

# Большая история

Один из моих  
любимых авторов...  
и моя любимая тема.  
Рекомендую  
к прочтению.

*Билл Гейтс*

## A Big History of Everything

с чего всё начиналось...

Большой взрыв  ... образование  
первых звезд и Солнечной  
системы... зарождение жизни

на Земле... динозавры  ...

 Homo sapiens... земледелие  ...

ледниковый период...

формирование империй...

открытие ископаемого

топлива  ... высадка на Луну...

глобализация  ...

...и что будет дальше

Дэвид Кристиан

Дэвид Кристиан  
**Большая история**

«Азбука-Аттикус»

2018

УДК 524.85+551.7+579+903+316.3  
ББК 26+28.4+60.52

**Кристиан Д.**

Большая история / Д. Кристиан — «Азбука-Аттикус», 2018

ISBN 978-5-389-16529-8

Большая история – новое исследовательское направление, в рамках которого изучается единый преемственный процесс развития Вселенной – с момента Большого взрыва до настоящего времени. Междисциплинарный проект The Big History Project был основан Биллом Гейтсом и Дэвидом Кристианом с целью разработки целостного курса истории космоса, Земли, жизни и человечества и преподавания его во всем мире. Эта книга, написанная на стыке естественных и гуманитарных наук – физики, геологии, астрономии, истории, социологии и других, – насыщенное обобщение новейших научных представлений о рождении и развитии Вселенной, Солнечной системы, океанов, гор и минералов, всего живого на Земле и о динамике, которую порождают человеческие достижения и культура. Начиная с того, что рождение Вселенной – это такое же чудо, как и все остальное в современной истории происхождения мира, вместе с автором вы проследите увлекательные этапы появления и усложнения элементов нашего мироздания, логику их совершенствования – и риски разрушения.

УДК 524.85+551.7+579+903+316.3

ББК 26+28.4+60.52

ISBN 978-5-389-16529-8

© Кристиан Д., 2018  
© Азбука-Аттикус, 2018

# Содержание

Предисловие	6
Введение	8
Современная история происхождения мира	12
Хронология	17
Часть I	18
1	18
История происхождения мира с нуля	18
Первый порог. Квантовая петелька на ботинках Вселенной	20
Первые структуры	23
Первые атомы	25
Где доказательства?	26
2	31
Свободная энергия – двигатель усложнения	31
Второй порог. Галактики и звезды	32
Галактики и звезды во Вселенной	34
Третий порог. Новые элементы и рост химической сложности	36
3	41
От звездной пыли к молекулам	41
Химические союзы. Как соединяются атомы	42
Четвертый порог. От молекул к спутникам, планетам и солнечным системам	43
Планета Земля	45
Изучение Земли. Сейсмографы и радиометрическое датирование	47
Часть II	50
4	50
Жизнь и информация. Новый вид сложного	50
Определение жизни	53
Условия Златовласки для появления жизни	56
Конец ознакомительного фрагмента.	57

# Дэвид Кристиан

## Большая история. С чего все начиналось и что будет дальше

David Christian  
ORIGIN STORY  
A Big History of Everything

© David Christian, 2018  
© Громова А.Д., перевод на русский язык, 2018  
© Издание на русском языке, оформление

\* \* \*

В основе современной истории происхождения мира лежит идея усложнения. Когда наша Вселенная возникла из вспененного океана энергии, она была чрезвычайно простой. Большинство сложных явлений стали возможными в ключевые переходные моменты, самые важные из которых я называю порогами. Мы – результат эволюции и диверсификации жизни на Земле, и при этом за нашу короткую, но удивительную историю мы создали столько совершенно новых форм сложности, что сегодня играем решающую роль в изменении мира.

*Дэвид Кристиан*

Аргументированная и убедительная история всего сущего... Сочетание мифологии в духе работ Джозефа Кэмпбелла и космологии в стиле Карла Сагана.

*The Washington Post*

Книга повергает в трепет не хуже Большого взрыва... Великолепно!

*Жерар Дегрут, The Times*

Ярчайший пример междисциплинарного исследования.

*Фарид Закария, CNN*

Захватывающий рассказ на основе огромного количества информации из множества областей науки.

*Кен Робинсон, почетный профессор Уорикского университета*

Остроумная манера подачи информации передает истинное очарование науки.

*Nature*

## Предисловие

*Мы рассказываем истории, чтобы все осмыслить. Это у нас в крови.*

*Лиля Хиллс, «Возвращение к сердцу» (Return to the Heart)*

Идея современной истории происхождения мира витает в воздухе. Для меня работа над ней началась с курса по «истории всего», который я впервые прочел в Университете Маккуори в Сиднее в 1989 году. Свой курс я видел как средство понять историю человечества. Тогда же я преподавал и изучал русскую и советскую историю, но меня беспокоило, что, рассказывая студентам о какой-либо стране или империи, я подсознательно даю и следующий посыл: люди – на самом базовом уровне – делятся на племена, которые между собой соперничают. Насколько полезно учить чему-то подобному в мире, где есть ядерное оружие? Отчетливо помню, как во время Карибского кризиса, школьником, я думал, что мы на грани апокалипсиса. Все вот-вот должно было быть уничтожено. Помню и то, как я гадал, есть ли «там», в Советском Союзе, дети, которым так же страшно. В детстве я жил в Нигерии. Оттуда я вынес острое чувство единства и ощущение крайнего разнообразия человеческого общества – все это усилилось, когда подростком я поступил в Атлантик-колледж, международное учебное заведение в Южном Уэльсе.

Через несколько десятков лет, уже будучи профессиональным историком, я начал задумываться о том, как преподавать единую историю человечества. Можно ли рассказывать о наследии, общем для всех людей, с тем же величием и благоговением, с какими говорят о великой истории отдельных стран? Я пришел к убеждению, что нам нужна история, в которой наши предки из палеолита и фермеры неолита играли бы такую же важную роль, как и правители, завоеватели и императоры, серьезно потеснившие в исторической науке всех остальных.

В конце концов я понял, что эти идеи не оригинальны. В 1986 году великий исследователь всемирной истории Уильям Макнейлл написал, что составлять историю «побед и невзгод всего человечества» – это «моральный долг историка в наши дни»<sup>1</sup>. Еще раньше и в том же ключе описывал историю человечества в ответ на кровопролития Первой мировой войны Герберт Уэллс:

Нам ясно, что теперь невозможен иной мир, кроме общего мира во всем мире; иное процветание, кроме всеобщего процветания. Но мир во всем мире и всеобщее процветание невозможны без общих исторических идей... Если все, что у нас есть, это ограниченные, эгоистичные, конфликтные традиции национализма, то расы и народы будут невольно втягиваться в противостояние и разрушение<sup>2</sup>.

Уэллс понимал еще кое-что: преподавая историю человечества, вероятно, придется учить истории всего. Поэтому его «Очерки истории» (Outline of History) превратились в историю Вселенной. Чтобы разобраться в истории человечества, нужно понять, как возник такой странный биологический вид, а тогда нужно узнать, как протекала эволюция жизни на планете Земля, а тогда – узнать, как протекала эволюция планеты Земля, а тогда – об эволюции звезд и планет, а тогда – об эволюции Вселенной. Сегодня об этом можно говорить с такой точностью и научной строгостью, которые во времена Уэллса были просто немыслимы.

---

<sup>1</sup> William H. McNeill. Mythistory, or Truth, Myth, History, and Historians // American Historical Review 91, no. 1 (Feb. 1986). P. 7.

<sup>2</sup> H. G. Wells. Outline of History: Being a Plain History of Life and Mankind. 3rd ed. New York: Macmillan, 1921. P. vi.

Уэллс искал объединяющее знание – знание, которое позволило бы связать между собой и народы, и научные дисциплины. Любая история происхождения объединяет знания, даже если это часть националистической историографии. А самые емкие из этих историй способны провести вас через множество временных шкал и концентрических кругов, в которых вы видите мир и себя: от собственной личности к семье и клану, к нации, языковой или религиозной группе, к огромным кругам «человечество» и «жизнь» и, наконец, к мысли о том, что вы – часть целой Вселенной, или космоса.

Однако в последние столетия с ростом межкультурных контактов стало очевидно, насколько любая история происхождения мира и любая религия зависит от местных традиций и окружающих условий, поэтому глобализация и распространение новых идей пошатнули веру в традиционное знание. Даже самые твердые его приверженцы увидели, что историй происхождения много и все они разные. Кто-то в ответ на это стал агрессивен, вплоть до кровопролития, защищать свои религиозные, племенные и национальные традиции. Но многие просто утратили веру и твердость во взглядах, а вместе с этим – и ориентацию в мире, и ощущение своего места во Вселенной. Этой потерей веры отчасти объясняется вездесущая *аномия* – чувство бесцельности, бессмысленности, а иногда даже отчаяния, которое во многом сформировало литературу, искусство, философию и науку XX века. Хоть какое-то ощущение принадлежности многим дал национализм, но в современном мире глобальных связей очевидно, что он разобщает человечество, пусть и объединяя граждан определенной страны.

Я писал эту книгу с оптимистичной верой в то, что мы, современные люди, не обречены вечно жить в разрозненности и бессмысленности. В созидательном вихре современности рождается новая глобальная история происхождения мира, столь же исполненная смысла, благоговения и таинственности, как и любая традиционная история, только основанная на современном научном знании множества дисциплин<sup>3</sup>. Она далеко не полна, и, возможно, ей не хватает идей старых историй о том, что значит хорошая, стабильная жизнь. Но с ней стоит познакомиться, потому что в основе ее – всемирное наследие тщательно проверенной информации и знаний и потому что это первая история о происхождении, которая объединяет человеческие общества и культуры всего мира. Это всемирный коллективный проект, история, которая одинаково действует в Буэнос-Айресе и в Пекине, в Лагосе и в Лондоне. Сегодня множество ученых работают над увлекательной задачей: они составляют и рассказывают эту современную историю происхождения мира, ищут в ней ориентиры и чувство общей цели, которые она, как и все подобные истории, может дать, но только сегодняшнему миру с его глобализацией.

Сам я впервые попробовал преподавать историю Вселенной в 1989 году. Объясняя, чем я занимаюсь, в 1991 году я стал использовать термин *большая история*<sup>4</sup>. Лишь по мере того, как рассказ постепенно приобретал очертания, я осознал, что пытаюсь выхватить основные эпизоды зарождающейся всеобщей истории происхождения мира. Сегодня большую историю преподают в университетах в самых разных уголках света, а в рамках проекта «Большая история» (Big History Project) ее также изучают в старших классах в тысячах школ.

Такая новая концепция прошлого потребует нам, чтобы справиться с самыми сложными испытаниями и освоить возможности, которые несет в себе XXI век и которые затрагивают весь мир. В своей книге я пытаюсь изложить новейшую версию этой истории – огромной, сложной, прекрасной, вдохновляющей.

---

<sup>3</sup> Великий биолог Эдвард Уилсон красноречиво писал о том, как важно создать более тесные связи между современными научными дисциплинами; см.: E. O. Wilson. *Consilience: The Unity of Knowledge*. London: Abacus, 1998.

<sup>4</sup> Впервые я использовал этот термин в следующей публикации: *The Case for "Big History" // Journal of World History* 2, no. 2 (fall 1991). P. 223–238.

## Введение

*Формы, что приходят и уходят – одна из которых и есть ваше тело, – это мелькание моих конечностей в танце. Узнавайте Меня во всем, и чего вам тогда бояться?*

**Воображаемые слова индуистского бога Шивы в книге Джозефа Кэмпбелла «Тысячеликий герой»<sup>5</sup>**

*Сколь бы все эти вещи ни были невозможны пожалуй как и те что могли случиться как и все прочие что так и не воплотились они в той же мере могли бы быть.*

**Джеймс Джойс, «Поминки по Финнегану» (Finnegan's Wake)**

Мы приходим в эту Вселенную не по своей воле, не выбираем для этого время и место. Мы мелькнем, как космический светлячок, пройдем короткий путь вместе с другими людьми, со своими родителями, братьями и сестрами, детьми, друзьями и врагами. Нашими попутчиками будут и иные живые существа, от бактерий до павианов, и скалы, и океаны, и зори, и луны с метеорами, планеты со звездами, кварки с фотонами, и сверхновые звезды, и черные дыры, и слизняки, и мобильные телефоны, и много-много пустого пространства. Это шествие пышное, яркое, разношерстное, загадочное, и пусть мы, люди, в конце концов покинем процессию, она продолжит свое движение. В далеком будущем другие путешественники тоже будут присоединяться к ней и покидать ее. Через бессчетное количество лет она рассеется, как призрак на рассвете, растворится в океане энергии, из которого когда-то вышла.

Что это за странное общество, в котором мы путешествуем? Где в этой процессии наше место? Откуда она вышла, куда направляется и как в конце концов исчезнет?

Сегодня люди могут рассказать ее историю лучше, чем когда-либо. Мы способны с удивительной точностью установить, что скрывается там, на расстоянии миллиардов световых лет от Земли, и что происходило миллиарды лет назад. Нам это подвластно, потому что в мозаике наших знаний появилось множество новых кусочков и стало проще понять, как может выглядеть вся картина в целом. Это поразительное достижение самого последнего времени. Многие части в нашей истории происхождения мира встали на свое место уже на моей памяти.

Отчасти нам удается строить такие обширные карты Вселенной и ее прошлого, потому что у нас большой мозг, и, как и все организмы с большим мозгом, мы используем его, чтобы формировать внутреннюю карту мира. В результате возникает своего рода виртуальная реальность, по которой мы ориентируемся. Мы не способны непосредственно видеть мир во всех подробностях; для этого потребовался бы мозг размером со Вселенную. Но мы можем строить простые карты фантастически сложной реальности и знаем, что в существенных аспектах они соответствуют действительности. На условной схеме лондонского метро не показано, что пути извиваются и петляют, но миллионы пассажиров все равно перемещаются по городу с ее помощью. Эта книга – своеобразная карта Вселенной в стиле схемы лондонского метро.

От других видов с большим мозгом человека отличает речь. Языковое общение имеет огромную силу, поскольку позволяет нам делиться друг с другом собственными картами мира и таким образом формировать значительно более крупные и подробные карты, чем те, что строит отдельный мозг. Благодаря этому обмену мы также можем сверить свою карту с миллионами других. Таким образом, каждая группа формирует собственное понимание мира, в котором объединены знания, идеи и мысли множества людей за тысячи лет и за много поко-

---

<sup>5</sup> \* Перевод А. Хомика. – Здесь и далее, если не указано иное, прим. перев.

лений. В процессе коллективного обучения люди точка за точкой строили все более информативные карты Вселенной на протяжении тех 200 000 лет, что мы существуем как отдельный вид. Иными словами, одна из частичек Вселенной стала рассматривать саму себя, как будто та медленно приоткрывает глаз после долгого сна. Сегодня этот глаз видит все больше и больше благодаря глобальному обмену идеями и информацией, точности и строгости современной науки, новым исследовательским инструментам – от ускорителей частиц, что расщепляют атомы, до орбитальных телескопов, – а также компьютерным сетям колоссальной вычислительной мощности.

Эти карты рассказывают самую грандиозную историю, какую только можно себе представить.

В детстве, чтобы что-то осмыслить, мне необходимо было поместить это на некую карту. Как и многие, я силился соотнести между собой отдельные области, которые изучал. Литература была никак не связана с физикой, я не видел ничего общего между философией и биологией, религией и математикой или экономикой и этикой. Я все искал и искал основу, своеобразную карту мира со множеством континентов и островов человеческого знания, я хотел увидеть, как все они сочетаются. Традиционные религиозные истории меня никогда не устраивали в полной мере, потому что, живя ребенком в Нигерии, я очень рано узнал, что разные религии предлагают разные и часто противоречащие друг другу концепции, согласно которым мир стал тем, что он есть.

Сегодня в нашем мире с его глобализацией рождается новая концепция. Ее строят, развивают и распространяют тысячи людей из разных научных областей и многих стран. Связывая между собой их данные, мы можем увидеть то, что невозможно разглядеть, оставаясь в рамках отдельной дисциплины, увидеть мир с высоты птичьего полета, а не с земли. Мы можем разглядеть связи между научными картинками разных направлений, поэтому нам удастся глубже размышлять на такие широкие темы, как природа сложности, природа жизни, даже природа нашего вида! В конце концов, сегодня мы изучаем человека в свете различных дисциплин (антропологии, биологии, физиологии, приматологии, психологии, лингвистики, истории, социологии), но специализация мешает каждому из нас отойти на достаточное расстояние, чтобы увидеть человечество в целом.

Попытки найти историю происхождения, которая соединяла бы разные типы знания, стары, как само человечество. Мне нравится представлять себе группу людей, сидящих на закате у костра 40 000 лет назад. В своем воображении я вижу их на южном берегу озера Мунго в озерном районе Уилландра в Новом Южном Уэльсе, где нашли самые древние останки человека в Австралии. Сегодня этот край населяют племена Пааканти, Нгиампаа и Мутти Мутти, но мы знаем, что их предки жили здесь не менее 45 000 лет.

Найденные археологами в 1968 году останки одного из них (его называют Мунго 1) в 1992 году наконец вернули местному сообществу коренных жителей. Это была молодая женщина, частично кремированная<sup>6</sup>. В полукилометре нашли останки другого человека (Мунго 3), вероятнее всего мужчины, который умер в возрасте около 50 лет. Он страдал артритом, а зубы его были сильно стертые, возможно потому, что он протягивал через них волокна, мастера сети или веревки. Его тело похоронили аккуратно, с почтением, осыпав толченой красной охрой, которую добывали за 200 километров оттуда. Мужчину Мунго вернули на озеро Мунго в ноябре 2017 года.

---

<sup>6</sup> Об истории этих находок и колоссальной разнице в отношении к ним у археологов и у нынешних жителей окрестностей озера Мунго можно узнать из чудесного короткометражного документального фильма Эндрю Пайка и Эни Макграт (*Andrew Pike, Ann McGrath*) *Message from Mungo* (Ronin Films, 2014).

Оба этих человека умерли около 40 000 лет назад, когда озера Уилландра, теперь пересохшие, были полны воды, рыбы и моллюсков и привлекали к себе множество птиц и животных, которых можно было ловить и на которых можно было охотиться<sup>7</sup>. Во времена этих людей жизнь на озере Мунго была весьма недурна.

В вечерних беседах у огня, которые я воображаю себе, участвуют девочки и мальчики, мужчины и женщины, родители и деды; некоторые из них закутаны в шкуры животных, кто-то качает младенца. Дети носятся друг за другом у кромки озера, пока взрослые доедают ужин из моллюсков, свежепойманной рыбы, речных раков и стейков из кенгуру. Понемногу разговор становится серьезнее, теперь речь держит один из пожилых людей. Как это часто бывает долгими летними днями и холодными зимними вечерами, старшие члены племени пересказывают то, что узнали от своих предков и учителей. Они задают вопросы, которые всегда занимали меня: как обрел свою форму этот рельеф с его холмами и озерами, долинами и ущельями? Откуда взялись звезды? Когда жили первые люди и как они появились? А может быть, мы были всегда? Связаны ли мы родством с варанами, кенгуру и эму? (На этот последний вопрос и народ озера Мунго, и современная наука отвечают решительным «Да!».) Рассказчики учат истории. Они ведут речь о том, как в далеком прошлом могущественные силы и существа создали наш мир.

Пересказываемые снова и снова днями и ночами, эти истории описывают основополагающие мировоззренческие идеи народа озера Мунго. Такие идеи живучи, они способны сохраняться надолго. Они складываются в необъятную мозаику, которая составляет информацию о мире. Для кого-то из детей некоторые истории могут оказаться слишком сложными, чтобы усвоить их с первого раза. Но они слышат их множество раз в разных интерпретациях и привыкают к ним и к глубоким идеям, которые в них заключены. Подрастая, дети усваивают эти истории. Они знают их все лучше и тоньше воспринимают их красоту, мелкие детали и смысл.

Говоря о звездах, рельефе, вомбатах и кенгуру и о мире своих предков, учителя строят общую карту представлений, которая указывает членам общины, где их место в изобильной, прекрасной, порою внушающей трепет Вселенной: вот что ты такое; вот откуда ты взялся; вот кто был здесь до твоего рождения; вот твои обязанности и задачи, если ты живешь в обществе себе подобных. Великая сила этих историй в том, что в них верят. Они вызывают ощущение истинности, потому что в основе их – самые точные сведения, какие предки передавали друг другу на протяжении множества поколений. Их верность, правдоподобность и непротиворечивость проверяли и перепроверяли, используя обширные знания о человеке, звездах, земле, растениях и животных, которые были доступны людям общины Мунго, их предкам и соседям.

