

ОБРАЗОВАНИЕ ПЛАНЕТЫ

Вначале была непостижимо маленькая, но невообразимо плотная точка. Это была не локализованная концентрация вещества в огромной пустой Вселенной, а сама Вселенная. Откуда она взялась, никто не знает.

О том, что было еще раньше, тоже ничего не известно, однако примерно 13,8 миллиарда лет назад первичное ядро Вселенной начало быстро расширяться. Это был Большой взрыв, породивший огромную волну энергии и материи. Правда, эта материя представляла собой не привычные нам камни и минералы и даже не атомы, из которых состоят камни, воздух и вода. На заре Вселенной материя состояла из кварков, лептонов и глюонов, любопытного набора субатомных частиц, которые впоследствии образовали атомы.

Наше понимание Вселенной и ее истории в значительной степени основано на таком эфемерном источнике информации, как свет. Несмотря на то что светящиеся точки, оформляющие ночное небо, мало походят на учебники истории, особые свойства света помогают нам понять, как именно развивалась Вселенная. Интенсивность излучения на разных длинах волн говорит нам о составе источника этого излучения. Наши глаза воспринимают относительно узкий диапазон длин волн, однако звезды и другие небесные тела излучают или поглощают широкий спектр излучения, от радио- и микроволн до рентгеновских и гамма-лучей, каждому из которых есть что рассказать. Также

важно то, что свет распространяется в космосе с ограниченной скоростью, которая составляет 299,792,458 метра, или 186,276 мили в секунду. Свет, испущенный Солнцем, достигает нас спустя восемь минут и двадцать секунд, а свет далеких звезд, который мы регистрируем сегодня, был испущен в еще более далеком прошлом. Именно поэтому звездное небо представляет собой учебник космической истории.

Микроволны, равномерно распределенные по небу, рассказывают нам о Большом взрыве и вызванных им последствиях, а излучение от звезд первого поколения, образовавшихся спустя несколько сотен тысяч лет после начала времен, достигает нас только сегодня. Формирование этих ранних звезд было обусловлено гравитацией, являющейся архитектором Вселенной. Гравитация представляет собой силу притяжения между различными объектами и определяется массой объектов и расстоянием между ними. Под действием гравитации образовавшиеся в ранней расширяющейся Вселенной атомы начали притягиваться друг к другу. Гравитационное притяжение растущих локальных скоплений усиливалось, в результате чего они коллапсировали в столь горячие и плотные шары, что ядра водорода сливались, образуя гелий и высвобождая свет и тепло. Когда это происходит, рождается звезда. Большие, горячие и недолговечные первые звезды определили курс дальнейших событий, среди которых было и наше появление.

Материя, образовавшаяся в результате Большого взрыва, в основном состояла из атомов водорода, простейшего из элементов, некоторого количества дейтерия (водород с дополнительным нейтроном) и гелия, а также совсем небольшого количества лития и других легких элементов. Правда, было еще кое-что, но мы наверняка не знаем, что именно. В 1950-х годах астрономы начали использовать движение звезд и галактик (совокупностей звезд, газа

и пыли, удерживаемых вместе гравитацией) для расчета гравитационного притяжения в глубоком космосе, но когда они сложили массы всех известных космических объектов, полученный результат оказался недостаточным для объяснения данных наблюдений. Астрономы посчитали, что в космосе должно существовать нечто такое, что взаимодействует с обычной материей посредством гравитации, но не взаимодействует со светом, и окрестили это нечто темной материей. У астрономов есть некоторые предположения о ее природе, однако однозначных ответов пока не получено. Еще более загадочной является так называемая темная энергия, которая также оказалась необходимой для объяснения устройства Вселенной. Считается, что вместе темная материя и темная энергия — эти загадочные компоненты, которые мы не можем обнаружить, но которые, как мы полагаем, сыграли важную роль в формировании Вселенной, — составляют около 95% всего ее вещества. Очевидно, нам еще очень многое предстоит узнать.

