодействие 199,
 213, 225, 226, 233
 Элементарные частицы 55, 156, 158,
 161, 174, 184, 186, 220, 221, 233, 324,
 392
 Элементы
 количество элементов 102,
 154, 160, 249, 254
 образование в космосе 102,
 198, 247, 248, 251, 252, 254, 255, 268,
 276, 287
 постоянство и спектральный
 анализ 18, 140, 178, 190
 Элиот, Т. 9, 15, 211, 391
 Эмпедокл 98, 102
 Энергия
 в вакууме 187, 222, 223, 228, 263,
 264
 в квантовой механике 177,
 184, 190, 194, 197, 215, 220, 221, 222
 и масса 162, 180, 211, 212, 221
 и сложность 379
 отрицательная 186, 189

- природа 212, 219, 320, 321, 349
 темная 263, 264, 369
 частицы как 158, 176, 180, 184,
 187, 192, 198, 215, 220, 221
Энума Элиш (история творения) 93
 Эпициклы 110, 138, 167, 170
Эпос Гильгамеша 92
 Эпсилон Андромеды (тройная зве-
 здная система) 52, 278
 Эратосфен 104
 Эрис (карликовая планета)
 Эрозия (скал) 290
 Эрстед, Ханс Кристиан 168, 171
 Эукариоты 329, 330, 331, 337
 Эфир 164, 166, 167, 170
 Эфир (Аристотеля) 102, 164
 Юкатан полуостров, Мексика: удар
 кометы 343
 Юм, Дэвид 70
 Юнг, Карл Густав 69, 392
 Юпитер (планета) 42, 47, 115, 214,
 271, 272, 273, 275, 278, 279, 281
 Юрский период 342, 351
 Яванский человек 359
 Ядерное деление 245
 Язык: развитие 81, 106, 108, 110, 123,
 146, 223, 310, 311, 317, 366
 Янг, Томас 164, 166, 202

CORPUS

КРИСТОФЕР ПОТТЕР

ВЫ НАХОДИТЕСЬ ЗДЕСЬ

КАРМАННАЯ ИСТОРИЯ ВСЕЛЕННОЙ

Главный редактор ВАРВАРА ГОРНОСТАЕВА

Художник АНДРЕЙ БОНДАРЕНКО

Ведущий редактор ЕВГЕНИЙ КОГАН

Ответственный за выпуск МАРИЯ КОСОВА

Технический редактор ТАТЬЯНА ТИМОШИНА

Корректор ЕКАТЕРИНА КОМАРОВА

Верстка НИКА ПУНЕНКОВА

ООО "Издательство Астрель",
обладатель товарного знака "Издательство Corpus"
129085, г. Москва, пр-д Ольминского, 3а

Подписано в печать 20.12.11. Формат 84х108/32
Бумага офсетная. Гарнитура "OriginalGaramondC"
Печать офсетная. Усл. печ. л. 21,84
Тираж 5000 экз. Заказ № 0994/12

Общероссийский классификатор продукции
ОК-005-93, том 2; 953000 — книги, брошюры

Охраняется законом РФ об авторском праве. Воспроизведение всей книги или любой ее части воспрещается без письменного разрешения издателя. Любые попытки нарушения закона будут преследоваться в судебном порядке.

Отпечатано в соответствии с предоставленными материалами
в ЗАО "ИПК Парето-Принт", г. Тверь, www.pareto-print.ru

По вопросам оптовой покупки книг
Издательской группы "АСТ" обращаться по адресу:
г. Москва, Звездный бульвар, 21, 7-й этаж
Тел.: (495) 615-01-01, 232-17-16®