Все мы можем пользоваться картами, которые создали наши предки. Великий французский социолог Эмиль Дюркгейм настаивал на том, что карты, заключенные в историях происхождения мира и религиях, – это основа нашего самосознания. По его утверждению, без них человеком может овладеть чувство отчаяния и бессмысленности, достаточно глубокое, чтобы привести к самоубийству. Неудивительно, что почти во всех известных нам обществах образование строится вокруг историй происхождения мира. Во времена палеолита ученики узнавали их от старших членов общины, точно так же, как позже ученые знакомились с основными историями христианства, ислама и буддизма в университетах Парижа, Оксфорда, Багдада и Наланды.

Любопытно, что при этом в современном светском образовании отсутствует надежная история о происхождении мира, которая связывала бы между собой все области мировоззрения. Возможно, это объясняет, почему дезориентация, потеря направления и разобщенность, которые описывал Дюркгейм, сегодня ощущаются в любом уголке света, в равной степени

---

<sup>7</sup> Об археологии внутренней части Австралии прекрасно написано в следующей книге: Mike Smith. *The Archaeology of Australia's Deserts*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

в Дели или Лиме, в Лагосе или Лондоне. Проблема в том, что в мире, пронизанном глобальными связями, за веру и внимание людей борется слишком много локальных историй происхождения и они мешают друг другу. Поэтому большинство современных преподавателей рассматривают историю по частям, и учащиеся получают знания о мире из разных дисциплин по отдельности. Наши предки с озера Мунго никогда не слышали о многих вещах, которым мы учимся сегодня, от математического анализа до истории Нового времени и создания компьютерного кода. Но, в отличие от них, нам редко предлагается объединить эти знания в связную историю, подобно тому как на глобусах, которые встречались раньше в классных комнатах, тысячи местных карт соединялись в одну карту мира. В результате наши представления о реальности и о человеческом обществе, к которому принадлежит каждый из нас, остаются отрывочными.

## Современная история происхождения мира

И все же... шаг за шагом, по крупицам формируется современная история происхождения мира. Как и истории, которые рассказывались на озере Мунго, она сложена нашими предками, ее испытывали и проверяли многие поколения в течение многих тысяч лет.

Конечно, она отличается от большинства подобных традиционных историй. Отчасти потому, что ее создали представители не определенного региона или культуры, а глобального сообщества из более 7 млрд человек, так что она черпает сведения из всех уголков света. Это история происхождения мира для всех современных людей, она строится в глобальных традициях современной науки.

В отличие от многих традиционных историй о происхождении мира, в современной истории нет бога-творца, хотя в ней присутствуют энергии и частицы не менее экзотические, чем пантеоны многих традиционных космогонических историй. Как и в конфуцианстве или раннем буддизме, в современной истории говорится о Вселенной, которая просто есть. Какой бы то ни было смысл вещам придает не сама Вселенная, а мы, люди. «В чем смысл Вселенной? – спрашивает Джозеф Кэмпбелл, исследователь мифологии и религии. – В чем смысл блохи? Она просто есть, вот и все, а ваш смысл в том, что есть вы»<sup>8</sup>.

Мир в современной истории происхождения менее стабилен, более беспокоен и значительно крупнее, чем миры многих традиционных историй. Из этих качеств вытекают ограничения. Масштабы современной истории происхождения глобальны, но она сформировалась совсем недавно, и вследствие молодости ей свойственна некоторая незрелость, в ней есть пробелы. Она возникла в совершенно особенный момент истории человечества и сформирована динамичными, потенциально дестабилизирующими условиями современного капитализма. Это объясняет, почему в ней часто не хватает той глубокой восприимчивости к биосфере, которая есть в подобных историях у туземных народов всего света.

Вселенная в современной истории происхождения мира всегда в движении, она динамична, она развивается, и она огромна. Геолог Уолтер Альварес, чтобы напомнить о ее размерах, предлагает подумать, сколько в ней звезд. В большинстве галактик их примерно по 100 млрд, причем самих галактик во Вселенной как минимум столько же. Это означает, что звезд в ней (глубокий вдох) 10 000 000 000 000 000 000 (10<sup>22</sup>)<sup>9</sup>. Согласно наблюдениям, проведенным в конце 2016 года, галактик может быть намного больше, так что не сдерживайтесь, если вам хочется добавить к приведенному числу несколько нулей. Наше Солнце – весьма заурядный член этой гигантской команды.

Современная история происхождения мира все еще строится. Добавляются новые разделы, есть части, которые по-прежнему требуется проверить или привести в порядок, нужно убрать строительные леса и мусор. В ней все еще есть пробелы, так что, как и все истории происхождения мира, она всегда будет вызывать ощущение таинственности и благоговения. Однако за последние несколько десятилетий наши представления о Вселенной, в которой мы живем, стали значительно полнее, и это только добавляет загадочности, потому что, как писал французский философ Блез Паскаль, «знание подобно сфере: чем больше его объем, тем больше площадь соприкосновения с непознанным»<sup>10</sup>. При всем ее несовершенстве и неопределенности нам нужно знать эту историю, так же как людям с озера Мунго нужно было знать

---

<sup>8</sup> *The Power of Myth*, episode 2, Bill Moyer and Joseph Campbell, 1988. URL: [www.billmoyers.com/content/ep-2-joseph-campbell-and-the-power-of-myth-the-message-of-the-myth](http://www.billmoyers.com/content/ep-2-joseph-campbell-and-the-power-of-myth-the-message-of-the-myth)

<sup>9</sup> *Walter Alvarez*. A Most Improbable Journey. P. 33.

<sup>10</sup> См.: *Fritjof Capra, Pier Luigi Luisi*. The Systems View of Life: A Unifying Vision. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. P. 280.

свои. В современной истории происхождения мира речь идет о наследии, общем для всего человечества, а значит, она может подготовить нас к встрече с огромными испытаниями и возможностями, с которыми все мы сталкиваемся сегодня, в поворотный исторический момент для планеты Земля.

В основе современной истории происхождения мира лежит идея усложнения. Как Вселенная появилась, как она породила эту пышную процессию из вещей, сил и существ, к которым принадлежим и мы? Мы не знаем наверняка, откуда она взялась и было ли что-то до нее. Зато нам известно, что, когда Вселенная возникла из вспененного океана энергии, она была чрезвычайно простой. И простота по-прежнему остается ее состоянием по умолчанию. В конце концов, большую часть Вселенной составляет темное холодное пустое пространство. И все же в редких, особенных местах, например на нашей планете, сложились идеальные условия Златовласки, среда, подобная похлебке в миске маленького Мишутки из «Трех медведей»<sup>11</sup>, – не слишком горячая и не слишком холодная, не слишком плотная и не слишком разреженная, но как раз подходящая, чтобы началось усложнение<sup>12</sup>. В среде, где действовали условия Златовласки, в течение многих миллиардов лет возникали все более сложные вещи, сущности с все большим количеством подвижных частей и все более замысловатыми внутренними связями. Было бы ошибкой думать, что сложное обязательно лучше простого. И все же для человека сложность имеет значение, потому что мы сами – очень сложные существа, а динамичное глобальное общество, в котором мы живем сегодня, – это одна из самых сложных вещей, какие только нам известны. Так что понять, как появились сложные явления и благодаря каким условиям Златовласки это стало возможно, – отличный способ разобраться в самих себе и в мире, где мы живем.

Большинство сложных явлений стало возможным в ключевые переходные моменты, самые важные из которых я буду называть *порогами*. Пороги помогают придать форму непростою для изложения современной истории происхождения мира. Они позволяют выделить основные поворотные моменты, когда то, что уже существовало ранее, перестраивалось или еще как-то изменялось и в результате появлялось нечто с новыми, «вновь образованными» свойствами, качествами, которые до того не встречались. На ранних этапах во Вселенной не было ни звезд, ни планет, ни живых организмов. Затем, шаг за шагом, стали возникать совершенно новые сущности. Из атомов водорода и гелия формировались звезды, внутри умирающих звезд появлялись новые химические элементы, из частичек льда и пыли с использованием этих новых элементов получались планеты и их спутники, а в богатых химическими элементами условиях каменных планет развивались первые живые клетки. Человек – неотделимая часть этой истории, потому что мы – результат эволюции и диверсификации жизни на планете Земля, и при этом за нашу короткую, но удивительную историю мы создали столько совершенно новых форм сложности, что сегодня, по-видимому, играем решающую роль в изменении мира. Когда возникает что-то новое и более сложное, чем то, что было раньше, что-то с новыми, вновь образующимися качествами, это такое же чудо, как рождение ребенка, потому что в целом Вселенная стремится к упрощению и росту беспорядка. Тяга к росту беспорядка (которую ученые называют *энтропией*) в конце концов возобладает, и Вселенная превратится в неупорядоченное месиво, в котором нет никакой закономерности или структуры. Но это случится еще очень, очень нескоро.

А пока что, похоже, мы живем в кипучей молодой Вселенной, полной творческих сил. Ее рождение – наш первый порог – это такое же чудо, как и все остальные пороги в современной истории происхождения мира.

<sup>11</sup> В англоязычной версии сказки героиню зовут Златовлаской.

<sup>12</sup> *Принцип Златовласки подробно рассматривается здесь: Fred Spier. Big History. P. 63–68 et seq.*

СОБЫТИЕ	ПРИБЛИЗИТЕЛЬНАЯ АБСОЛЮТНАЯ ДАТА	ДАТА, ПОДЕЛЕННАЯ НА 1 МЛРД
ПЕРВЫЙ ПОРОГ: Большой взрыв, возникновение Вселенной	13,8 млрд лет назад	13 лет 8 месяцев назад
ВТОРОЙ ПОРОГ: зажи- гаются первые звезды	13,2 (?) млрд лет назад	13 лет 2 месяца назад

СОБЫТИЕ	ПРИБЛИЗИТЕЛЬНАЯ АБСОЛЮТНАЯ ДАТА	ДАТА, ПОДЕЛЕННАЯ НА 1 МЛРД
ТРЕТИЙ ПОРОГ: в умирающих звездах формируются новые химические элементы	Непрерывно, от второго порога до наших дней	Непрерывно, от второго порога до наших дней
ЧЕТВЕРТЫЙ ПОРОГ: формируется наше Солнце и Солнечная система	4,5 млрд лет назад	4 года 6 месяцев назад
ПЯТЫЙ ПОРОГ: появ- ление жизни на Земле	3,8 млрд лет назад	3 года 9 месяцев назад
Первые крупные организмы на Земле	600 млн лет назад	7 месяцев назад
Астероид стирает с лица планеты динозавров	65 млн лет назад	24 дня назад
Разделение эволюцион- ных ветвей шимпанзе и гоминин	7 млн лет назад	2,5 дня назад
Человек прямоходящий ( <i>Homo erectus</i> )	2 млн лет назад	17 часов назад
ШЕСТОЙ ПОРОГ: первое свидетельство появления нашего вида, человека разумного ( <i>Homo sapiens</i> )	200 000 лет назад	100 минут назад
СЕДЬМОЙ ПОРОГ: конец последнего ледни- кового периода, начало голоцена, первые призна- ки земледелия	10 000 лет назад	5 минут назад
Первые свидетельства о городах, государствах, аграрных цивилизациях	5000 лет назад	2,5 минуты назад
Расцвет Римской импе- рии и империи Хань	2000 лет назад	1 минуте назад

СОБЫТИЕ	ПРИБЛИЗИТЕЛЬНАЯ АБСОЛЮТНАЯ ДАТА	ДАТА, ПОДЕЛЕННАЯ НА 1 МЛРД
Возникновение связей между различными мировыми зонами	500 лет назад	15 секунд назад
ВОСЬМОЙ ПОРОГ: начало революции горючих ископаемых	200 лет назад	6 секунд назад
«Великое ускорение»; человек высаживается на Луну	50 лет назад	1,5 секунды назад
ДЕВЯТЫЙ ПОРОГ (?): мироустройство устойчивого развития	Через 100 лет	Через 3 секунды
Смерть Солнца	Через 4,5 млрд лет	Через 4 года 6 месяцев
Вселенная погружается во тьму, победа энтропии	Через бесчисленное количество лет	Миллиарды лет спустя

## Хронология

В качестве хронологии мы приводим некоторые основные даты современной истории происхождения мира в двух вариантах: в виде приблизительных абсолютных дат и в пересчете, как если бы Вселенная была создана не 13,8 млрд лет, а 13,8 года назад. С помощью второго подхода проще уловить хронологическую последовательность истории. В конце концов, в результате естественного отбора наш ум не оказался приспособлен к тому, чтобы оперировать миллионами или миллиардами лет, так что такая сжатая хронология должна быть проще для восприятия.

Большинство дат, приведенных для событий, которые произошли более нескольких тысяч лет назад, установлены лишь в последние пятьдесят лет с использованием современных хронометрических методов, самый важный из которых радиометрическое датирование.

# Часть I Космос

## 1

### В начале: первый порог

*Если вы хотите сделать яблочный пирог с нуля, вам для начала придется изобрести Вселенную<sup>13</sup>.*

*Карл Саган, «Космос»*

*Солнце становилось круглее в тот самый день, и –  
Оно обновлялось, обычнейшее явление  
Рассвета, когда волшебные кони,  
Сквозь раскручивающееся вращенье,  
На полях восторженного и всеобщего пенья  
Выходили из ржущих зеленых коношен ко мне<sup>14</sup>.*

*Дилан Томас, «Папоротниковый холм»*

### ***История происхождения мира с нуля***

В английском языке есть слово *bootstrapping*. Подобно вытягиванию себя за волосы из болота, оно означает то же почти невозможное действие, но с помощью петель на задниках ботинок. В компьютерный жаргон это понятие попало в виде терминов *booting* – «загрузка» и *rebooting* – «перезагрузка» и используется, чтобы описать, как компьютер, восстав из мертвых, сам себе загружает инструкции о том, что делать дальше. Разумеется, в буквальном смысле вытянуть себя ни за волосы, ни за петли на ботинках ниоткуда нельзя, потому что, чтобы что-нибудь поднять, нужен рычаг. «Дайте мне рычаг и точку опоры, – сказал греческий философ Архимед, – и я переверну Землю». Но что может быть рычагом для создания новой Вселенной? Как ее вытянуть за волосы? Или как вытянуть историю о ее возникновении?

Истории извлекать на свет почти так же сложно, как сами вселенные. Проблемы начала можно избежать, если предположить, что Вселенная существовала всегда. Никаких волос и петелек не нужно. По этому пути пошли многие истории, как и многие современные астрономы, в том числе сторонники теории стабильной Вселенной в середине XX века. Ее идея в том, что в крупных масштабах Вселенная всегда была примерно такой же, как сейчас. Есть схожее, но немного иное представление о том, что действительно имел место момент возникновения, когда по Вселенной бродили, создавая разные вещи, огромные силы или существа, но что с тех пор мало что изменилось. Подобных взглядов на Вселенную могли придерживаться старейшины с озера Мунго – не исключено, что они описывали мир, как будто вызванный к жизни их предками в более-менее нынешней форме. Исаак Ньютон видел «первопричину» всего в Боге и утверждал, что Он вездесущ в пространстве. Поэтому Ньютон и считал, что Вселенная в целом не слишком меняется. Однажды он написал, что это «чувствовалище бесте-

---

<sup>13</sup> Перевод А. Г. Сергеева.

<sup>14</sup> Перевод В. П. Бетаки.

лесного существа, живого и разумного»<sup>15</sup>. В начале XX века Эйнштейн был настолько уверен, что Вселенная (по большому счету) неизменна, что добавил в свою теорию относительности особую константу, которая позволяла предсказывать стабильную Вселенную.

Удовлетворительна ли идея вечной или неизменной Вселенной? Не вполне, особенно учитывая, что тогда в нее придется тайком протащить творца, который мог бы запустить процесс: «В начале ничего не было, затем Бог создал...» Нарушение логики налицо, хотя многим большим умам потребовалось немало времени, чтобы ясно его увидеть. Бертран Рассел в возрасте 18 лет отказался от идеи бога-творца, когда прочел следующие строки автобиографии Джона Стюарта Милля: «Мой отец учил меня, что нельзя ответить на вопрос “Кто меня создал?”, поскольку сразу же возникает вопрос: “Кто создал Бога?”»<sup>16</sup>.

Есть еще одна загвоздка. Если бог достаточно могущественен, чтобы сотворить Вселенную, он точно должен быть сложнее нее. Так что, предполагая, что есть бог-творец, мы для объяснения фантастически сложной Вселенной воображаем нечто еще более сложное, что попросту... ее сотворило. Так можно схлопотать обвинение в жульничестве.

Хорошо подстраховались древние индийские гимны, так называемые Веды. «Не было не-сущего, и не было сущего тогда. Не было ни воздуха, ни небосвода за его пределами»<sup>17</sup><sup>18</sup>. Может быть, все возникло из некоего первозданного напряжения между существованием и не-существованием, из сумрачной сферы, которая ничем в полной мере не была, но могла чем-то стать. Возможно, как гласит современная поговорка австралийских аборигенов, ничто никогда не бывает совсем ничем<sup>19</sup>. Это сложная мысль, которую можно было бы отвергнуть как смутную и мистичную, если бы не поразительные параллели с современной идеей квантовой физики о том, что пространство не бывает совершенно пустым, а всегда полно возможностей.

Существует ли некий океан энергии или потенциала, откуда появляются, подобно волнам или цунами, конкретные формы? Это настолько распространенный образ, что возникает соблазн считать людские представления о начале начал результатом нашего собственного опыта. Каждое утро любой из нас переживает момент, когда сознательный мир с его формами, ощущениями и структурами будто возникает из хаотичного бессознательного мира. Джозеф Кэмпбелл писал: «Поскольку сознание индивида окружено морем ночи, в которое оно погружается во сне и из которого оно чудесным образом всплывает с пробуждением, то соответственно в образах мифа Вселенная выходит из вечности и пребывает в вечности, в которой она должна, растворившись, исчезнуть»<sup>20</sup><sup>21</sup>.

Впрочем, возможно, это слишком метафизично. Может быть, сложность здесь чисто логическая. Стивен Хокинг утверждал, что проблема заключается в неправильной постановке вопроса о начале. Если геометрия пространства-времени имеет сферическую форму, подобно поверхности Земли, только в большем количестве измерений, то спрашивать, что было до Вселенной, это все равно что искать начальную точку на поверхности теннисного мячика. Все устроено иначе. У времени нет края или начала, как нет края у поверхности Земли<sup>22</sup>.

Сегодня некоторые космологи находят привлекательной другую систему понятий, которая возвращает нас к идее о Вселенной без начала и конца. Они предполагают, что наша Все-

<sup>15</sup> Richard S. Westfall. *The Life of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. P. 259. Позже Ньютон изменил свое мнение о Вселенной как о «чувствилище» Бога, но по-прежнему считал, что Бог «вездесущ в буквальном смысле».

<sup>16</sup> Bertrand Russell. *Why I Am Not a Christian*. Лекция, прочитанная в Таун-Холле Баттерси (Лондон) в марте 1927 года.

<sup>17</sup> Перевод Т. Я. Елизаренковой.

<sup>18</sup> *Cum. no: David Christian*. *Maps of Time*. P. 17.

<sup>19</sup> Deborah Bird Rose. *Nourishing Terrains: Australian Aboriginal Views of Landscape and Wilderness*. Canberra: Australian Heritage Commission, 1996. P. 23.

<sup>20</sup> Перевод А. Хомика.

<sup>21</sup> Joseph Campbell. *The Hero with a Thousand Faces*, 2nd ed. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1968. P. 261.

<sup>22</sup> Stephen Hawking. *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*. London, Bantam, 1988. P. 151.

ленная – это часть бесконечной мультивселенной, где из больших взрывов постоянно возникают новые миры. Может быть, это и так, но на данный момент у нас нет никаких объективных данных ни о чем, что было до нашего собственного, локального Большого взрыва. Как будто процесс возникновения Вселенной был настолько бурным, что всякая информация о том, откуда она взялась, оказалась стерта. Если и есть другие космологические поселения, нам они пока не видны.

Честно говоря, наши ответы на вопрос о начале начал сегодня ничем не лучше тех, которыми располагало любое человеческое общество раньше. Вселенная, вытягивающая саму себя за волосы, остается логическим и метафизическим парадоксом. Мы не знаем, какие условия Златовласки позволили ей появиться, и по-прежнему не можем дать лучшее объяснение, чем дал Терри Пратчетт, написав: «Современное состояние знаний можно подытожить так: “В начале было ничто, затем оно взорвалось”»<sup>23</sup>.