Вернемся к обычной материи. В начале эры звездного света Вселенная представляла собой холодный разреженный коктейль, состоящий из атомов водорода (в основном). Ранние звезды производили еще больше гелия, однако во Вселенной не было ничего такого, из чего могла бы образоваться Земля (табл. 1). Откуда взялись железо, кремний и кислород, входящие в состав нашей планеты? А как насчет углерода, азота, фосфора и других элементов, из которых состоят наши тела? Эти и все остальные элементы были порождены следующими поколениями звезд, ставших источниками атомов, которым однажды было суждено сформировать нашу планету. В условиях высокой температуры и огромного давления внутри больших звезд легкие элементы сливались, образуя углерод, кислород, кремний и кальций, железо, золото, уран. И другие тяжелые элементы возникли в результате взрывов гигантских

звезд, называемых сверхновыми. Возраст лица, которое вы видите в зеркале, может не превышать нескольких десятков лет, однако оно состоит из элементов, образовавшихся миллиарды лет назад в недрах древних звезд.

На протяжении большей части истории Вселенной звезды рождались и умирали, каждый раз пополняя запас элементов, из которых сегодня состоит Земля и населяющие ее живые организмы. Параллельно с этим формировались галактики и возникали черные дыры (плотные области, которые не может покинуть даже свет), медленно образуя Вселенную, которую мы наблюдаем сегодня.

Таблица 1 Элементный состав Земли и живых организмов (в процентах от веса)

Земля	
Железо	33
Кислород	31
Кремний	19
Магний	13
Никель	1,9
Кальций	0,9
Алюминий	0,9
Все остальное	0,3
Клетки человеческого тела	
Кислород	65
Углерод	18
Водород	10
Азот	3
Кальций	1,5
Фосфор	1
Все остальное	1,5

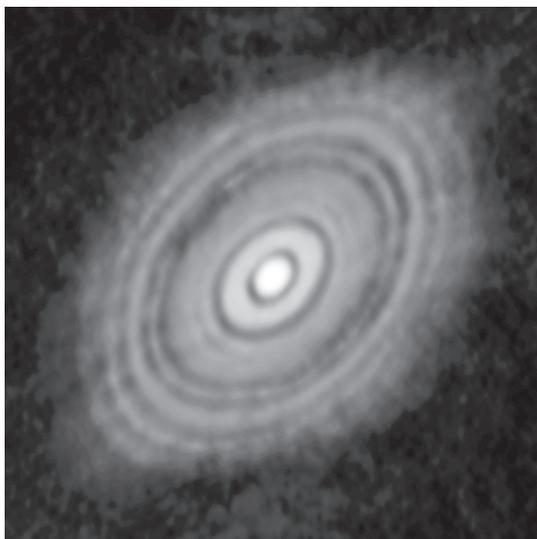


Рис. 1. На этом замечательном снимке, сделанном с помощью комплекса радиотелескопов *Atacama Large Millimeter Array*, изображена *HL Тельца*, молодая звезда, похожая на наше Солнце, и ее протопланетный диск. Пространства между кольцами, видимые на этом снимке, соответствуют орбитам планет, очищенных от пыли и газа в процессе их формирования. Наша Солнечная система, вероятно, выглядела примерно так же 4,54 миллиарда лет назад (источник: *ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/NASA/ESA*)

Теперь вернемся примерно на 4,6 миллиарда лет назад и сосредоточим внимание на ничем не примечательном облаке, состоящем из атомов водорода и небольшого количества газа, льда и минеральных частиц, находящемся в одном из рукавов невзрачной спиралевидной галактики под названием Млечный Путь. Сначала это облако было большим, разреженным и очень холодным (его температура составляла от 10° до 20° К, или от -263° до -253° С). Вероятно, из-за произошедшего поблизости взрыва сверхновой это облако начало коллапсировать в более компактную,

плотную и горячую туманность. Как это происходило уже миллиарды раз в других частях Вселенной, гравитация в конечном итоге превратила большую часть этого облака в горячую, плотную центральную массу — наше Солнце. Большая часть содержащегося в туманности водорода вошла в его состав, а изо льда и минеральных частиц сформировался диск, который вращался вокруг нашей молодой звезды, напоминая те кольца, которые сегодня окружают Сатурн (рис. 1). Сначала этот диск был достаточно горячим для того, чтобы испарить минералы и лед, из которых он образовался. Однако через несколько миллионов лет он начал остывать. Этот процесс шел быстрее у внешних границ и медленнее вблизи Солнца.