### ***Первый порог. Квантовая петелька на ботинках Вселенной***

Петелькой-зацепкой в самой широко принятой сегодня концепции начала начал служит идея Большого взрыва. Это одна из основных парадигм современной науки, таких как естественный отбор в биологии или тектоника плит в геологии<sup>24</sup>.

Ключевая часть истории о Большом взрыве появилась лишь в начале 60-х годов XX века. Тогда астрономы впервые зафиксировали космическое микроволновое фоновое (реликтовое) излучение – энергию, которая осталась от Большого взрыва и сегодня повсеместно присутствует во Вселенной. Космологам все еще не удалось установить, когда Вселенная появилась, но они могут рассказать развеселую историю, которая начинается (глубокий вдох, и надеюсь, что нигде не ошибся) через одну миллиардную миллиардной миллиардной миллиардной секунды после ее возникновения (примерно в  $10^{-43}$  секунду с нулевого момента времени).

В самом простом виде история эта звучит так: вначале наша Вселенная была меньше атома. Что это за размер? Мышление нашего вида развивалось так, чтобы оперировать единицами человеческого масштаба, поэтому нам сложно со столь малыми сущностями, но, может быть, будет проще, если я скажу, что миллион атомов можно втиснуть в точку в конце этого предложения<sup>25</sup>. В момент, когда произошел Большой взрыв, вся Вселенная была меньше атома. В ней содержалась вся энергия и материя, которые есть в ней сегодня. Абсолютно вся. Эта мысль пугает и поначалу может показаться совершенно сумасшедшей. Но все данные, которые у нас есть сейчас, говорят о том, что около 13,82 млрд лет назад этот странный, крошечный и невероятно горячий объект действительно существовал.

Пока что мы не понимаем, как и почему он возник. Но квантовая физика говорит, а ускорители частиц (где субатомные частицы разгоняются до больших скоростей с помощью электрических и электромагнитных полей) демонстрируют, что в вакууме нечто действительно может возникнуть из ничего, хотя, чтобы это осмыслить, требуется весьма изощренное представление о том, что такое ничто. В современной квантовой физике невозможно точно определить, где находятся и как движутся субатомные частицы. Это означает: никогда нельзя быть уверенным, что определенная область пространства пуста; и в этой пустоте есть напряжение, которое обеспечивает возможность появления чего-то. Подобно отсутствию «не-сущего

---

<sup>23</sup> Я благодарю Элизу Бэйн за эту цитату. Terry Pratchett. *Lords and Ladies*. London: Victor Gollancz, 1992.

<sup>24</sup> *Классический текст о парадигмах: Thomas Kuhn*. *The Structure of Scientific Revolutions*, 2nd ed. Chicago: University of Chicago Press, 1970.

<sup>25</sup> Peter Atkins. *Chemistry: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2015, loc. 722, Kindle.

и сущего» в индийских Ведах, это напряжение, по-видимому, и вытащило из небытия нашу Вселенную<sup>26</sup>.

Сегодня первый момент существования Вселенной называют Большим взрывом, будто она закричала при рождении, как младенец. Термин появился в 1949 году с легкой руки английского астронома Фреда Хойла, которому вся идея казалась смешной. В начале 30-х годов XX века, когда были заложены зачатки этой концепции, бельгийский астроном (и католический священник) Жорж Леметр называл новорожденную Вселенную «космическим яйцом» или «первозданным атомом». Тем немногим ученым, которые восприняли идею всерьез, было ясно, что при таком количестве втиснутой в него энергии первозданный атом должен быть невероятно горячим и расширяться с сумасшедшей скоростью, чтобы сбросить давление. Это расширение все еще продолжается, как если бы на протяжении более 13 млрд лет разворачивалась гигантская пружина.

В первые секунды и минуты после Большого взрыва произошло множество событий. Самое главное то, что возникли первые интересные структуры и закономерности, первые сущности или энергии с отчетливыми *неслучайными* формами и свойствами. Появление чего-то с новыми определенными качествами – это всегда волшебство. В современной истории происхождения мира мы будем наблюдать это снова и снова, хотя то, что вначале представляется магией, впоследствии может оказаться менее чудесным, когда станет понятно, что новые вещи и их новые качества не появились из ниоткуда или из ничего. Новые сущности с новыми свойствами возникают из уже имеющихся вещей и сил, выстроенных в другом порядке. Именно другая организация порождает новые качества, так же как, переставляя кусочки мозаики, можно получить новый узор. Возьмем пример из химии. Обычно мы думаем о водороде и кислороде как о бесцветных газах. Но если в определенной конфигурации соединить один атом кислорода с двумя атомами водорода, получится молекула воды. Если собрать много таких молекул, вы получите совершенно новое качество, которое мы называем жидкостью. Когда мы видим новую форму или структуру с новыми качествами, на самом деле это новая организация чего-то уже существующего. Инновация – это процесс возникновения нового. Если считать его персонажем нашей истории, вероятно, он будет изящным, загадочным и непредсказуемым, будет склонен к тому, чтобы внезапно появляться из темноты и уводить сюжет в новом неожиданном направлении.

Первые структуры и закономерности во Вселенной возникали именно так, когда рожденные в Большом взрыве объекты и силы выстраивались в новом порядке.

В первые мгновения, о которых у нас есть какие-либо данные, через долю секунды после Большого взрыва, Вселенная состояла из чистой, неупорядоченной, недифференцированной, бесформенной энергии. Энергию можно понимать как потенциал события, способность что-то делать или изменять. Внутри первородного атома она была нестабильной, температуры достигали многих триллионов градусов выше абсолютного нуля. Был краткий период чрезвычайно стремительного расширения, которое называют *инфляцией*. Вселенная расширялась так быстро, что, возможно, существенная ее часть улетела далеко за пределы той видимости, которой мы вообще когда-либо сможем достичь. Иными словами, вероятно, сегодня у нас в поле зрения лишь крошечный ее кусочек.

Еще через долю секунды расширение замедлилось. Бурная энергия Большого взрыва успокоилась, и по мере того, как Вселенная продолжала расширяться, энергии рассредоточивались и рассеивались. Средняя температура упала и продолжает падать, так что сегодня в большей части Вселенной она всего на 2,76 °C выше абсолютного нуля (абсолютный ноль – это

---

<sup>26</sup> Lawrence Krauss. A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather than Nothing. New York: Simon and Schuster, 2012.

температура, при которой ничто даже не дрогнет). Как и другие организмы на планете Земля, мы не чувствуем холода, потому что нас, подобно костру, согревает Солнце.

При экстремальных температурах Большого взрыва могло произойти почти все что угодно. Но со снижением температур сузились и возможности. Отдельные сущности подобно призракам возникали в хаотичном тумане остывающей Вселенной – в бурном котле самого Большого взрыва они существовать не могли. Ученые называют такие изменения формы и структуры *фазовым переходом*. В повседневной жизни мы наблюдаем его, когда пар теряет энергию и превращается в воду (ее молекулы гораздо менее подвижны, чем молекулы пара) и когда вода превращается в лед (энергия которого столь мала, что его молекулы просто колеблются на месте). Вода и лед могут существовать лишь в узком диапазоне очень низких температур.

За миллиардную миллиардной миллиардной миллиардной секунды после Большого взрыва энергия и сама прошла фазовый переход. Она разделилась на четыре очень разных типа. Сегодня мы называем их проявления гравитацией, электромагнитным взаимодействием, а также сильным и слабым ядерным взаимодействием. Нам нужно познакомиться с особенностями характера каждого из них, потому что они сформировали Вселенную. Гравитация слабая, но ее действие простирается на большие расстояния, она всегда притягивает все друг к другу, и при этом ее сила накапливается. Она стремится сделать Вселенную более комковатой. Электромагнитная энергия встречается в отрицательной и положительной форме, так что она часто нейтрализует саму себя. Гравитация, несмотря на свою слабость, формирует Вселенную на уровне больших вещей. Электромагнетизм же преобладает на химическом и биологическом уровне – это то, что не дает распасться нашим телам. Третья и четвертая фундаментальные силы имеют скучные названия – сильное и слабое ядерное взаимодействие. Они работают на очень малых расстояниях и имеют значение на субатомном уровне. Человек не ощущает их непосредственно, но они во всех отношениях формируют наш мир, потому что определяют то, что происходит в недрах атома.

Возможно, существуют и другие виды энергии. В 90-е годы XX века новые измерения показали, что скорость расширения Вселенной увеличивается. Основываясь на идее, которую первым высказал Эйнштейн, многие физики и астрономы теперь доказывают, что может существовать некая форма антигравитации, пронизывающая весь космос, и мощь ее растет с расширением Вселенной. Сегодня доля этой энергии во Вселенной может составлять до 70 %. Но даже если ее сила начинает преобладать, мы еще не понимаем, что она такое и как она действует, так что физики называют ее *темной энергией*. Термин временный. Следите за новостями, потому что выяснить, что такое темная энергия, – это одна из главных задач современной науки.

В течение первой секунды после Большого взрыва возникла материя. Материя – это то, что энергия перемещает в пространстве. Еще сто лет назад ученые и философы считали, что это две отдельные сущности. Теперь мы знаем, что на самом деле материя – это энергия в очень сжатой форме. Молодой Альберт Эйнштейн показал это в своей знаменитой статье 1905 года. Формула, согласно которой энергия ( $E$ ) равна массе ( $m$ ), умноженной на квадрат скорости света ( $c$ ), или  $E = mc^2$ , показывает, сколько энергии заключено в определенном количестве материи. Чтобы понять это, нужно умножить массу последней не просто на скорость света (а она больше миллиарда километров в час), а на скорость света, умноженную на себя. Получится колоссальное число, так что, разделив крошечную частичку материи, можно высвободить огромное количество энергии. Так происходит при взрыве водородной бомбы. В начале существования Вселенной протекал обратный процесс. Гигантские количества энергии сжимались в крошечные частички материи, подобные пылинкам в бескрайнем энергетическом тумане. Примечательно, что человек научился на короткое время воссоздавать энергии такого

масштаба – в Большом адронном коллайдере недалеко от Женевы. И да, из этого кипящего океана энергии действительно начинают выскакивать частицы.

Все еще шла первая секунда...

## *Первые структуры*

В хаосе энергетического тумана сразу после Большого взрыва начали появляться отдельные формы и структуры. Энергетический туман есть всегда, но структуры, которые в нем возникают, придают нашей истории форму и сюжет. Некоторые структуры или закономерности просуществуют миллиарды лет, другие – долю секунды, но ничто из них не сохранится. Они недолговечны, как рябь на поверхности океана. Первый закон термодинамики гласит, что океан энергии существует всегда, он сохранен. Второй закон термодинамики гласит, что все возникающие формы в конце концов вновь растворятся в нем. Формы подобны движениям танца, они не сохраняются.

Отдельные структуры и формы начали возникать в течение секунды после Большого взрыва. Почему? Почему во Вселенной есть что-то, кроме неупорядоченного потока энергии? Это фундаментальный вопрос.

Если бы в нашей истории был бог-творец, объяснить появление структур было бы легко. Мы могли бы предположить (как предполагается во многих космогонических историях), что бог предпочитал структуру хаосу. Но в большинстве версий современной истории происхождения мира идея бога-творца больше не принимается, потому что современная наука не может найти прямых свидетельств его существования. У многих есть опыт божественного, но сообщения о нем разнообразны и противоречивы, его невозможно воспроизвести. Эти переживания слишком переменчивы, слишком размыты, слишком субъективны, чтобы служить объективным научным доказательством.

Итак, в современной истории происхождения мира придется искать другие объяснения тому, как появились структуры и формы. Это непросто, ведь второй закон термодинамики говорит нам, что любая структура рано или поздно должна распасться. Как писал австрийский физик Эрвин Шрёдингер: «Теперь мы признаём, что этот фундаментальный закон физики отражает естественное стремление вещей приходить в состояние хаоса, когда мы этому не препятствуем (что также свойственно книгам в библиотеке или стопкам бумаг и рукописей на письменном столе)»<sup>27</sup>.

Если в современной истории происхождения мира есть отрицательный герой, то это, несомненно, энтропия – по-видимому, универсальное стремление структур приходить в неупорядоченное состояние. Энтропия – верный слуга второго закона термодинамики. Если представить ее себе персонажем нашей истории, то этот персонаж таится, распутный, равнодушный к чужой боли и страданию, и ему все равно, может ли он смотреть людям в глаза. Кроме того, энтропия очень, очень опасна, в конце концов она доберется до каждого из нас. Все истории происхождения кончаются ею. Она разрушит все структуры, все формы, любую звезду, любую галактику и каждую живую клетку. В книге по мифологии Джозеф Кэмпбелл поэтично описывает ее роль: «Мир, каким мы его знаем, [...] сулит нам лишь один конец – смерть, разрушение, расчленение и распятие нашего сердца с уходом того, что мы любили»<sup>28,29</sup>.

Современная наука говорит о действии энтропии холодным языком статистики. Все вещи можно располагать бесчисленным количеством способов, и в подавляющем большинстве случаев это будет неструктурированное, неупорядоченное, случайное расположение. Большин-

---

<sup>27</sup> Erwin Schrödinger. *What Is Life? And Mind and Matter*. Cambridge: Cambridge University Press, 1967. P. 73.

<sup>28</sup> Перевод А. Хомика.

<sup>29</sup> Joseph Campbell. *The Hero with a Thousand Faces*. P. 25–26.

ство изменений протекает так, как будто мы взяли колоду из  $10^{80}$  карт (это 1 с 80 нулями, или примерное число атомов во Вселенной) и снова и снова тасуем ее в надежде, что все тузы окажутся рядом. Это невероятно редкая последовательность, такая редкая, что она вряд ли встретится вам, даже если тасовать карты на протяжении времени, многократно превышающего возраст Вселенной. Чаще всего структура будет минимальной или отсутствовать вообще. Каков шанс, что вы бросили бомбу на стройплощадку с кучей кирпичей, раствора, проводов и краски, а когда пыль рассеялась, увидели многоэтажное здание, подключенное ко всем коммунальным сетям, выкрашенное и готовое распахнуть двери покупателям? В волшебном мире энтропией можно пренебречь, но в нашем нельзя. Поэтому большая часть Вселенной, особенно огромные пустые пространства между галактиками, не имеет формы и структуры.

Сила энтропии так велика, что непонятно, как вообще смогли возникнуть какие-то структуры. Но мы знаем, что это произошло. И по-видимому, они появились с разрешения энтропии. Как будто за то, что она позволила вещам соединиться и образовать нечто более сложное, энтропия потребовала налог, который подлежит уплате в виде энергии. На самом деле мы увидим, что она взимала разные налоги на сложность множество раз, почти как русский царь Петр Великий, учредивший специальный государственный орган, чтобы выдумывать новые пошлины. Энтропии эта сделка по душе, потому что выплаты, которые она получает от всех сложных явлений, идут на ее зловещий замысел превратить всю Вселенную в кашу. Сам акт уплаты ей налога увеличивает хаос и количество отходов, подобно тому как любой современный город производит огромное количество мусора и тепла. Любой из нас каждую секунду своей жизни платит этот налог. Это заканчивается лишь с нашей смертью.

Так как же возникли первые структуры? На этот вопрос у науки еще нет окончательного ответа, хотя есть масса перспективных идей.

Помимо энергии и материи в результате Большого взрыва появились некоторые базовые правила. Ученые начали понимать, насколько они фундаментальны, лишь с началом научной революции в XVII веке. Сегодня мы называем эти правила фундаментальными законами физики. Они объясняют, почему неистовые хаотичные энергии первородного атома все же имели некоторую направленность: благодаря этому изменения пошли по определенному пути, а бесчисленное количество других возможностей было нейтрализовано. Были отсеяны состояния Вселенной, с которыми эти законы несовместимы, и в любой момент своего существования она находилась в одном из совместимых с правилами действия состояний. Эти новые конфигурации, в свою очередь, порождали новые правила, которые направляли процесс изменений по новому пути.

Такое постоянное отсеивание невозможных состояний гарантировало минимальную структуру. Мы не знаем, почему появились эти правила и почему они приняли именно такую форму. Мы не знаем даже, насколько они обязательны. Может быть, есть другие вселенные, где правила немного отличаются. Может быть, где-то гравитация сильнее, а электромагнитная сила слабее. Тогда жители этих вселенных (если они там есть) расскажут другие истории происхождения мира. Может быть, одни вселенные просуществовали миллионную долю секунды, а другие будут существовать намного дольше нашей. Возможно, в каких-то из них рождаются многочисленные экзотические формы жизни, а другие представляют собой биологические пустыри. Если наша Вселенная и правда находится в мультивселенной, можно представить себе, что при ее создании были торжественно брошены кости и кто-то провозгласил: «Итак, в этой вселенной будет гравитация и еще электромагнетизм, и он будет в  $10^{36}$  раз сильнее ее» (гравитационные и электромагнитные силы действительно соотносятся именно так, по крайней мере у нас). Благодаря этим правилам наша Вселенная никогда не была и не будет совсем хаотичной. Где-то обязательно должно было появиться что-то интересное.

Структуры и закономерности возникли, как только энергия приняла отчетливые формы. Когда из сгустков энергии образовались первые частички вещества, у них тоже обнаружились

правила. В первые секунды после Большого взрыва появились нейтроны, протоны и электроны, основные составляющие атомов, а также античастицы протона и электрона (то есть отрицательно заряженные протоны и положительно заряженные электроны), и из них получилось, как это называют физики, *вещество* и *антивещество* (или материя и антиматерия). Когда температуры во Вселенной опустились ниже тех, при которых легко образуются материя и антиматерия, во всей Вселенной началась жестокая гонка на выживание, в процессе которой они аннигилировали, выпуская огромные количества энергии. К счастью для нас, в этой бойне уцелел небольшой излишек материи (вероятно, одна частица из миллиарда). Оставшиеся ее частицы оказались в ловушке, потому что температуры вскоре стали слишком низки, чтобы снова превратить их в чистую энергию. Из этих остатков и состоит наша Вселенная.

С падением температур появились разные виды вещества. Электронами и нейтрино управляли электромагнитная и слабая ядерная сила. Протоны и нейтроны, из которых состоят атомные ядра, образовались из странных частиц – кварков, объединившихся в тройки, связанные сильным ядерным взаимодействием. Электроны, нейтроны, кварки, протоны, нейтрино... всего через несколько секунд после Большого взрыва в стремительно остывающей Вселенной оказалось зафиксировано несколько различных структур, каждая с собственными новыми свойствами. Но когда бушевание взрыва улеглось, исчезли экстремальные энергетические условия, которые были нужны, чтобы разобщить эти первозданные структуры, и поэтому разные формы энергии и такие частицы, как протоны и электроны, кажутся нам более-менее бессмертными.

Вот так случайность и необходимость объединились, чтобы произвести на свет первые простые структуры. Законы физики отсеяли множество возможностей – это было проявлением необходимости. Затем под действием случайности имеющиеся единицы стали выстраиваться в произвольном порядке в соответствии с оставшимися возможностями. Так это и происходит. Нанозфизик Питер Хоффман пишет: «Если ограничить случайность физическим законом, который добавит элемент необходимости, первая станет созидательной силой, движущей и встряхивающей Вселенную. Все прекрасное вокруг нас, от галактик до подсолнухов, – это результат творческого союза между хаосом и необходимостью»<sup>30</sup>.

## *Первые атомы*

В течение нескольких минут после Большого взрыва протоны и нейтроны стали объединяться в группы, и опять появились новые структуры. Один протон – это ядро атома водорода, а пара протонов (с двумя нейтронами) образуют ядро атома гелия: так Вселенная стала строить первые атомы. Но чтобы протоны соединились, нужно много энергии, потому что их положительные заряды отталкиваются, а температуры сразу после Большого взрыва быстро падали, так что соединить побольше протонов, чтобы получились ядра более крупных атомов, было невозможно. Этим объясняется фундаментальное свойство нашей вселенной: почти три четверти всех атомов в ней – это водород, а большая часть остальных – гелий.

Значительно большую часть вещества составляет *темная материя* – мы еще не понимаем, что это такое, хотя и знаем о ее существовании, потому что ее гравитационное притяжение задает структуру и распределение галактик. Итак, через несколько минут после Большого взрыва Вселенная состояла из огромных облаков темной материи, в которых потрескивали островки протонной и электронной плазмы, а через них протекали фотоны света. Сегодня плазма встречается лишь в центрах звезд.

---

<sup>30</sup> Peter M. Hoffmann. *Life's Ratchet: How Molecular Machines Extract Order from Chaos*. New York: Basic Books, 2012, loc. 179, Kindle.

Теперь нам придется прерваться и подождать около 380 000 лет (это почти в два раза больше, чем существует на Земле наш вид). В течение этого времени Вселенная продолжала остывать. Когда температуры упали ниже 10 000 °С, произошел еще один фазовый переход, подобный превращению пара в воду. Чтобы объяснить его, нужно понимать, что температура – это на самом деле мера подвижности атомов. За счет энергии все частицы вещества непрерывно подергиваются, как беспокойные дети, и температура отражает средний уровень этих колебаний. Колебания атомов совершенно реальны. В своей знаменитой статье 1905 года Эйнштейн показал, что они вызывают неупорядоченное кружение частичек пыли в воздухе. Когда температура падает, подвижность частиц уменьшается до тех пор, пока они наконец не смогут соединиться друг с другом. Вселенная остывала, а электромагнитная сила притягивала отрицательно заряженные электроны к положительно заряженным протонам, пока первые не успокоились настолько, чтобы встать на орбиты вокруг вторых. И вуаля! Мы получили первые атомы, базовые составляющие всего вещества, которое нас окружает.

Обычно отдельные атомы электрически нейтральны, поскольку положительные и отрицательные заряды их протонов и электронов уравнивают друг друга. Так что, когда образовались первые атомы водорода и гелия, большая часть материи во Вселенной резко стала нейтральной, и трепещущая плазма исчезла. Фотоны, носители электромагнитной силы, теперь могли свободно перемещаться в электрически нейтральной взвеси из атомов и темной материи. Сегодня астрономы наблюдают последствия этого фазового перехода, поскольку фотоны, вырвавшиеся из плазмы, породили тонкий фоновый энергетический гул (космическое микроволновое фоновое излучение), который по-прежнему пронизывает всю Вселенную.

Мы преодолели первый порог в истории происхождения мира. У нас есть Вселенная. В ней уже появились некоторые структуры с отчетливыми новыми качествами. В ней есть различные формы энергии и материи, и у каждой – свой характер. В ней есть атомы. Наконец, в ней есть собственные правила.

### *Где доказательства?*

Какой бы гротескной ни казалась эта история, когда слышишь ее впервые, ее подтверждает огромное количество данных, так что приходится относиться к ней серьезно.

Веским аргументом в пользу того, что Большой взрыв действительно произошел, стало открытие расширяющейся Вселенной. Если сейчас она расширяется, логично предположить, что в какой-то момент в далеком прошлом она была бесконечно мала. О том, что это так, мы знаем благодаря инструментам и методам наблюдения, которых у народа с озера Мунго не было, хотя эти люди, без сомнения, стали превосходными астрономами, изучая космос невооруженным глазом.

Со времен Ньютона большинство ученых предполагали, что Вселенная должна быть бесконечной, поскольку в противном случае законы гравитации собрали бы ее содержимое в единую булькающую массу, подобную маслу в поддоне двигателя. К XIX веку у астрономов появились достаточно точные приборы, чтобы составлять карты расположения звезд и галактик, и по этим астрономическим картам получалась совершенно другая картина Вселенной.

Картирование началось с туманностей, размытых пятен, которые появлялись на всех картах звездного неба (теперь нам известно, что большинство туманностей – это целые галактики, и в каждой из них миллиарды звезд). Каково расстояние до них? Что они такое? Двигутся ли они? Постепенно астрономы учились извлекать все больше информации о звездах из света, который те излучают. В том числе определять, на каком расстоянии от нас они находятся, направляются ли к нам или отдаляются от нас.

Один из самых хитроумных способов исследовать движение звезд и туманностей – это измерение скорости, с которой те движутся к нам или от нас, с помощью эффекта Доплера

(названного в честь австрийского математика XIX века Кристиана Андреаса Доплера). Энергия движется волнами, а у них, как и у волн на пляже, есть частота. Они достигают пика с регулярностью, которую можно измерить. Но, если вы движетесь, частота меняется. Если войти в океан и плыть от берега, будет казаться, что частота, с которой вы встречаете волну, увеличивается. То же самое происходит со звуковыми волнами. Если объект, например мотоцикл, с ревом движется к вам, кажется, что частота звуковых волн растет, а ваши уши интерпретируют этот рост как повышение тона. Когда мотоцикл проедет мимо, покажется, что звук становится ниже, поскольку теперь волны вытягиваются. Мотоциклист, конечно, относительно мотоцикла остается неподвижным и все время слышит звук одной и той же высоты. Эффект Доплера – это видимое изменение частоты электромагнитного излучения, когда объекты приближаются или удаляются друг от друга.

Этот же принцип действует в отношении звездного света. Если звезда или галактика движется к Земле, это выглядит, как будто частота ее световых волн увеличивается. Наши глаза интерпретируют видимый свет более высокой частоты как синий, и мы говорим, что свет сдвинулся к синему краю электромагнитного спектра. Но если объект удаляется от Земли, для наблюдателя частота его света сдвинется к красному краю спектра. Астрономы называют это красным смещением. И можно определить, с какой скоростью движется звезда или галактика, измерив сдвиг частоты.

В 1814 году молодой немецкий ученый Йозеф фон Фраунгофер создал первый спектроскоп, особую призму, которая раскладывает звездный свет на частоты точно так же, как стеклянная призма раскладывает свет на цвета радуги. Фраунгофер обнаружил, что в спектре солнечного света на некоторых частотах есть тонкие темные линии, как будто космологический штрихкод. Двое других немецких ученых, Густав Кирхгоф и Роберт Бунзен, в конце концов показали в лаборатории, что определенные химические элементы испускают и поглощают световую энергию определенных частот. По-видимому, темные линии получались из-за того, что свет солнечного ядра в более холодных внешних областях Солнца поглощают атомы различных элементов. В результате на соответствующих частотах снижается энергия, и в спектре излучения остаются темные полосы. Они называются *абсорбционными линиями*, и разные элементы дают разное их расположение. Так, есть линии, типичные для углерода и железа. Если звездный свет смещен в красную часть спектра, все они смещаются туда же, и можно даже точно измерить насколько. Астрономы используют этот эффект как аналог полицейского радара для контроля скорости.

В начале XX века американский астроном Весто Слайфер с помощью этих методов показал, что неожиданно большое количество астрономических объектов демонстрирует красное смещение, то есть удаляется от Земли, причем довольно быстро. То, как они разбегаются, было очень странно. Истинное значение этого явления стало понятно, лишь когда другой американский астроном Эдвин Хаббл совместил эти данные с измерениями расстояний до таких удаленных объектов.

Оценить расстояние до звезд и туманностей – задача хитрая. В принципе можно использовать придуманный греками параллактический метод, как в геодезии. Можно посмотреть, не смещаются ли одни звезды на небе относительно других за несколько месяцев, по мере движения Земли вокруг Солнца. Если это так, с помощью тригонометрии можно понять, на каком расстоянии они находятся. К сожалению, даже ближайшая к нам звезда, Проксима Центавра, находится так далеко (на расстоянии около четырех световых лет от Земли), что невозможно зафиксировать какое-либо ее движение без сложного оборудования. Астрономы сумели измерить расстояние до ближайших звезд с помощью параллакса лишь в XIX веке. В любом случае объекты, которые исследовал Весто Слайфер, находятся гораздо дальше.

К счастью, в начале XX века Генриетта Ливитт, астроном из Гарвардской обсерватории, придумала, как измерить расстояние до удаленных звезд и туманностей с помощью особого

типа звезд – пульсирующих цефеид, яркость которых изменяется по весьма точной закономерности (к цефеидам относится Полярная звезда). Она вывела простую корреляцию между частотой колебаний и светимостью, или яркостью, звезды и поэтому смогла вычислить абсолютную яркость цефеиды. Затем, сравнивая ее с видимой яркостью звезды, наблюдаемой с Земли, она сумела вычислить расстояние до нее, потому что количество света уменьшается пропорционально квадрату расстояния, которое тот проходит. Благодаря этому замечательному методу появились астрономические стандартные свечи, которые потребовались Эдвину Хаббл, чтобы сделать два важнейших открытия о Вселенной.

В начале XX века большинство астрономов считали, что вся Вселенная содержится в нашей галактике, Млечном Пути. В 1923 году Хаббл с помощью одного из мощнейших в мире телескопов обсерватории Маунт-Вилсон в Лос-Анджелесе показал, что цефеиды туманности Андромеды, как она тогда называлась, расположены слишком далеко, чтобы находиться в нашей галактике. Это доказывало то, что подозревали некоторые астрономы: Вселенная значительно больше Млечного Пути и состоит из множества галактик помимо нашей.

Хаббл сделал еще более удивительное открытие, когда стал с помощью цефеид измерять расстояния до множества удаленных объектов. В 1929 году он показал, что почти все галактики, по-видимому, удаляются от нас, причем у самых удаленных объектов наибольшее красное смещение. Иными словами, чем дальше находится объект, тем быстрее он удаляется. А это должно было означать, что вся Вселенная расширяется. Бельгийский астроном Жорж Леметр уже подозревал это на чисто теоретических основаниях. Он также указывал, что если сейчас Вселенная расширяется, то в какой-то момент в прошлом она должна была представлять собой крошечное пространство, которое он называл *первозданным атомом*.

Большинство астрономов идея расширяющейся Вселенной шокировала, и они предполагали, что в расчеты Хаббла вкралась ошибка. Сам Хаббл совершенно не был ни в чем уверен, а Эйнштейн был настолько убежден, что Вселенная стабильна, что производил с уравнениями общей теории относительности определенные махинации, чтобы те предсказывали стабильную Вселенную, а именно ввел в них, как он это назвал, *космологическую постоянную*.

Скепсис астрономов отчасти вызвало то, что с оценками Хаббла действительно были некоторые проблемы. По его расчетам, Вселенная начала расширяться всего 2 млрд лет назад, но астрономы уже знали, что Земля и ее Солнечная система гораздо старше. В том числе поэтому в течение нескольких десятилетий большинство астрономов считали идею о расширении Вселенной любопытной, но, вероятнее всего, ложной. Многие предпочитали альтернативную концепцию стабильной Вселенной, которую в 1948 году предложили Герман Бонди, Томас Голд и Фред Хойл. Ее сторонники соглашались с тем, что галактики, по-видимому, удаляются друг от друга, но утверждали, что одновременно с этим образуется новая материя, поэтому в целом Вселенная остается примерно одинаковой плотности и слабо изменяется.

Однако в конце концов появились данные, которые склонили чашу весов в пользу теории о расширяющейся Вселенной. В 40-е годы XX века в обсерватории Маунт-Вилсон в Лос-Анджелесе (той же, где работал Хаббл) Вальтер Бааде показал, что существует два типа пульсирующих звезд и что они дают разные оценки расстояний. Бааде уточнил расчеты, и они показали, что Большой взрыв мог произойти более 10 млрд лет назад (самые точные оценки на сегодняшний день дают целых 13,82 млрд лет). Хронологическая проблема была решена. В настоящий момент нам неизвестны астрономические объекты, которые были бы старше 13,82 млрд лет, и это сильный аргумент в пользу космологии Большого взрыва. В конце концов, если бы Вселенная была неизменной и вечной, в ней бы точно должно было быть множество более древних объектов.

Окончательным доказательством послужили данные, которые появились в середине 60-х годов в связи с открытием космического микроволнового фонового (или реликтового) излучения. Оно испустилось, когда образовались первые атомы, примерно через 380 000 лет после

Большого взрыва. Реликтовое излучение стало решающим доказательством расширения Вселенной. Почему?

К 40-м годам XX века некоторые астрономы и физики оказались достаточно впечатлены данными Хаббла, чтобы попытаться понять, что могло бы случиться, если бы Большой взрыв действительно произошел. Какой была Вселенная вначале, если все было втиснуто в первоначальный атом? Если Хаббл и Леметр правы, сперва она должна была оказаться чрезвычайно плотной и горячей, а затем начать быстро расширяться и остывать. Как бы вели себя в этих экстремальных условиях материя и энергия? Во время Второй мировой войны Манхэттенский проект по созданию атомной бомбы стимулировал исследования в области физики высоких температур. В конце 40-х годов физик русского происхождения Георгий Гамов, основываясь на разработках Манхэттенского проекта, выяснил, что, вероятнее всего, происходило во Вселенной сразу после Большого взрыва. Вместе со своим коллегой Ральфом Альфером он предсказал, что Вселенная в конце концов должна была охладиться достаточно, чтобы образовались атомы, а это должно было сопровождаться большим выбросом энергии, когда фотоны вырвались из заряженной плазмы доатомной эры и стали свободно двигаться через электрически нейтральную Вселенную<sup>31</sup>. Кроме того, они утверждали, что должен быть способ обнаружить эту вспышку энергии, хотя ее частота должна была упасть почти до нуля по мере того, как она распределялась по расширяющейся Вселенной. Если ученые хорошо поищут, то при температурах, близких к абсолютному нулю, они найдут излучение, которое шло бы со всех сторон. Многим эта идея показалась безумной, так что низкотемпературное излучение, которое пронизывало бы всю Вселенную, искать никто не стал.

Гамовскую вспышку излучения обнаружили случайно в 1964 году. В Лабораториях Белла в Холмделе, штат Нью-Джерси, два радиоастронома, Арно Пензиас и Роберт Уилсон, соорудили для связи с искусственными спутниками радиоантенну высокой точности. Чтобы избавиться от помех, они охладили приемник примерно до 3,5 °С выше абсолютного нуля, но оставался загадочный шум, который создавала низкотемпературная энергия. Выглядело это так, будто он поступал со всех сторон, так что они знали, что причина его не в какой-нибудь мощной звездной вспышке. Ученые заподозрили неполадку в приемнике, согнали пару голубей, устроивших в антенне гнездо (в ней было углубление), почистили ее от помета, но ничего не изменилось (особенно печально, что голуби все время пытались вернуться и в конце концов их пришлось пристрелить). Неподалеку, в Принстоне, группа астрономов под руководством Роберта Дике как раз занялась поисками фонового излучения Гамова, и тут они услышали о находке Пензиаса и Уилсона. Ученые сразу поняли, что их обошли. Группы решили вместе работать над статьями об этом открытии. Исследователи сообщили, что, вероятно, нашли энергию, выброшенную сразу после Большого взрыва и предсказанную Гамовым.

Открытие космического микроволнового фонового излучения убедило большинство астрономов в том, что Большой взрыв действительно произошел, потому что никакая другая теория это вездесущее излучение объяснить не могла. Сделать такое странное, но в конечном счете успешное предсказание – один из лучших способов убедить ученых, что ваша теория разумна. Теперь это выглядело так, как будто Вселенная на самом деле расширяется и на самом деле возникла в результате Большого взрыва.

Сегодня свидетельств того, что наша Вселенная началась с Большого взрыва, огромное количество. Предстоит проработать еще массу подробностей, но на данный момент основная идея надежно утвердилась в качестве первой главы современной истории о происхождении мира. Вот и петелька, за которую можно потянуть. А поскольку квантовая физика допус-

---

<sup>31</sup> Известно, что, напечатав эти данные, ученые для смеха позвали в соавторы физика Ханса Бете – в работе он не участвовал, но зато получилась статья авторства «Альфер, Бете, Гамов».

кает возникновение вещей из вакуума, по-видимому, вся Вселенная действительно возникла из некоего ничто, полного возможностей<sup>32</sup>.

---

<sup>32</sup> Подробнее об этом см.: *Lawrence Krauss. A Universe from Nothing.*

## 2

### **Звезды и галактики: второй и третий пороги**

*Человек состоит из звездного вещества.  
Харлоу Шепли, «Взгляд с далекой звезды» (View from a Distant Star)*

Большой взрыв дал нам Вселенную, но первые несколько сотен миллионов лет она была предельно простой. Впрочем, в глубине ее вызревали интересные новые возможности, и наконец в темноте стали зажигаться звезды и галактики. С ними пришли абсолютно новые действующие лица, образовались новые свойства и новые формы сложности, и Вселенная прошла второй порог усложнения. Чтобы объяснить, как появились эти грандиозные новые объекты, придется вернуться к началу.

#### ***Свободная энергия – двигатель усложнения***

В течение первых секунд и минут после Большого взрыва Вселенная с точки зрения термодинамики находилась в состоянии свободного падения. Несколько ослепительных мгновений энергии было достаточно, чтобы возникали и исчезали новые экзотические формы энергии и материи. Но с падением температур они застыли, зафиксировались в виде нескольких простых структур. В очаге Большого взрыва силы и частицы стабилизировались, как керамика при обжиге. Его мощные энергии в сочетании с несколькими простыми правилами действия породили такие структуры, как протоны и электроны, а те оказались удивительно устойчивы, поскольку в остывающей Вселенной температуры, которые вызвали их появление, встречаются редко.

Затем резкое снижение температур замедлилось, как будто Вселенная, обрушившись с термодинамической горы, оказалась в долине. Переходы стали более гладкими, температуры перестали падать так резко, снизилась скорость изменений: отвесная скала, с которой можно сравнить термодинамическое состояние Вселенной в первые мгновения, сменилась более пологим, волнообразным пейзажем, где температуры могут не только уменьшаться, но и расти. Новым структурам стало сложнее закрепиться, ведь даже умеренное потепление разрушило бы их. Так, атомы в первых звездах распадались, когда температура поднималась выше 10 000 °С.

Чтобы стабилизироваться в этих менее предсказуемых условиях, сложным структурам нужен был дополнительный крепеж. Его роль сыграли контролируемые, упорядоченные потоки энергии. Звезду удерживают от распада энергетические потоки, которые порождает ее ядро. Живые организмы, мы с вами в том числе, сохраняют форму с помощью тонких, точно направленных потоков энергии под управлением сложных процессов метаболизма в клетках. Чтобы создавать и сохранять во Вселенной сложные структуры, когда Большой взрыв остался позади, требуется совершать работу. В результате возникает фундаментальная зависимость между формой и сложностью явлений с одной стороны и направленными, или структурированными, потоками энергии – с другой.

*Структурированные потоки энергии* – скорее интуитивное понятие, чем выражение из научного жаргона. Но смысл его вот в чем: в термодинамике различают энергию совершенно неупорядоченного движения и движения направленного, структурированного, согласованного, которое способно совершать работу благодаря своим качествам. Энергию структурированного движения называют *свободной энергией*, а неструктурированного – *тепловой*. Это деление не абсолютно. Речь идет скорее о степени связности или хаотичности. Тем не менее

разница между свободной и тепловой энергией в нашей истории имеет основополагающее значение.

Согласно первому закону термодинамики, общее количество энергии во Вселенной никогда не меняется. Энергия сохраняется. По-видимому, Вселенная возникла сразу с определенным *потенциалом возникновения событий*. Таким образом, на самом деле первый закон говорит об исходном океане возможностей. Второй закон термодинамики гласит, что то, что возникает из этого океана, может быть более или менее структурировано, как рябь на воде. Однако следует ожидать, что чаще всего структуры будет мало и со временем ее будет становиться все меньше. Дело в том, что наиболее вероятны слабо или вообще неструктурированные формы организации материи и энергии, и, если вы вдруг все же видите структуру, ждите, что скоро она распадется.

Хороший пример – водопад. Он весьма структурирован, но его структура в конце концов рассеется. Молекулы воды наверху водопада движутся не беспорядочно, как молекулы воздуха в сосуде, а в одном направлении, будто стая крадущихся кошек, держась как можно ближе друг к другу. Это происходит потому, что, в отличие от молекул газа, которые перемещаются по отдельности, молекулы жидкости связаны друг с другом электромагнитной силой. Поэтому гравитация может двигать их тесным строем в одну сторону, как солдат на марше. Когда вода переливается через край, потенциальная энергия превращается в кинетическую, энергию движения. Это скоординированное движение в одном направлении. Оно структурировано, так что можно сказать, что им управляет *свободная энергия*. А она, в отличие от неупорядоченной тепловой энергии молекул газа, может производить работу, потому что у нее есть форма и структура и она может двигать предметы в едином направлении, а не толкать их во все стороны сразу<sup>33</sup>. При желании можно направить поток свободной энергии в турбину и генерировать электричество. Свободная энергия – вот что вершит дела. В нашей истории происхождения мира она действует, как резвый неугомонный заяц из рекламы батареек Energizer.

Но, в отличие от энергии в целом, свободная энергия не сохраняется. Она нестабильна, как распрямляющаяся пружина. Совершая работу, она теряет и структуру, и способность совершать работу дальше. Когда вода разбивается о валуны внизу водопада, возникает рассеянная, несвязанная тепловая энергия. Все молекулы колеблются более-менее независимо. Энергия никуда не делась, она сохраняется (это первый закон). Но теперь молекулы толкаются во все стороны, поэтому уже не могут привести турбину в движение. Свободная энергия перешла в тепловую. Второй закон термодинамики гласит, что когда-нибудь, в далеком будущем, в тепловую превратится вся свободная энергия.

Направленная сразу во все стороны, тепловая энергия, как пьяный регулировщик, создает хаос. Свободная энергия, подобно трезвому регулировщику, действует по определенным направлениям и создает порядок. К счастью для нас, благодаря базовым правилам в ранней Вселенной было какое-то количество свободной энергии. Они заставили ее двигаться по определенным, неслучайным путям и обеспечили хотя бы минимальную структуру.

## ***Второй порог. Галактики и звезды***

Свободная энергия привела к появлению первых крупных структур – галактик и звезд. Важнейшим ее источником в этой части нашей истории была гравитация. Гравитация в космологии подобна овчарке, которая собирает стадо. Она стала сгонять в стада простые формы материи, возникшие при Большом взрыве. Наличие одновременно и гравитации и материи сформировало условия Златовласки для возникновения звезд и галактик.

---

<sup>33</sup> «С молекулярной точки зрения, поднять вес означает передвинуть все его атомы в одном и том же направлении... Работа – это передача энергии, для которой используется согласованное движение окружающих атомов». См.: Peter Atkins. Four Laws That Drive the Universe. Oxford: Oxford University Press, 2007. P. 32.

Результаты исследований космического микроволнового фонового излучения показывают, что в ранней Вселенной было мало крупных структур. Представьте себе, что тонкая, невесомая взвесь из атомов водорода и гелия парит в теплом океане темной материи, пронизанном фотонами света. И температура везде примерно одинаковая. Мы знаем, что вначале Вселенная была гомогенна, потому что можем измерить разницу температур в реликтовом излучении и обнаружить, что самые горячие части ранней Вселенной были всего на сотую градуса теплее самых холодных. Не было никаких пригодных к использованию температурных градиентов, никаких энергетических водопадов, чтобы формировать новые структуры. Вы можете сами создать значительно большую разницу температур, просто потерев себя пальцем по лицу.

Затем гравитация стала формировать из этого малообещающего материала кое-что поинтереснее. Большой взрыв раздвигал пространство, а она тем временем судорожно пыталась собрать энергию и материю воедино.

Вокруг гравитации строилась ньютоновская концепция Вселенной; это же понятие сыграло роль объединяющей идеи в научной революции. Ньютон объяснял, как функционирует гравитация, в одном из важнейших научных трудов всех времен – *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, или «Математические начала натуральной философии», вышедшем в 1687 году. Для него это была универсальная сила притяжения, действующая между всеми телами, которые обладают массой. Два с половиной века спустя Эйнштейн показал, что энергия тоже может создавать гравитационное притяжение, потому что именно из нее и состоит материя.

Эйнштейн предсказал еще одно важное явление, связанное с гравитацией: если это форма энергии, значит, как и электромагнетизм или звук, она должна генерировать волны. Но Эйнштейн опасался, что волны эти слишком слабые, чтобы кому-нибудь когда-нибудь удалось их обнаружить. В сентябре 2015 года две гигантские машины, одна в Луизиане, а другая в штате Вашингтон, под управлением лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерватории, или LIGO, наконец зафиксировали гравитационные волны, и эта работа максимально ярко демонстрирует красоту передовой науки. В 2017 году три человека, которые внесли в этот проект значительный вклад, получили Нобелевскую премию по физике<sup>34</sup>. Гравитационные волны, зафиксированные обсерваторией LIGO, возникли около 100 млн лет назад при столкновении двух черных дыр в далекой галактике где-то в Южном полушарии неба (в этот момент на нашей планете еще царили динозавры). На Земле в каждой из машин обсерватории LIGO луч света разделили на два луча, которые отправили под прямым углом друг к другу двигаться вверх-вниз по двум четырехкилометровым трубам с зеркалами на обоих концах. Когда после почти 300 проходов лучи вернулись, это произошло не совсем одновременно. Мельчайшие гравитационные волны вытянули трубы в одном направлении и сжали в другом на величину значительно меньше ширины протона. Теперь, когда астрономы знают, что гравитационные волны существуют, они надеются найти новые способы исследовать Вселенную с их помощью.

С точки зрения гравитации ранняя Вселенная была слишком гладкой. Ее нужно было скомковать. Это стремление гравитации перестраивать Вселенную объясняет, почему считается, что на ранних этапах энтропия здесь была низкой: Вселенной была свойственна некоторая опрятность, которую энтропия могла разрушать, внося беспорядок, на протяжении следующих нескольких миллиардов лет. Стоило гравитации взяться за работу, и всего через несколько сотен миллионов лет она превратила равномерную взвесь частиц ранней Вселенной в более беспорядочное и комковатое пространство, полное звезд и галактик.

Как показал Ньютон, сила гравитации больше там, где больше масса и где предметы ближе друг к другу. Поэтому Земля притягивает предметы значительно сильнее, чем вы,

<sup>34</sup> Их имена – Райнер Вайсс, Барри Бэриш и Кип Торн. – *Прим. ред.*

и по той же причине Земля притягивает вас к себе значительно слабее, если вы находитесь дальше от ее поверхности – например, на Международной космической станции. Теперь рассмотрим небольшой объем взвеси частиц в ранней Вселенной. Представим себе, что вполне случайным образом концентрация темной материи и атомов в одной части объема оказалась немного больше, чем в другой. Законы Ньютона говорят нам, что гравитация в более плотном углу будет сильнее, поэтому здесь материю будет стягивать с большей силой, и разница между более плотной и более пустой областями увеличится. Вот так, по капельке, гравитация за миллионы лет и сделала Вселенную более зернистой и комковатой.

Когда гравитация поддвигала атомы друг к другу, они начинали сталкиваться чаще, а их колебания становились более активными. Поэтому в местах, где образовалось больше комков, росла температура, ведь в меньших объемах пространства собралось больше тепла (по этому же принципу нагревается шина, когда ее накачивают). Большая часть Вселенной продолжала остывать, а комки снова стали нагреваться. Наконец некоторые из них оказались такими горячими, что протоны уже не могли держаться за свои электроны. Атомы распались, и внутри каждого комка снова образовалась заряженная плазма, потрескивающая от электрических разрядов, – та, которой когда-то была полна Вселенная.

Благодаря гравитации давление накапливалось, более плотные области становились еще плотнее, их ядра – горячее, воссоздавались высокие энергии ранней Вселенной. При температуре около 10 млн градусов Цельсия энергии у протонов становится столько, что они могут сталкиваться достаточно резко, чтобы преодолеть отталкивание положительных зарядов. Перейдя этот барьер, протоны начали соединяться попарно, связанные сильным ядерным взаимодействием, которое работает лишь на очень малых расстояниях. Пары протонов образовали ядра гелия, как уже было когда-то, в краткий период сразу после Большого взрыва.

Когда протоны соединялись, часть их массы превращалась в чистую энергию, а, как мы видели, даже крошечная частичка материи содержит колоссальное количество энергии. Такую же огромную энергию выбрасывает водородная бомба, топливом для которой, как и для звезд, служат реакции ядерного синтеза. Итак, когда температуры в центре плотного облака материи переходят критический порог около 10 млн градусов, триллионы протонов начинают сливаться, синтезируя ядра гелия, и разгорается печь, которая выделяет огромное количество энергии. Однажды зажженная, она будет гореть до тех пор, пока будет достаточно протонов, чтобы продолжался синтез.

Огромное количество энергии, выделяющееся при ядерном синтезе, будет подогрывать ядро, так что оно станет расширяться, противодействуя гравитации. Теперь вся эта новая структура стабилизируется на миллионы или миллиарды лет. Родилась новая звезда.

## ***Галактики и звезды во Вселенной***

И не одна звезда; в каждой скученной области их были миллиарды, и тьму молодой Вселенной озарили просторные звездные города, которые мы называем галактиками.

Вселенная, в которой есть галактики и звезды, очень сильно отличается от Вселенной первых атомов. Теперь в ней есть и крупные, и мелкие структурированные объекты, и можно сказать, что вся она усложнилась. Области между галактиками темные и пустые, а внутри галактик – яркие и плотные. Галактики насыщены материей и энергией, тогда как пространство между ними холодное, в нем ничего нет. Теперь все интересное не рассеяно в виде взвеси, а сконцентрировано в просторных галактических полотнах и волокнах, подобных нитям паутины. У каждой галактики есть определенная структура. Большинство из них – спиральные, как и наша родная галактика Млечный Путь, где сотни миллиардов звезд медленно вращаются вокруг плотного ядра, в котором обычно находится черная дыра. Но некоторые галактики столкнулись с другими, в них все перемешалось, и получились «неправильные галактики».

В свою очередь, гравитация объединяет их в скопления и в скопления скоплений, образуя звездные архипелаги, которые простираются через всю Вселенную.

По Вселенной, как горячие изюминки в холодном пудинге, рассыпаны отдельные звезды, тоже хорошо структурированные и обладающие новыми свойствами. У каждой из них есть горячее ядро, в котором протоны соединяются и генерируют энергию, противодействующую гравитации. Внешние слои выше ядра давят вниз и подают в него протонное топливо. Жизнь звезды развивается в первую очередь в зависимости от ее массы при рождении – от того, сколько вещества в ней было изначально. В массивных звездах гравитационное давление оказывается сильнее, поэтому они значительно горячее звезд с массой поменьше. Из-за этого они быстро сжигают свое топливо и гаснут всего через несколько миллионов лет. Звезды меньшей массы горят медленнее, многие маленькие звезды будут гореть значительно дольше, чем существует Вселенная на данный момент.

В этой более разнородной Вселенной были более разнообразные условия, больше творческих возможностей и множество энергетических перепадов. Были градиенты света, температуры и плотности, по которым водопадом стекала свободная энергия. Каждая звезда испускала ее в холодные пространства вокруг, порождая потоки тепла, света и химической энергии, благодаря которой в близлежащих областях могли образовываться новые сложные объекты. Именно потоки свободной энергии позволяют цвести жизни на планете Земля.

Гравитация стала соединять протоны, преодолевая барьер их положительных зарядов, и тем самым дала толчок к образованию звезд из материи. Эту модель мы будем наблюдать снова и снова. Похожим образом вы прибегаете к помощи чашки кофе, чтобы проснуться. Химики называют такую первую дозу энергии энергией *активации*. Это та самая горящая спичка, с которой начинается пожар. Энергия определенного типа что-то изменяет, и в результате освобождаются другие потоки свободной энергии, значительно превосходящие энергию активации. В истории образования звезд гравитация дала энергию активации для реакции ядерного синтеза, появления звезд и всего, что последовало за этим.

Но есть один вопрос. А как же второй закон термодинамики? Энтропия ненавидит структуру, так почему же она позволяет появляться более сложным вещам?

Если внимательно присмотреться к потокам энергии, вы увидите, что сложные структуры, например звезды, дорого платят за свое устройство. Посмотрите на огромную энергию ядерного синтеза. В первую очередь она поддерживает жизнь звезды, не давая ей коллапсировать. Это выглядит так, как будто звезда уплачивает энтропии пошлину, своеобразный налог на сложность. Перестав генерировать энергию, она схлопнется. Идеей налога на сложность можно объяснить важную вещь, которую заметил астрофизик Эрик Чейсон, – грубо говоря, для более сложных явлений нужны более плотные потоки энергии, больше энергии на грамм в секунду. Например, согласно его оценкам, через современное человеческое общество проходит поток энергии примерно в миллион раз более плотный, чем через Солнце, а плотность потока, который идет через большую часть живых организмов, находится где-то между этими двумя крайними значениями. Кажется, если объект пытается быть сложнее, энтропия требует от него больше энергии; более сложным сущностям приходится находить и осваивать более крупные и сложные потоки свободной энергии. Неудивительно, что создать и сохранить более сложную вещь труднее и что обычно такие вещи распадаются быстрее простых. Эта идея красной нитью проходит через современную историю происхождения мира и позволяет многое сказать о современных человеческих обществах<sup>35</sup>.

Энтропии эта сделка очень по душе, потому что энергия, которая поддерживает жизнь звезды, как энергия водопада, будучи выпущенной в пространство, в конце концов затухает. Так что, становясь сложнее, звезда одновременно помогает энтропии превращать свободную

---

<sup>35</sup> См.: Eric Chaisson. *Cosmic Evolution*; Fred Spier. *Big History*.

энергию в тепловую. Мы все время будем наблюдать это в современной истории происхождения мира. Рост сложности – это не победа над энтропией. Как ни парадоксально, потоки энергии, которые поддерживают существование сложных вещей (в том числе наше с вами), помогают энтропии делать ее темное дело и понемногу разлагать все формы порядка и структуры.

### ***Третий порог. Новые элементы и рост химической сложности***

Через миллиард лет после Большого взрыва Вселенная уже вела себя интересным образом, как маленький ребенок. Но с химической точки зрения она была очень скучной. В ней не было ничего, кроме водорода и гелия. Третий порог усложнения породил новые формы вещества – все остальные элементы периодической таблицы. Вселенная, в которой девяносто разных элементов, способна на гораздо большее, чем та, где есть лишь водород и гелий.

Водород и гелий образовались первыми, потому что они самые простые. В ядре водорода один протон, и мы говорим, что его атомное число равно 1. Ядро гелия содержит два протона, его атомное число равно 2. Когда примерно через 380 000 лет после Большого взрыва возникло реликтовое излучение, добавилось немного лития (атомное число 3) и бериллия (атомное число 4). Вот и все. Других элементов при Большом взрыве не возникло.

Условия Златовласки для образования других элементов с более крупными ядрами были простыми: много протонов и очень высокие температуры, такие, которые наблюдались лишь сразу после Большого взрыва. Эти температуры удалось получить в драматичных, противоречивых условиях умирающих звезд, когда те, износившись, пошатнулись и наконец стали распадаться, больше неспособные уплачивать энтропии налог на сложность.

Чтобы понять, как звезды, агонизируя, производят новые элементы, нужно разобраться в том, как они живут и старятся.

Жизнь звезды длится миллионы или миллиарды лет, так что наблюдать ее старение мы не можем. Поэтому астрономы, которые изучали небо невооруженным глазом, например майя, народ с озера Мунго или жители древних Афин, не могли рассказать современную историю жизни и смерти звезд. Наши сегодняшние представления основаны на результатах исследований, проводимых по всему миру с использованием приборов и данных, которые появились лишь в последние 200 лет. Благодаря массивам этих данных ученые могут обмениваться информацией о миллионах звезд на разных стадиях жизни. Как сказал английский астроном Артур Эддингтон, представители этой науки как будто ходят по лесу, где есть молодые побеги, а есть зрелые, старые и умирающие деревья<sup>36</sup>. Изучая деревья в разные моменты жизненного цикла, можно понять, как они растут, развиваются и умирают.

У астрономов есть одна главная карта, где собрано огромное количество информации о звездах, – это диаграмма Герцшпрунга – Рассела. Для них это то же самое, что глобусы, которые когда-то можно было найти в каждом школьном классе. Диаграмма, как и эти глобусы, помогает осмыслить большое количество информации.

Диаграмма Герцшпрунга – Рассела была создана около 1910 года, на ней звезды классифицированы по двум основным свойствам. Первое откладывается по вертикальной оси, это собственная яркость, или светимость, звезды – количество энергии, которое она на самом деле испускает в космос, – по сравнению с Солнцем. Второе свойство – это цвет, по которому можно определить температуру поверхности звезды в кельвинах (К). Его обычно отмечают на горизонтальной оси. Поскольку два этих числа на протяжении жизни звезды меняются, с помощью графика можно понять, какая судьба ждет звезды разных типов. Существенные различия в их жизненной истории в первую очередь зависят еще от одной величины – массы того облака

---

<sup>36</sup> Andrew King. Stars: A Very Short Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2012. P. 49.

материи, из которого образовалась звезда. У массивных звезд иная судьба, чем у звезд с малой массой<sup>37</sup>.

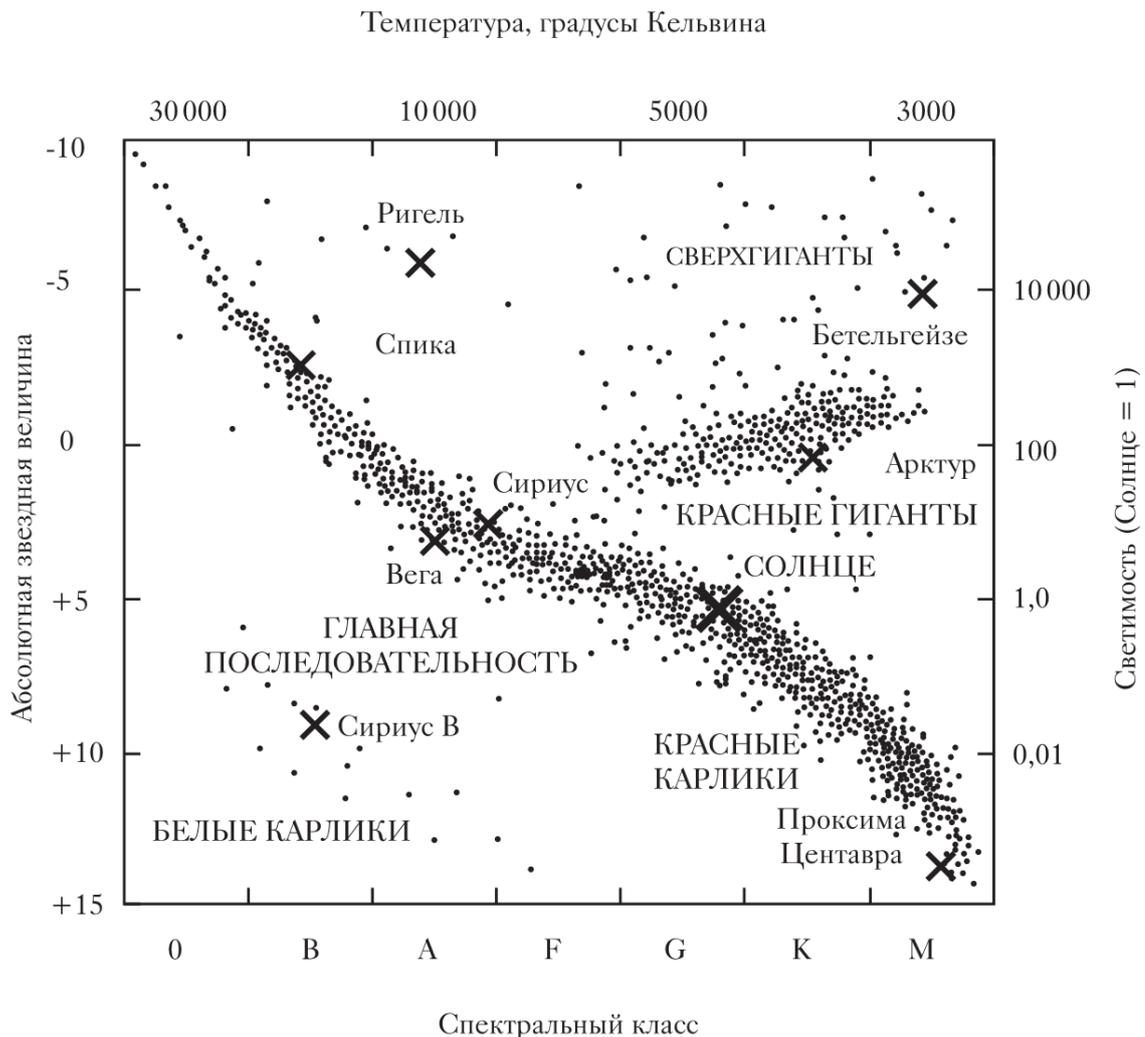


Диаграмма Герцшпрунга – Рассела, упрощенная версия. Здесь примерно показано, как расположены представители различных типов звезд

На диаграмме Герцшпрунга – Рассела звезды с наибольшей светимостью, испускающие больше всего энергии, например Сиринус, расположены выше других. Обычно это звезды с наибольшей массой. Звезды с наименьшей светимостью, например наша соседка Проксима Центавра, расположены ниже. Наше Солнце (со светимостью, равной 1) находится в середине. Звезды с очень высокой температурой поверхности находятся левее, а те, у которых температура поверхности низкая, правее.

Интерес представляют три основные области диаграммы. Широкая изогнутая полоса, которая тянется из ее нижнего правого угла в верхний левый, – это главная последовательность. Большинство звезд около 90 % своей жизни проводят в определенной точке главной последовательности. То, где именно они расположены, зависит от их массы, но все звезды этой группы генерируют необходимую им энергию, синтезируя из протонов ядра гелия. Тем же самым прямо сейчас занято наше Солнце. Это звезда среднего возраста, которая все еще находится на главной последовательности. В верхнем правом углу диаграммы вы найдете крас-

<sup>37</sup> Ibid. P. 59.

ных сверхгигантов, таких как Бетельгейзе, звезда в углу созвездия Ориона. Это состарившиеся звезды, которые истратили большинство своих протонов и топят печи, сжигая другие, более крупные ядра. Их поверхность холоднее, поскольку они расширились и превосходят наше Солнце по радиусу, вероятно, в 200 раз. Но в целом они испускают огромное количество света, поскольку очень велики, и поэтому находятся в верхней части диаграммы. Третья важная область – это нижний левый угол. Здесь вы видите белых карликов. Они были красными гигантами, пока не потеряли большую часть внешних слоев, так что у них осталось лишь плотное горячее ядро.

Когда звезды становятся совсем старыми, у них рано или поздно кончаются свободные протоны и их центр начинает наполняться золой ядерного синтеза, то есть ядрами гелия. Для синтеза из ядер гелия нужна гораздо большая температура, чем для протонного синтеза, так что в конце концов очаг в ядре звезды затухает. Когда это происходит, гравитация побеждает и звезда схлопывается под действием собственной массы. Но это еще не конец истории. После коллапса звезда снова разогревается по мере того, как под действием гравитации растет давление. Удаленные от ядра внешние слои звезды расширяются и охлаждаются, удерживая равновесие. Нам эти более холодные внешние слои кажутся красными, поэтому на этой стадии звезды называют *красными гигантами*. Наше Солнце на этом этапе расширится примерно в 200 раз по сравнению с его нынешним объемом, и внутренние планеты, включая Землю, обратятся в пар.

Если масса красного гиганта достаточно велика, гравитация сжимает его настолько плотно, что ядро разогревается больше чем когда-либо – достаточно сильно, чтобы из ядер гелия синтезировать более тяжелые ядра, такие как углерод (с шестью протонами) и кислород (с восемью). Звезда возрождается, но слияние ядер гелия – более сложный процесс, чем синтез из протонов. Он не дает столько энергии, и средняя продолжительность жизни звезд на этой стадии значительно меньше. Очень крупные звезды проходят несколько стадий все более резкого расширения и сжатия. Из углерода и кислорода синтезируются элементы от магния до кремния и, наконец, железа. При нагревании звезд вступает в действие еще один механизм: некоторые нейтроны превращаются в протоны и образуют новые типы ядер. Ядро звезды постепенно становится огромным железным шаром, который окружают слои других элементов.

И вот это – уже конец пути, потому что при синтезе из ядер железа невозможно генерировать энергию. В конце концов, большинство звезд отбросят внешние слои и превратятся в белых карликов, которые находятся в нижнем левом углу диаграммы Герцшпрунга – Рассела. Белые карлики – это звездные зомби без огня в сердце. Чрезвычайно плотные, они часто имеют размер Земли и массу Солнца. Вы не сможете поднять и чайную ложку вещества, из которого состоит белый карлик, потому что она будет весить не меньше тонны<sup>38</sup>. Еще горячие, их тела будут остывать в течение миллиардов лет, но они сделали свою работу, обогатив окружающее пространство новыми элементами. На долю некоторых белых карликов выпадает более зрелищная смерть в виде гигантской вспышки сверхновой, когда их втягивают в себя близлежащие звезды. Это такой горячий взрыв, что в нем может образоваться множество элементов периодической таблицы. В ярком процессе гибели белого карлика во взрыве образуются так называемые сверхновые звезды типа Ia. Все они взрываются примерно при одной и той же температуре, так что, если вы видите такую звезду, вы знаете ее яркость, а это означает, что вы можете оценить истинное расстояние до нее. Сверхновые типа Ia позволяют астрономам определять расстояния в сотни раз большие, чем с помощью цефеид.

Звезды, масса которых превышает массу Солнца более чем в семь раз, тоже красочно окончат свой путь взрывом другого типа – вспышкой сверхновой с коллапсирующим ядром. Если в ядре сформировался железный шар, превышающий по размерам наше Солнце, очаг

<sup>38</sup> *Ibid.*

в центре погаснет в последний раз. Гравитация за долю секунды с огромной силой сомнет ядро, и при этом возникнут энергия и температуры, каких не было за всю жизнь звезды. Произойдет взрыв сверхновой, при котором она сможет недолго излучать столько же энергии, сколько излучает целая галактика. Всего за несколько минут она образует и выбросит в космос многие из оставшихся элементов периодической таблицы. Пожалуй, самый известный пример сверхновой с коллапсирующим ядром – это сердце Крабовидной туманности. Бетельгейзе в любой момент ближайшего миллиона лет может перейти к взрыву сверхновой.

Большинство сверхгигантов, отбросив внешние слои в процессе вспышки сверхновой, настолько резко сжимаются, что их протоны и электроны, сталкиваясь, образуют нейтроны. Теперь весь этот массивный шар смят в *нейтронную звезду* – объект, состоящий из нейтронов, которые набиты в него так же тесно, как частицы в атомном ядре. Это крайне плотная и очень необычная форма материи, ведь большинство атомов в основном состоят из пустого пространства. Нейтронная звезда диаметром всего 20 километров может весить в два раза больше нашего Солнца, а чайная ложка ее вещества – миллиард тонн<sup>39</sup>. Некоторые данные говорят о том, что многие тяжелые элементы периодической таблицы получились не при стандартных взрывах сверхновых, а в бурном процессе образования нейтронных звезд.

Нейтронные звезды быстро вращаются, как сигнальные маяки, и впервые их обнаружили в 1967 году, зафиксировав серию быстрых вспышек энергии. Вращающиеся нейтронные звезды называют пульсарами. Вскоре после того, как открыли первый пульсар, еще один обнаружили в центре Крабовидной туманности, оставшейся от взрыва сверхновой, который китайские астрономы наблюдали в 1054 году. Пульсар Крабовидной туманности по размерам напоминает город и делает 30 оборотов в секунду.

Самые массивные звезды ждет другой, еще более причудливый финал. Их ядра взрываются с такой силой, что сжатию противостоять невозможно, и они превращаются в черные дыры, самые плотные из известных нам объектов. Их существование предсказал Эйнштейн. Они настолько плотны, что ничто не может избежать их гравитационного притяжения, даже свет, поэтому мы так мало знаем об их внутреннем устройстве. Черные дыры – очень странные астрономические монстры, но теперь у нас есть масса свидетельств того, что они существуют. Вероятнее всего, первые звезды в нашей Вселенной были огромны, так что, по-видимому, многие из них сжались в большие черные дыры, а те стали гравитационными ядрами, вокруг которых образовались целые галактики, как жемчужины вокруг песчинок. Сегодня астрономы наблюдают крупные черные дыры в центре большинства галактик, включая нашу. Их гигантские гравитационные поля позволяют им засасывать в свои пасти ближайшие звезды. Когда звезду затягивает через границу черной дыры (ее горизонт событий), она испускает огромное количество энергии, как будто в предсмертном крике. Эти предсмертные вопли ведут к появлению исключительно ярких объектов, которые называются квазарами.

Граница, или горизонт событий черной дыры, – это точка невозврата. Здесь лежит предел наших знаний, потому что из когтей черной дыры может вырваться ничтожно малое количество информации. Мы можем оценить массу объекта, из которого черная дыра образовалась, а также характер ее вращения. Вот примерно и все. Впрочем, Стивен Хокинг показал, что тонкие квантовые эффекты позволяют крошечному количеству энергии просачиваться из черных дыр. Возможно, происходит также утечка информации, но, если это так, мы пока не умеем ее интерпретировать.

Вот такими разными способами звезды, умирая, обогатили и удобрили молодую Вселенную. Выкованные когда-то в умирающих звездах и сверхновых, элементы периодической таблицы собирались в гигантские межзвездные пылевые облака; атомы соединялись в простые молекулы, и в своеобразном брожении вызревали новые формы материи.

---

<sup>39</sup> Ibid. P. 66.

Мы знаем все это о звездах, потому что астрономы разработали способы, которыми можно определить, что в них происходит на расстоянии миллионов световых лет от Земли. Мы уже видели, сколько информации можно вытянуть из звездного света. Но видимый свет – это лишь крошечная часть энергии, которую излучают звезды и галактики. С помощью современных телескопов астрономы могут исследовать излучение любой частоты электромагнитного спектра, от самых длинных, ленивых радиоволн до мельчайших гиперактивных гамма-лучей. Компьютеры с высокой точностью обрабатывают колоссальные объемы информации, а космические телескопы, например телескоп «Хаббл», позволяют астрономам наблюдать Вселенную без искажений, которые создает атмосфера Земли. Эти современные научные игрушки могут очень и очень много рассказать о нашем галактическом окружении.

Предшествовавшие им приборы, например оптические телескопы и спектроскопы, тоже сыграли важнейшую роль. Абсорбционные линии, обнаруженные с помощью спектроскопов, говорят о том, какие элементы находятся в звездах и в каком количестве. Хотите узнать, сколько в Солнце золота? Направьте на него спектроскоп, найдите абсорбционные линии, соответствующие этому металлу, и измерьте, насколько они затемнены. Вы выясните, что золото составляет менее триллионной части массы Солнца. Но Солнце настолько велико, что если вы добудете все его золото, то станете несказанно богаты – ведь здесь его гораздо больше, чем на всей Земле.

Астрономы могут определить температуру поверхности звезды по тому, какого цвета (или частоты) свет она излучает, так что мы знаем, что температуры звездных поверхностей могут составлять от всего лишь 2500 К до целых 30 000 К. Кроме того, как мы уже видели, ученые способны вычислить общее количество света, которое испускает звезда (ее светимость), измерив видимую яркость и определив, насколько ярче звезда была бы вблизи. По этим двум показателям – температуре поверхности и светимости – строится диаграмма Герцшпрунга – Рассела. Наконец, если известна светимость звезды, часто можно определить ее массу. Аналогичные методы позволяют установить расстояние, размер, энергию целых галактик и то, как они движутся.

Эти методы за последние пятьдесят лет совершили революцию в наших представлениях о звездах и галактиках. Они помогли нам понять, как те развиваются, распадаются и как благодаря им Вселенная стала химически богатой. А это было критическим условием Златовласки для образования сложных молекул, из которых смогли получиться новые типы астрономических объектов, таких как наша Земля и ее спутник.

### 3

## Молекулы и луны: четвертый порог

*В действительности существуют только атомы и пустота<sup>40</sup>.  
Демокрит*

*Вы на Земле. Это неизлечимо.  
Сэмюэл Беккет, «Конец игры»*

### *От звездной пыли к молекулам*

До сих пор мы рассматривали бурные процессы, которые с участием чрезвычайно больших энергий, подчиняясь базовым правилам действия Вселенной, привели к образованию галактик, звезд и новых элементов. Как будто виртуозный скульптор – гравитация – выпилил бензопилой космологические скульптуры. Вблизи звезд эти грубые творения создали новые типы сред, где смогли появиться произведения более утонченные. Чтобы понять, что это за новые типы структур, мы перейдем от очень больших объектов к очень маленьким. Сосредоточимся на отношениях между атомами.

Сложные химические явления определяются мельчайшими потоками электромагнитной энергии, которая способна производить наноработу по перестановке отдельных атомов и молекул. Но условия Златовласки для таких тонких потоков свободной энергии встречаются редко, только в особых, защищенных средах. При высокой температуре молекулы и атомы отрываются друг от друга, так что в звездах химически сложных объектов не бывает. И все же некоторая энергия для них нужна, так что в мертвой зоне глубокого космоса их тоже не найти. По-видимому, идеальные условия образуются вблизи звезд, но не слишком близко, в местах, где свободная энергия течет устойчивыми, но мягкими потоками.

Человек ощущает на себе действие гравитации, но в наном мире, где обитают атомы, она не так важна. Особого значения ей не придают даже мелкие существа, например бактерии или водомерки, которых гораздо больше волнуют, соответственно, локальные электрические заряды и поверхностное натяжение воды. На уровне молекул правит электромагнитная сила. Она склеивает и растаскивает атомы и молекулы. Те перемещаются в вязком мире электромагнитных крючков, щупов, приманок и лассо.

Химический мир возник в облаках галактической пыли, когда те стали наполняться новыми элементами. Около 98 % массы межзвездных пылевых облаков и сегодня составляют атомы водорода и гелия. Однако среди них вкраплениями разбросаны атомы всех остальных элементов периодической таблицы. Это сбивает с толку, но все элементы тяжелее гелия астрономы называют металлами. Они говорят, что со смертью все новых и новых крупных звезд Вселенная становилась более металлической. Также можно сказать, что наше Солнце более металлическое, чем звезды предыдущих поколений, потому что оно содержит больше металлов.

С помощью спектроскопа можно понять, какие элементы находятся в галактических облаках и в каком количестве. Спектроскопом также можно определять молекулы – группы атомов, связанных электромагнитной силой. Например, можно узнать, есть ли в облаке молекулы воды или льда или силикатов, которые состоят в основном из кремния и кислорода и образуют большую часть пыли и каменных пород на Земле. Сейчас мы знаем, что в облаках галакти-

---

<sup>40</sup> Цит. по: Антология мировой философии. В 4-х т. М.: Мысль, 1969. Т.1. Ч.1.

ческой пыли много простых молекул, включая, например, аминокислоты (из которых строятся белки), необходимые для жизни на нашей планете.

Химия – это наука, которая изучает, как под действием электромагнитных сил формируются молекулы и как строятся и перестраиваются соединения атомов, образуя все калейдоскопическое многообразие веществ в нашем мире.

### *Химические союзы. Как соединяются атомы*

Атомы очень малы. Миллион атомов углерода можно уместить в точке в конце этого предложения. Но неправильно представлять себе их как сплошные шарики материи. Атомы почти полностью состоят из пустоты. В центре каждого из них есть крошечное ядро из протонов (с положительным зарядом) и нейтронов (без заряда), связанных сильным ядерным взаимодействием. Остальная часть атома почти пуста. По орбитам вокруг ядра на огромных расстояниях от него обращаются облака электронов, приблизительно по одному на каждый протон в ядре. В начале XX века Эрнест Резерфорд, один из пионеров современной ядерной физики, сказал, что ядро атома – это «муха в соборе».

Предложенный Резерфордом масштаб примерно соответствует действительности, но ученый писал до того, как появилась современная квантовая физика, которая показала, что его метафора в то же время обманчива. Электроны имеют микроскопический размер, по массе составляя около 1/1836 протона. Квантовая физика говорит о том, что скорость или положение электрона точно установить невозможно. Можно сказать, где, вероятно, находится электрон, но никогда нельзя сказать, где он в точности, потому что любая попытка определить его положение неизбежно потребует энергии (представьте, что светите на него фонариком), а электроны настолько легкие, что она изменит их скорость или траекторию. Поэтому квантовые физики изображают обращающиеся по орбите электроны в виде своеобразного «облака вероятностей», которое уплотняется на одних расстояниях от ядра и истончается на других. Облако вероятностей пронизывает большую часть атомарного собора и может просочиться за его стены<sup>41</sup>.

Вся суть химии – в тех союзах и борьбе, которые возникают в этих облаках вероятностей. Здесь много чего происходит. Между протонами и электронами образуются и рвутся связи, они оставляют старые узы и начинают новые отношения, а в результате возникают совершенно новые формы материи. В основе всего этого лежит тот простой факт, что у электронов отрицательные заряды, которые отталкиваются друг от друга, но притягиваются к положительным зарядам протонов либо в своем, либо в соседних атомах. Химики исследуют флирт, соперничество, связи и напряжение, которые возникают, когда электроны, уцепившись за соседний атом, образуют молекулы, где несколько, а иногда миллионы или даже миллиарды атомов объединяются в структуры более сложные, чем сложнейшие из звезд. В зависимости от строения у молекулы возникают собственные новые свойства, поэтому возможности химии кажутся безграничными. И все же в химическом флирте действуют свои правила (иногда не менее странные, чем в человеческом), в соответствии с которыми электромагнитная сила формирует химически сложные сущности.

На первых ролях здесь электроны. Как и лавеласы в мире людей, они непредсказуемы, ветрены и всегда открыты для более интересных предложений. Они носятся вокруг протонов по удаленным орбитам, каждая из которых связана со своим энергетическим уровнем. Электроны при любой возможности стремятся попасть на орбиту поближе к атомному ядру, где энергии нужно меньше всего. Но количество мест на каждой из них ограничено, и, если на внутренних орбитах все занято, приходится искать место на внешней. Если электронов

---

<sup>41</sup> Peter Atkins. Chemistry: A Very Short Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2015, loc. 788, Kindle.

на ней ровно столько, сколько нужно, все счастливы. Это положение дел свойственно так называемым благородным газам, например гелию или аргону, располагающимся в периодической таблице справа. Они не соединяются с другими атомами, потому что их более-менее устраивает текущее положение дел.

Но если внешние орбиты атома не заполнены, возникают неловкость, напряжение и проблемы, и все это порождает бесконечную суету в борьбе за место, которой обусловлена существенная часть химических процессов. Некоторые электроны-перебежчики уходят в соседние атомы. При этом атом, который они покидают, теряет отрицательный заряд и может соединиться с атомом, у которого есть лишний электрон, образуя ионную связь. Так из атомов натрия, внешний электрон которого обычно готов соскочить, и хлора, который все время ищет лишний электрон, чтобы заполнить свою внешнюю орбиту, получается поваренная соль. Бывает, что электроны лучше всего чувствуют себя, обращаясь вокруг двух ядер, так что те успешно делят между собой их заряд в ковалентной связи. Такой связью соединяются атомы водорода и кислорода, когда образуют молекулы воды. Но молекула при этом получается кривобокая, в ней два маленьких атома водорода привязаны к более крупному атому кислорода с одной стороны. При такой странной форме отрицательные и положительные заряды распределяются по поверхности молекулы неравномерно, это сбивает атомы водорода с толку, и их нередко привлекают к себе атомы кислорода из соседних молекул. Благодаря этому притяжению молекулы воды способны, пользуясь слабыми водородными связями, слипаться в капли. Водородные связи играют важнейшую роль в химии жизни, потому что ими в большой степени определяется поведение генетических молекул, например ДНК. В металлах электроны ведут себя совершенно иначе. Они большими толпами курсируют между их ядрами, поэтому металлы так хорошо проводят электрический ток – ведь это не что иное, как огромный поток электронов.

Углерод, у которого в ядре шесть протонов, играет в романтическом мире атомов роль донжуана. Обычно на его внешней орбите четыре электрона, но место есть для восьми, так что можно доставить ему удовольствие, удалив четыре электрона с его внешней оболочки, добавив их туда или позволив ему разделить их с другим атомом. У него большой выбор, и поэтому из углерода можно строить сложные молекулы с кольцами, цепочками и другими экзотическими формами. Благодаря этим мастерским способностям он так важен для химии жизни.

Судя по всему, базовые химические правила универсальны. Мы знаем это, потому что спектроскопы показывают, что многие простые молекулы, которые мы можем найти на Земле, существуют и в облаках межзвездной пыли. Но космическая химия, по-видимому, довольно проста; пока что в межзвездном пространстве не найдено ни одной молекулы, в которой было бы значительно больше сотни атомов. Это неудивительно. В конце концов, в космосе атомы находятся далеко друг от друга, им сложно соединяться. К тому же температуры здесь прохладные, так что энергии активации, которая нужна, чтобы подтолкнуть их к длительным отношениям, мало. Самое удивительное в космической химии то, что здесь способны формироваться не только простые молекулы, из которых образованы планеты, например вода и силикаты, но и такие, из которых строятся живые организмы, например аминокислоты, образующие белки. Более того, сегодня нам известно, что простые органические молекулы весьма распространены во Вселенной, что повышает вероятность существования жизни за пределами планеты Земля.

### ***Четвертый порог. От молекул к спутникам, планетам и солнечным системам***

Простые химические молекулы, обращающиеся вокруг молодых звезд, создали условия Златовласки для следующего порога усложнения, послужив строительным материалом для

совершенно новых астрономических объектов: планет, спутников и астероидов. По химическому составу планеты более разнообразны, чем звезды, и при этом они гораздо холоднее, поэтому на них образовались идеальные условия Златовласки для сложных химических явлений. И по крайней мере на одной из них (нашей), а может быть, и на многих других эта химия в конце концов породила жизнь.

В течение долгого времени людям была известна лишь одна Солнечная система. Но в 1995 году астрономы обнаружили *экзопланеты* – планеты, обращающиеся вокруг других звезд нашей галактики. Это удалось сделать, зафиксировав мельчайшие колебания в движении или крошечные изменения яркости звезд, которые можно наблюдать, когда перед звездой проходит планета. С тех пор мы узнали, что планеты есть у большинства из них, так что, возможно, в одной только нашей галактике существуют десятки миллиардов планетарных систем разнообразных типов. К середине 2016 года астрономы нашли более 3000 экзопланет. В течение следующих 10–20 лет исследование других планетарных систем должно дать нам более точные представления о самых распространенных их конфигурациях. Скорее всего, скоро мы сможем изучить атмосферу других планет, а это должно позволить понять, сколько из них пригодны для жизни. Мы уже знаем, что многие имеют примерно те же размеры, что и Земля, и обращаются на таком расстоянии от своей звезды, чтобы на них присутствовала вода в жидкой форме – важнейший для жизни ингредиент.

Открытие экзопланет говорит о том, что четвертый порог, как и третий, был пересечен уже множество раз и впервые это произошло в истории Вселенной довольно рано, возле звезды, которую мы, скорее всего, никогда не найдем. Но теперь нам достаточно много известно о том, как выглядит этот переход.

Образование планетарных систем – это грязный, хаотичный процесс, побочный продукт формирования звезд в химически обогащенных областях космоса. В течение миллиардов лет после Большого взрыва межзвездное пространство было заполнено облаками вещества с большим количеством разных химических элементов. Почти на 98 % они по-прежнему состояли из водорода и гелия, но критическую роль сыграли оставшиеся 2 %. Как и в ранней Вселенной, гравитация с удовольствием лепила из этих облаков комки. Возможно, в нашей части космоса ей помогла сверхновая, которая взорвалась неподалеку и перетряхнула все вокруг, в результате чего около 4,567 млрд лет назад газ и пыль стали собираться в огромное облако. В качестве визитной карточки эта сверхновая оставила характерные радиоактивные материалы, которые встречаются в метеоритах нашей Солнечной системы.

Сжимаясь, пылевое облако распалось на множество звездных туманностей. Из одной из них образовалось наше Солнце. Оно поглотило 99,9 % всего вещества вокруг себя. Но нам сейчас интересно то, что осталось – кольца мусора на орбите вокруг нашей молодой звезды. Звездная туманность сжималась под действием гравитации, и кружащаяся масса газа, пыли и частичек льда вращалась все быстрее и быстрее, пока центробежная сила не раскатала ее, как тесто для пиццы, и не получилась тонкая плоская область, где теперь расположена Солнечная система. Сегодня такие протопланетные диски можно наблюдать вблизи формирующихся звезд, так что нам известно, что они встречаются очень часто.

Вращающийся диск вещества превратился в планеты, спутники и астероиды под действием двух процессов. Первый – это химическая сортировка. Резкими выбросами из молодого Солнца заряженных частиц, которые называют солнечным ветром, с внутренних орбит выбило более легкие элементы, например водород и гелий, и образовались две отдельные зоны. Внешние области молодой Солнечной системы, как и большая часть Вселенной, состояли в основном из этих первозданных элементов, водорода и гелия. Но внутренние, где впоследствии появились каменные планеты – Меркурий, Венера, Земля и Марс, – потеряли столько их молекул, что химический состав здесь оказался на редкость разнообразным. Кислород, кремний, алюминий и железо образуют более 80 % земной коры, а такие вещества, как кальций, углерод

и фосфор, играют второстепенную роль. Водород – элемент среднего значения, а гелий едва ли встретишь на Земле.

Второй процесс, благодаря которому образовалась Солнечная система, – это аккреция. На отдельных орбитах вокруг молодого Солнца крупинки вещества стали медленно скапливаться вместе. Вероятно, во внешних областях, главным образом содержащих газы, это происходило вполне спокойно. Гравитация собрала вещество в огромные газовые планеты, такие как Юпитер и Сатурн, состоящие в основном из водорода и гелия с небольшими вкраплениями пыли и льда. Но во внутренних областях аккреция протекала более ожесточенно и хаотично, потому что здесь было значительно больше твердого вещества. Частицы пыли и льда слипались, образуя каменные и ледяные комочки, которые в вихре иногда разносили друг друга на куски, а иногда склеивались в более крупные комки. Наконец, появились объекты еще большего размера – метеоры и астероиды, – и на всех орбитах они налетали друг на друга или сливались в такие крупные единицы, что их гравитацией смело большую часть оставшегося хлама. В конце концов в результате этих процессов образовались планеты, которые мы видим сегодня на некотором расстоянии друг от друга на отдельных орбитах вокруг Солнца.

Это описание не вполне отражает, насколько аккреция – хаотичный и ожесточенный процесс. Некоторые объекты двигались поперек орбит, выбивая молодые планеты и спутники с места или разбивая их на куски. Возможно, к центру сместилась гигантская протопланета Юпитера, причем ее гравитационное притяжение должно было развалить любую планету, которая могла бы формироваться в области нынешнего пояса астероидов. Не исключено, что странный наклон и вращение Урана получились в результате резкого удара о другое крупное тело. А зубцы на многих астероидах – это шрамы от жестоких столкновений в начале истории Солнечной системы.

Тела продолжали сталкиваться долго, даже когда Солнечная система уже стабилизировалась. Так, Луна, возможно, образовалась в результате того, что примерно через 100 млн лет после рождения Солнечной системы на молодую Землю налетела протопланета размером с Марс (Тейя). Из-за этого огромные облака материи поднялись на орбиту вокруг Земли, где, скорее всего, они кружились, как кольца Сатурна (возможно, это тоже обломки разбитого спутника), пока в результате аккреции из них не получилась Луна.

За 50 млн лет Солнечная система в общих чертах приобрела свою нынешнюю форму и с тех пор оставалась довольно стабильной. Миллиарды планетарных систем в нашей Вселенной, вероятно, сформировались похожим образом, хотя существует огромное множество их конфигураций. Но все планетарные тела по температуре холоднее, а химически богаче и разнообразнее звезд, поэтому они обеспечили условия Златовласки, которые позволили появиться новым формам сложных явлений. В конце концов один из этих объектов – а возможно, и многие другие – породил жизнь.

## *Планета Земля*

Наша Солнечная система находится в галактике, которую мы называем Млечный Путь, на космической окраине одного из ее спиральных рукавов – Рукава Ориона. Млечный Путь относится к группе с неромантичным названием Местная группа галактик, где их около пятидесяти. Местная группа находится во внешней области Скопления Девы, в котором галактик около тысячи. Оно входит в Местное сверхскопление, где сотни таких групп. Чтобы пересечь Местное сверхскопление, нужно двигаться со скоростью света в течение 100 млн лет. В 2014 году выяснилось, что оно – часть гигантской космической империи, в которой, вероятно, 100 000 галактик и которую, двигаясь со скоростью света, можно было бы пересечь за 400 млн лет. Эта империя называется сверхскоплением Ланиакея (в переводе с гавайского – «необъятные небеса»). В настоящее время это самая крупная известная нам структурирован-

ная единица во Вселенной. Предполагается, что Ланиакея строится вокруг каркаса из темного вещества, гравитационное притяжение которого удерживает все эти галактики вместе, пока Вселенная расширяется.

Теперь вернемся на окраину Ланиакеи, в нашу Местную группу галактик, в Рукав Ориона, где мы найдем Солнце и планету Земля. После того как в результате аккреции образовалась эта планета, наш скульптор с бензопилой в качестве последнего штриха придал ей особую внутреннюю структуру. Геологи называют этот процесс *дифференциацией*.

Молодая Земля нагревалась и плавилась. Нагрев вызывали резкие столкновения в ходе аккреции, радиоактивные элементы (которые образовались при взрыве сверхновой, как и большая часть материала для Солнечной системы), а также давление, растущее по мере того, как планета увеличивалась в размере. Наконец молодая Земля стала такой горячей, что в основном растопилась в вязкое месиво, а после сжижения отдельные слои планеты распределились по плотности, и она обрела свою нынешнюю структуру.

Более тяжелые элементы, в первую очередь железо, никель и немного кремния, провалились через горячую жижу в середину и образовали металлическое ядро Земли. При вращении планеты оно создало магнитное поле, которое защитило ее поверхность от повреждений со стороны заряженных частиц солнечного ветра. Более легкие горные породы, например базальты, скопились выше ядра и образовали второй слой – зону полурасплавленных пород, перемешанных с газом и водой, глубиной 3000 километров, которая называется мантией. Отсюда берется лава, извергаемая вулканами. Самые легкие горные породы, в основном граниты, всплыли на поверхность, остыли и затвердели, образовав третий слой – тонкую, как яичная скорлупа, оболочку, которая называется корой и сегодня покрыта океанами и материками. Толщина коры под океанами в некоторых местах составляет всего пять километров, но под континентами она достигает 50 километров. Кора особенно интересна с химической точки зрения. Здесь можно найти твердые вещества, жидкости и газы, она неоднократно нагревалась и остывала под действием вулканов, падающих астероидов, жгучего молодого Солнца и наконец сконденсировавшихся первых земных океанов. В коре и мантии благодаря теплу и круговороту элементов образовалось около 250 новых минералов<sup>42</sup>. Пузыри газов, в том числе углекислого газа и водяного пара, выходили из мантии через вулканы и трещины на поверхности и образовали четвертый слой – первую атмосферу Земли. Кора и атмосфера также обогащались газами, водой, сложными молекулами и другими материалами, которые приносили с собой астероиды и кометы.

Горячее расплавленное ядро сохраняло молодую Землю в движении, потому что энергия из центра пробивалась через толщу планеты, подогревая и смешивая ее верхние слои, в результате чего возникали циркулирующие потоки мягких горных пород в мантии и образовалась усеянная вулканами поверхность. Жар ядра продолжает управлять изменениями в верхних слоях планеты. Сегодня можно проследить за движениями на ее поверхности с помощью систем GPS, и мы знаем, что плиты коры движутся примерно с той же скоростью, с которой у вас растут ногти. Самые быстрые перемещаются примерно на 25 сантиметров в год.

Геологи делят историю Земли на части. Самая продолжительная из них – эон. Первый эон называется гадей («подобный аду»). Он длился с образования Земли и до начала архейского эона (около 4 млрд лет назад). Заглянув на планету во времена гадея, вы увидели бы массу строительного хлама, оставшегося от аккреции. Трещины и разрывы на поверхности Луны и других планет показывают, что от 4 до 3,8 млрд лет назад на внутреннюю Солнечную систему обрушился дождь астероидов и других блуждающих объектов. Его называют «поздней тяжелой бомбардировкой», которую, вероятно, вызвало смещение орбит Юпитера и Сатурна, в результате чего объекты россыпью разлетелись по молодой Солнечной системе. Сейчас большинство

---

<sup>42</sup> Robert M. Hazen. Evolution of Minerals // Scientific American, March 2010. P. 61.

астероидов обитает между Юпитером и Марсом – возможно, это обломки кирпичей и балок, из которых разрушительная гравитационная сила Юпитера так и не дала образоваться планете. Сегодня нам известно около 300 000 астероидов. Большинство из них маленькие, но этих блуждающих объектов достаточно много, чтобы бомбардировать внутренние планеты<sup>43</sup>.

### *Изучение Земли. Сейсмографы и радиометрическое датирование*

Что бы ни говорили в Голливуде, выкопать в Земле такую яму, чтобы добраться до ее недр, невозможно. На данный момент самое глубокое отверстие составляет примерно 12 километров, а это около 0,2 % расстояния до земного ядра. Его пробурили в ходе геологического исследования на Кольском полуострове на северо-западной оконечности России. О том, что находится внутри планеты, нам известно благодаря другому ловкому научному трюку, аналогу рентгена у геологов. Землетрясения вызывают колебания, которые проходят через толщу земли. Сейсмографы измеряют их в различных местах на ее поверхности. Сравнивая результаты в разных зонах, можно понять, как быстро и на какое расстояние колебания прошли под землей. Известно также, что отдельные виды колебаний с разной скоростью распространяются в разных материалах – одни только в твердых веществах, другие также в жидкостях. Так что, проследив за ними с помощью всевозможных сейсмографов, о внутренностях планеты можно многое выяснить.

Определить возраст Земли и многие другие даты, разбросанные по всей современной истории происхождения мира, удалось лишь во второй половине XX века, опираясь на весьма хитроумные научные средства.

Первые шаги к тому, чтобы составить современную историю планеты Земля, были сделаны в XVII веке. Тогда некоторые пионеры геологии поняли, что можно было бы установить порядок событий в истории Земли, даже не имея понятия, когда именно они произошли. В XVII веке живший в Италии датский священник Нильс Стенсен показал, что, внимательно изучая осадочные породы, можно определить, в каком порядке отложились разные их слои. Все осадочные породы формируются послойно, так что известно, что чем старше слой, тем ниже он лежит. Все, что прорезает слои, должно быть моложе.

В начале XIX века английский геодезист Уильям Смит продемонстрировал, что в разных местах в скальных породах встречается один и тот же набор окаменелостей. Разумно предположить, что одинаковые окаменелости относятся примерно к одному и тому же времени, и на этом основании можно определить слои, которые во всем мире заложились более-менее одновременно. Используя сочетание этих принципов, геологи XIX века сумели составить относительную хронологию истории Земли. Она также лежит в основе современных геологических систем датировки и начинается с кембрийского периода – первого, в слоях которого окаменелости видны невооруженным глазом.

Однако никто не знал, когда именно был кембрийский период, и многие геологи оставили надежду однажды определить абсолютные даты для каждого пласта. В 1788 году Джеймс Геттон писал: «У нас нет ни признаков начала, ни перспективы конца»<sup>44</sup>. Даже в начале XX века единственным способом установить точную дату события было найти письменный источник, в котором оно упоминается. А это означало, как указывал Герберт Уэллс, когда сразу после Первой мировой войны пытался написать современную историю происхождения мира, что абсолютную хронологию невозможно построить дальше чем на несколько тысяч лет в прошлое.

---

<sup>43</sup> John Chambers, Jacqueline Mitton. *From Dust to Life: The Origin and Evolution of Our Solar System*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2014. P. 7.

<sup>44</sup> Doug Macdougall. *Why Geology Matters: Decoding the Past, Anticipating the Future*. Berkeley: University of California Press, 2011. P. 4.

Однако тогда уже был сделан ряд открытий, благодаря которым в конце концов стала возможна более точная датировка, хотя Герберт Уэллс об этом не знал. Ключом ко всему была радиоактивность, форма энергии, обнаруженная в 1896 году Анри Беккерелем. В атомах с крупными ядрами, например уране, сила отталкивания между множеством положительно заряженных протонов может дестабилизировать ядро, и в конце концов оно спонтанно распадается, испуская электроны с высокой энергией, фотоны или даже целые ядра гелия. Отбросив часть ядра, элемент превращается в другие элементы с меньшим числом протонов. Например, уран в конце концов распадается до свинца. В 1900-х годах Эрнест Резерфорд понял, что, даже если нельзя сказать, когда собирается распасться конкретное ядро, радиоактивный распад, усредненный по миллиардам частиц, оказывается очень предсказуемым процессом. Каждый изотоп одного и того же элемента (у изотопов одинаковое число протонов, но разное количество нейтронов) распадается с разной, но регулярной частотой, так что можно точно определить, сколько времени потребуется, чтобы распалась половина атомов данного изотопа. Например, период полураспада урана-238 (у которого 92 протона и 146 нейтронов) составляет 4,5 млрд лет, а урана-235 (92 протона и 143 нейтрона) – 700 млн лет.

Резерфорд догадался, что радиоактивный распад можно использовать как своеобразные геологические часы, если измерить, какая часть пробы распалась. В 1904 году он попробовал измерить распад пробы урана и в качестве возраста Земли получил число около 500 млн лет. Основная идея была верна, но его оценка вызвала сомнения, потому что общепризнанный возраст Земли был гораздо меньше – менее 100 млн лет.

Со временем все больше геологов стали соглашаться, что Земля может быть намного старше, чем считали раньше. Но измерение радиоактивного распада вызывало сложнейшие технические проблемы. Они были решены лишь в конце 1940-х годов с помощью методов, разработанных в рамках Манхэттенского проекта по созданию первой атомной бомбы. Чтобы сделать бомбу, требовалось разделить разные изотопы урана и получить чистые образцы урана-235. Американский физик Уиллард Либби помогал разрабатывать методы выделения и измерения разных изотопов урана, которые впоследствии оказались необходимы для измерения радиоактивного распада.

В 1948 году группе Либби удалось точно определить возраст материала из гробницы фараона Джосера, который ученым предоставил музей Метрополитен<sup>45</sup>. Они использовали углерод-14, радиоактивный изотоп углерода с периодом полураспада 5730 лет, вследствие чего он чрезвычайно удобен для исследования таких органических материалов, как древесина. Для разных периодов и материалов использовали разные радиоактивные вещества. Геологам особенно пригодился распад урана до свинца, а благодаря тому, что изотопы урана распадаются с неодинаковой скоростью, удалось провести перекрестный контроль<sup>46</sup>. В 1953 году Клэр Паттерсон с помощью уран-свинцового метода определил возраст железного метеорита. Он верно предположил, что метеориты состоят из первозданного материала молодой Солнечной системы и поэтому по ним можно судить о ее возрасте в целом. Согласно его измерениям, Земле оказалось около 4,5 млрд лет – значительно больше, чем по оценке Резерфорда. Датировка Паттерсона до сих пор считается верной.

Помимо методов радиоактивного датирования возникли другие, и их можно использовать для перекрестного контроля. Ученые иногда определяют даты в пределах последних тысячелетий, подсчитав годовые кольца древних деревьев, которые могут жить по несколько тысяч лет, например сосны остистой. У астрономов есть свои способы датировать историю Вселенной, а биологи обнаружили, что ДНК изменяется в весьма равномерном темпе, так что можно

<sup>45</sup> *Doug Macdougall. Nature's Clocks: How Scientists Measure the Age of Almost Everything. Berkeley: University of California Press, 2008. P. 58–60.*

<sup>46</sup> *Tim Lenton. Earth Systems Science: A Very Short Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2016, loc. 1297, Kindle.*

примерно определить, когда два вида отделились от общего предка, измерив разницу между их геномами. Благодаря таким методам, основанным на внимательном изучении процессов, подобных радиоактивному распаду, а также разработке новых точных измерительных инструментов у нас появилась хронология, вокруг которой строится современная история происхождения мира.

До сих пор мы наблюдали усложнение на интересных, но безжизненных объектах. Теперь мы подошли к одному из важнейших среди всех наших порогов – возникновению жизни. Вместе с ней появляются сложные сущности совершенно нового вида и другого уровня, а также целый набор новых понятий, среди которых информация, смысл и, наконец, сознание.

## Часть II Биосфера

### 4

### Жизнь: пятый порог

#### *Жизнь и информация. Новый вид сложного*

*После обеда я размышлял о жизни. Если подумать, до чего странная вещь – жизнь! Так не похоже на все остальное, не правда ли, если вы понимаете, о чем я.*

*П. Г. Вудхаус, «Мой друг Дживс» (My Man Jeeves)*

*Коренная сущность каждого живого существа – не пламя, не теплое дыхание и не «искра жизни». Но информация, слова, инструкции. Если вы любите метафоры, то не представляйте себе огни, искры и дыхание, а представляйте себе миллиарды четких кодовых знаков, высеченных на гранях кристалла<sup>47</sup>.*

*Ричард Докинз, «Слепой часовщик»*

Жизнь, какой мы ее знаем, возникла почти 4 млрд лет назад в результате причудливых химических процессов, которые протекали в богатой химическими элементами среде на молодой планете Земля. Если жизнь есть где-то еще, возможно, там она выглядит так странно, что мы бы ее не узнали. Но на Земле все живое состоит из миллиардов замысловатых молекулярных наномашин. Они работают сообща в покоем на пузырек защитном устройстве, которое мы считаем строительным элементом всего живого – основной структурной, функциональной и биологической единицей всех известных живых организмов. Эти защитные пузыри называются клетками. Английское слово *cell*, означающее клетку, происходит от латинского *cella*, что, в свою очередь, переводится как «маленькая комната». Клетки – мельчайшие единицы жизни, способные самостоятельно воспроизводиться. Они живут за счет тонких потоков питательных веществ и свободной энергии в окружающей их среде.

Жизнь очень сильно воздействует на нашу планету, потому что живые организмы создают собственные копии, способные приумножаться, распространяться, разрастаться и видоизменяться. За 4 млрд лет их колоссальная армия трансформировала Землю и создала биосферу – тонкий слой на поверхности планеты, состоящий из живых организмов и всего, что ими образовано, что они изменили или оставили после себя.

Жизнь – очень загадочная вещь: кажется, что внутри любой клетки царит полный бардак, как будто миллион молекул устроили бои в грязи, но при этом целая клетка производит впечатление, словно она действует осмысленно. Как будто что-то ведет ее изнутри, пункт за пунктом двигаясь по некоему списку дел. Список простой: 1) остаться в живых вопреки энтропии и непредсказуемым условиям и 2) создать копии себя самой, которые смогут делать то же самое. И так далее, от клетки к клетке, из поколения в поколение. Здесь, в этом стремлении достичь одного результата и избежать другого, кроются корни страсти, заботы, жизненных целей, этики и даже любви. Возможно, даже зачатки смысла, если понимать его как способ-

---

<sup>47</sup> Перевод А. Протопопова.

ность придавать разное значение разным событиям и знакам. Что значит эта большая белая акула сзади меня?

Видимость (возможно, иллюзия) осмысленности – это нечто новое. Это несвойственно другим сложным явлениям, которые мы наблюдали до сих пор. Можно ли говорить о целях звезды? Планет, горных пород? Или даже Вселенной? Скорее нет, по крайней мере, не с позиций современной истории происхождения мира. Но живое устроено иначе. Вместо того чтобы пассивно принимать правила энтропии, оно, как упрямый ребенок, отпихивается и пытается торговаться. Живые существа не просто образуют неподвижные структуры в пространстве, как протоны или электроны. Они существуют не за счет энергетических запасов, как звезды, что поедают протоны из кладовки, которую плотно набили при их рождении, и распадаются, стоит кладовке опустеть. Живые организмы постоянно выискивают в окружающей среде новые потоки энергии, чтобы сохранять свое сложное, но нестабильное состояние. Камни себя так не ведут; так ведет себя птица, вставшая на крыло. Живые организмы продолжают полет (в термодинамическом смысле), поглощая свободную энергию, чтобы в ходе сложных химических процессов атомы и молекулы перестраивались определенным образом, который позволяет живому оставаться живым. Если организм больше не может уплачивать энтропии энергетический налог, он терпит крах.

Энергия и жизнь! Помню, в Австралии я наблюдал, как мои дети превращают энергию бутербродов с веджимайтом<sup>48</sup> в бурную энергию движения, бегая по саду. Можно даже измерить скорость, с которой течет свободная энергия (в том числе из бутерброда с веджимайтом), превращаясь в энергию речи, бега и, наконец, тепловую энергию, причем энтропия на каждом этапе растет. Человек в среднем употребляет 2500 калорий в день, это около 10,5 млн джоулей (джоуль – мера работы энергии; одной калории соответствует около 4184 джоулей). Поделите это на 86 400 секунд в день, и получится, что человек каждую секунду задействует около 120 джоулей. Это «номинальная мощность» человеческого существа: 120 ватт, чуть больше, чем у обычной лампочки<sup>49</sup>.

Жизнь с ее вечными попытками дать энтропии отпор представляет собой новый вид и новый уровень сложных явлений. В теории сложных систем объекты этого уровня иногда называют сложными адаптивными системами. До сих пор мы говорили о сложных физических системах: поведение их составляющих обычно можно прогнозировать, исходя из основных правил действия Вселенной; составляющие же сложных адаптивных систем выглядят так, как будто у них есть собственная воля. По-видимому, они следуют дополнительным правилам, которые выявить уже труднее. Действительно, сложные адаптивные системы, например бактерии, ваша собака или международные компании, ведут себя так, как будто каждая их часть – это действующее лицо, агент с собственной волей, так что каждый элемент постоянно подстраивается под поведение множества других. В результате они ведут себя чрезвычайно сложно и непредсказуемо<sup>50</sup>.

Упомянув так называемых агентов, я протащил сюда новую идею, которая будет становиться все важнее, – идею информации. Когда агенты реагируют друг на друга, они реагируют на информацию о том, что происходит вокруг них, в том числе о том, что делают другие агенты. Если считать информацию персонажем нашей современной истории происхождения мира, то она будет действовать под прикрытием, маскируясь, будет управлять событиями, сама оставаясь в тени. Энергия *вызывает* изменения, ее работу обычно можно увидеть, но инфор-

---

<sup>48</sup> Веджимайт – паста-спред на основе дрожжевого экстракта, австралийский национальный продукт.

<sup>49</sup> Как метафоры, так и расчеты здесь взяты из Peter Hoffmann. *Life's Ratchet: How Molecular Machines Extract Order from Chaos*. New York: Basic Books, 2012, loc. 238, Kindle.

<sup>50</sup> John Holland. *Complexity: A Very Short Introduction*. Oxford: Oxford University Press, 2014. P. 8. В сложных адаптивных системах «элементы не зафиксированы. Обычно называемые агентами, они учатся или приспосабливаются в ответ на взаимодействие с другими агентами».

мация *управляет* изменениями, часто из-за кулис. Как пишет Сет Ллойд: «Энергия заставляет физические системы что-то делать, а информация говорит, что именно нужно делать»<sup>51</sup>.

В самом общем виде информация заключена в правилах, которые, ограничивая количество возможностей, влияют на результат. Одно из самых известных ее определений – это «различие, которое вызывает различие»<sup>52</sup>. Правила определяют, какие из всех мыслимых изменений действительно возможны в определенное время в определенном месте, и это дает различные результаты. Информация начинается с законов физики, базовой операционной системы нашей Вселенной. Они направляют изменения по определенным путям, например туда, где в итоге гравитация создала первые звезды. Информация в этом самом общем смысле ограничивает возможности, а значит, уменьшает степень случайности. Поэтому кажется, что чем больше информации, тем меньше энтропия, тем меньше потенциал беспорядка, который последней так люб. Такая информация универсальна, это правила, встроенные в каждую крупную материю и квант энергии. Гравитации никто не говорил, что делать, она просто взялась за работу.

Но в бытовом смысле слово «информация» означает нечто большее, чем правила. Это правила, которые считывает человек, агент или предмет, – собственно, какая-то сложная адаптивная система. Информация такого рода появляется, потому что многие важные правила *не* универсальны. Они изменяются в зависимости от места и времени, как законы человеческого общества. С развитием Вселенной возникли новые среды, например глубокий космос, облака космической пыли и поверхность каменных планет. В этих средах действовали собственные местные правила, которые *не были* универсальными. Местные правила приходится читать, расшифровывать или изучать, подобно тому как перед поездкой в Монголию следует выяснить, по какой стороне дороги ездят местные водители (кстати, по правой).

Сложные адаптивные системы выживают лишь в совершенно определенных условиях, так что им нужно уметь читать или расшифровывать не только универсальные правила, но и местную информацию. И это нечто новое. Всем формам живого необходимы механизмы интерпретации местной информации (такой как присутствие различных химикатов или особенности локальной температуры и уровня кислотности), чтобы они могли правильно реагировать («Что мне делать: обнять это, съесть или убежать?»). Философ Дэниел Деннет пишет: «Животные – не просто травоядные или плотоядные. Они... *информоядные*»<sup>54</sup>. На самом деле это относится ко всем живым организмам. Они все потребляют информацию, и механизмы, с помощью которых они считывают местную информацию и реагируют на нее – будь то глаза, щупальца, мышцы или мозг, – во многом и делают их сложными.

Локальные условия нестабильны, так что живым организмам приходится постоянно наблюдать за средой внутри и снаружи самих себя, чтобы отмечать существенные изменения. При этом по мере усложнения им нужно все больше и больше информации, ведь у более сложных структур больше движущихся частей, а между частями больше связей. У кишечной палочки, бактерии, которая, скорее всего, благоденствует у вас в кишечнике, пока вы это читаете, на движение и восприятие отведено около 5 % молекулярных ресурсов, но в вашем теле большинство органов прямо или косвенно занимается либо восприятием, либо движением, начиная с мозга и заканчивая глазами, нервными волокнами и мышцами<sup>55</sup>. Существует широкий спектр систем, собирающих и анализирующих информацию, самая передовая из них –

<sup>51</sup> Перевод А. Стативка.

<sup>52</sup> *Seth Lloyd. Programming the Universe. New York: Knopf, 2006. P. 44.*

<sup>53</sup> *Gregory Bateson, cited in Luciano Floridi. Information: A Very Short Introduction. Oxford: Oxford University Press, 2010, loc. 295, Kindle.*

<sup>54</sup> *Daniel C. Dennett. Kinds of Minds: Towards an Understanding of Consciousness. London: Weidenfeld and Nicolson, 1996. P. 82.*

<sup>55</sup> *David S. Goodsell. The Machinery of Life, 2nd ed. New York: Springer Verlag, 2009, loc. 700, Kindle.*

современная наука, а начались они с примитивных органов чувств древнейших одноклеточных организмов.

Разумеется, энтропия зорко следит за всем этим. Если более высокий уровень сложности означает большее количество информации, то, повышая и то и другое, вы снижаете энтропию с ее неопределенностью и беспорядком. Это не проходит незамеченным. Энтропия потирает ручки, думая об энергетических налогах и пошлинах, которые она сможет брать с ростом сложности и количества информации<sup>56</sup>. На самом деле есть мнение, что идея жизни ей вообще-то нравится (и что, возможно, она поощряла ее возникновение во многих частях Вселенной), потому что живое расходует свободную энергию гораздо активнее, чем неживое.

Объяснить, как возникла жизнь на Земле, и попытаться понять, могло ли что-то похожее появиться в других местах Вселенной, – это одна из самых сложных задач в современной науке. На данный момент нам известна лишь одна планета, на которой есть жизнь. Астробиологи ищут живое в других местах в рамках программы поиска внеземных цивилизаций SETI, которая начала свою работу в 1960 году, но до сих пор ничего не нашли. Пока что нам приходится ограничиваться тем, чтобы изучать происхождение жизни на Земле. Это уже очень сложно, потому что для этого нужно выяснить, что происходило на нашей планете почти 4 млрд лет назад, когда все здесь было совершенно другим.

### *Определение жизни*

Имея на руках всего один образец, трудно даже понять, что вообще такое жизнь. Что отличает живое от неживого? Дать определение жизни не легче, чем понятию сложности или информации, и, по-видимому, между живым и неживым проходит туманная пограничная зона.

Большинство современных определений жизни на Земле включают в себя следующие пять характеристик:

1. Живые организмы состоят из клеток, окруженных полупроницаемой мембраной.
2. У них есть метаболизм (обмен веществ) – механизмы захвата и использования потоков свободной энергии из окружающей среды, которые позволяют, перестраивая с их помощью атомы и молекулы, получать сложные динамичные структуры, необходимые для выживания.
3. Они могут приспосабливаться к изменениям в окружающей среде с помощью гомеостаза, используя информацию о внутренней и внешней среде и механизмы, позволяющие на нее реагировать.
4. Они могут воспроизводиться, создавая с помощью генетической информации почти точные копии самих себя.
5. У копий есть незначительные отличия от родителей, поэтому за много поколений свойства живых организмов постепенно меняются по мере того, как те развиваются и приспосабливаются к изменениям в окружающей среде.

Рассмотрим все эти свойства по порядку.

Все живое на Земле состоит из клеток. В каждой клетке миллионы сложных молекул, которые множество раз в секунду вступают в реакцию друг с другом, пробираясь через соленое водянистое химическое месиво, полное белков, в клейком пространстве под названием «цитоплазма». Цитоплазма окружена своеобразной химической оградой, клеточной мембра-

---

<sup>56</sup> «Любой процесс, который порождает структуру, увеличивает количество скрытой информации, присущей этой структуре, что соответствует снижению энтропии (уменьшению числа микросостояний)». См.: Anne-Marie Grisogono. (How) Did Information Emerge? // From Matter to Life: Information and Causality. Sara Imari Walker, Paul C. W. Davies, George F. R. Ellis (ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 2017, chapter 4, Kindle.

ной, которая контролирует, что поступает в клетку и что ее покидает. В мембране, как в стене средневекового города, есть ворота и есть стражники, которые решают, кто из молекулярных путников может войти и когда. Клетки действительно напоминают города. Питер Хоффман пишет в своей книге о них:

Здесь есть библиотека (ядро, где находится генетический материал), электростанции (митохондрии), шоссе (микротрубочки и актиновые филаменты), грузовики (кинезин и динеин), заводы по утилизации отходов (лизосомы), городские стены (мембраны), почтовые отделения (аппарат Гольджи) и множество других структур, которые выполняют жизненно важные функции. Все это – функции молекулярных механизмов<sup>57</sup>.

Все живые организмы существуют за счет потоков свободной энергии, которые приходится аккуратно регулировать. Остановите поток, и они умирают, как осажженный город, вынужденный сдаться от голода. Но если поток слишком сильный, они тоже гибнут, как город от воздушной бомбардировки. Поэтому потоки энергии требуют очень тонкого управления. Обычно клетки принимают и используют крошечные порции энергии, по одному электрону или протону. Будучи достаточно маленькими, чтобы не вносить разрушений, такие потоки все же достаточно велики, чтобы дать энергию активации, необходимую для множества любопытных химических процессов. Этимологически термин «метаболизм» происходит от слова, которое означает «изменение». Это напоминает нам о том, что клетка никогда не бывает в покое. Как птица в полете, она использует энергетические потоки, чтобы продолжать подстраиваться под непрерывно меняющуюся среду.

Живым организмам нужно все время следить за изменениями в окружающей среде и приспосабливаться к ним. Эта постоянная подстройка называется сохраняющим гомеостазом. Чтобы сохранять определенное равновесие в переменных условиях, клетки должны всегда иметь доступ к информации о внутренней и внешней среде, загружать и расшифровывать эту информацию, выбирать лучшую реакцию, а затем реагировать. Слово «гомеостаз» означает «сохранение неподвижности», и это противоположность изменению. Но вы поймете, что это значит, если представите себе, что сохраняете неподвижность в нескончаемом вихре молекул клеточной среды.

Эти способности чрезвычайно впечатляют, но они были бы не слишком интересны, если бы живые организмы появились и исчезли, подобно пене на волнах океана. Может быть, именно это и произошло на каких-то планетах возле каких-то звезд, а возможно, даже в начале истории Земли. Но сегодня на нашей планете живые организмы не просто борются с ураганом изменений и энтропии. Они создают копии самих себя, так что, если какие-то клетки разрушатся (а рано или поздно это случится с каждой), на их место смогут встать другие. Размножение – это умение создавать жизнеспособные копии клеток. Это значит, что шаблон, по которому строится организм (в современной терминологии – его *геном*), может выжить даже после смерти особи. В геноме, как в руководстве пользователя, хранится информация о белках, позволяющих создать копию родителя, а также о некоторых основных правилах сборки. Сегодня большая часть этой информации находится в молекулах ДНК, но в начале истории жизни на Земле ее, вероятно, содержали их двоюродные сестры – молекулы РНК, по-прежнему выполняющие в клетках большую тяжелую работу.

Шаблоны более-менее бессмертны, но механизм копирования неидеален. Это хорошо, потому что в результате мелких ошибок копирования шаблоны могут понемногу меняться, а это ключ к приспособлению и эволюции. Именно маленькие генетические изменения делают жизнь такой устойчивой, позволяя видам приспосабливаться к окружающей среде – благо-

---

<sup>57</sup> Peter M. Hoffmann. *Life's Ratchet*, loc. 3058, Kindle.

даря тому, что случайным образом возникают слегка отличающиеся шаблоны. Когда меняются условия среды, меняются и правила, которые определяют, какие шаблоны выживут, а какие исчезнут.

Этот механизм Чарльз Дарвин назвал *естественным отбором*. В современной биологии это фундаментальная идея, потому что естественный отбор – чрезвычайно мощный двигатель усложнения. Он отсеивает часть генетических возможностей и допускает лишь те, что сочетаются с местными правилами. Таким образом, подобно фундаментальным законам физики, он действует как храповик, сохраняя определенные неслучайные структуры. Но в мире биологии решение о том, что выживет, остается за местными правилами конкретных сред, а не за универсальными правилами физики. Биологические правила действуют гораздо более разборчиво. Не ждите, что жираф сможет выжить под водой.

Как и механизмы, которые породили первые структуры во Вселенной, естественный отбор объединяет необходимость и случайность. Изменчивость обеспечивает множество возможностей, а естественный отбор использует местные правила, чтобы выбрать то, что подходит к локальным условиям. Вот как писал об этом Дарвин в «Происхождении видов»:

Можно ли... считать невероятным, [что] вариации, полезные в каком-нибудь отношении для каждого существа в великой и сложной жизненной битве, появятся в длинном ряде последовательных поколений? Но если такие вариации появляются, то (помня, что особей рождается гораздо более, чем может выжить) можем ли мы сомневаться в том, что особи, обладающие хотя бы самым незначительным преимуществом перед остальными, будут иметь более шансов на выживание и продолжение своего рода? С другой стороны, мы можем быть уверены, что всякая вариация, сколько-нибудь вредная, будет беспощадно истреблена. Сохранение благоприятных индивидуальных различий и вариаций и уничтожение вредных я назвал естественным отбором<sup>5859</sup>.

Идея Дарвина в сочетании с современными представлениями о генетике и наследственности объясняет творческий потенциал жизни, ее способность на протяжении многих поколений исследовать возможности, осваивать новые потоки энергии и строить новые типы структур. Она объясняет, как в биологическом мире в результате повторяющихся алгоритмических процессов возникают структуры ошеломительной сложности, которые в течение миллионов и миллиардов лет шаг за шагом и поколение за поколением отбираются из бесчисленного количества вариантов.

Идея естественного отбора шокировала современников Дарвина, поскольку из-за нее отпадала необходимость в боге-творце<sup>60</sup>. А на понятии бога-творца строилась христианская история происхождения мира, в которую верило большинство людей в викторианской Англии. Дарвин и сам был обеспокоен, а его жена Эмма боялась, что в загробной жизни они с Чарльзом окажутся разлучены. Но механизм, который он описал, судя по всему, действительно имеет фундаментальное значение для истории жизни. На одном из Галапагосских островов, которые Дарвин посетил в молодости, плодятся вьюрки. Если деревья на острове дают орехи с прочной скорлупой, со временем окажется, что те птицы, чьи клювы могут лучше всего расколоть ее, выживают успешнее и оставят больше потомства, чем другие. Подождите несколько поколений, и вы увидите, что на этом острове такой клюв появится у всех вьюрков. Со временем, по мере того как «природа» (а на самом деле правила местной среды) будет отбирать отдель-

---

<sup>58</sup> Перевод К. А. Тимирязева.

<sup>59</sup> *Charles Darwin. The Origin of Species. N. Y.: Penguin, 1985. P. 130–131.*

<sup>60</sup> *Сила идеи Дарвина и то, как она шокировала публику, великолепно описано в следующей книге: Daniel Dennett. Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meaning of Life. London: Allen Lane, 1995.*

ных особей, в конце концов возникнет новый вид. Как показал Дарвин, в этом заключается основной механизм биологической эволюции. Это дарвиновский храповик сложности; таким образом жизнь шаг за шагом создает все более сложные объекты.

### *Условия Златовласки для появления жизни*

Как получилось, что моторчик жизни, чихнув, впервые заработал где-то в богатых и разнообразных условиях Златовласки на молодой Земле?<sup>61</sup>

Есть кое-что, чего не знал Дарвин: механизмы, подобные естественному отбору, когда случайные изменения отсеиваются местными правилами, в некотором приближении могут действовать и в мире, где жизни нет. Там, где есть сложная смесь химикатов и много свободной энергии, могут возникнуть молекулы, которые стимулируют образование других молекул и в итоге порождают то, с чего эта реакция началась. Это автокаталитический цикл – реакция, составляющие которой делают возможной, или *катализируют*, выработку других составляющих цикла, включая исходные ингредиенты, так что цикл может повторяться. Запустите его, и он будет производить собственные компоненты все в больших количествах, извлекая все больше пищевой энергии, пока не начнет лишать пищи другие, менее успешные реакции. Цикл даже может немного изменяться, если появляются новые типы питания. Это уже похоже на выживание наиболее успешного химического процесса. Таким образом, здесь мы получили что-то, немного напоминающее жизнь, что-то, что способно сохраняться и воспроизводиться, используя энергию из окружающего мира. «Прежде чем появятся существа, способные к самовоспроизведению, – пишет Дэниел Деннет, – должны появиться существа, способные к сохранению себя, – структуры, у которых хватит стабильности, чтобы пребывать в мире достаточно долго для появления их новых версий»<sup>62</sup>

---

<sup>61</sup> Хорошее обсуждение условий Златовласки для химического разнообразия можно найти в следующей книге: Jeffrey Bennett, Seth Shostak. *Life in the Universe*, 3rd ed. Boston: Addison-Wesley, 2011, chapter 7.

<sup>62</sup> Daniel C. Dennett. *From Bacteria to Bach: The Evolution of Minds*. N. Y.: Penguin, 2017. P. 48.

## **Конец ознакомительного фрагмента.**

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.