Из повседневного опыта нам известно, что разные вещества плавятся или кристаллизуются при разных температурах. Например, на поверхности Земли вода превращается в лед при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($32\text{ }^{\circ}\text{F}$), однако сухой лед образуется из углекислого газа при гораздо более низких температурах ($-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Примерно таким же образом минералы, содержащиеся в горных породах, кристаллизуются из расплавленных предшественников при температурах, которые варьируют от сотен до более чем $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. По этой причине в процессе охлаждения планетарного диска различные материалы кристаллизовались в разное время и в разных местах в зависимости от расстояний, отделяющих их от Солнца. Первыми образовались оксиды кальция, алюминия и титана, затем появилось металлическое железо, никель и кобальт, и еще позже, за пределами так называемой снеговой линии, образовались частицы замороженной воды, углекислого газа, окиси углерода, метана и аммиака — веществ, которые в дальнейшем войдут в состав океанов, воздуха и живых организмов. При столкновении ледяных и минеральных частиц формировались более крупные частицы, которые

затем объединялись в еще более крупные тела. Через несколько миллионов лет на месте некогда вращавшегося диска осталось лишь несколько крупных сферических структур. В то время Земля представляла собой каменную массу, вращающуюся вокруг Солнца на расстоянии около 150 миллионов километров.

* * *

Как именно сформировалась Земля и что мы можем узнать о ее зарождении? Если свет способен поведать историю Вселенной, то камни могут рассказать о прошлом нашей планеты. Окидывая взглядом Большой каньон или любясь пиками, обрамляющими озеро Луиз, вы просматриваете природную библиотеку с томами, содержащими высеченную в камне историю Земли. Осадочные породы — булыжники, песок или ил, образовавшиеся в результате эрозии более ранних пород, или выпадавшие из воды известняки слоями покрывали дно водоемов, фиксируя физические, химические и биологические особенности поверхности нашей планеты, характерные для того времени и места, где они образовались. Магматические породы, образованные из расплавленных веществ внутри Земли, а также метаморфические породы, выкованные из осадочных или вулканических предшественников при высокой температуре и давлении, рассказывают нам о динамическом внутреннем устройстве нашей планеты. В совокупности эти породы повествуют о развитии Земли, об эволюции жизни, начиная с бактерий и заканчивая человеком, и, что самое важное, о том, как физическая и биологическая Земля влияли друг на друга на протяжении всей своей истории. Проработав сорок лет геологом, я не перестаю удивляться тому, что скалы вдоль побережья Дорсет на юге Англии позволяют мне представить то, как выглядела Земля 180 миллионов лет назад. Как мы увидим далее, еще более удивительными

являются те породы, которые повествуют о том, что происходило с Землей и жизнью на ней миллиарды лет назад.

Если вы внимательно посмотрите на величественные пики Скалистых гор или Альп, то заметите еще один аспект истории Земли. Их зубчатые формы совсем не похожи на результаты отложения. Напротив, они свидетельствуют об эрозии, физическом и химическом процессе, разрушающем горные породы и уничтожающем хранящуюся в них информацию. Одной рукой Земля записывает свою историю, а другой стирает ее, и чем дальше в прошлое мы заглядываем, тем чаще замечаем, как процесс стирания берет верх. Наша планета образовалась примерно 4,54 миллиарда лет назад, однако возраст самых старых из известных нам горных пород на Земле составляет лишь около 4 миллиардов лет. Более старые породы, должно быть, были уничтожены эрозией или погребены и изменены до неузнаваемости в результате метаморфизма. Некоторые из них все еще могут залегать в какой-нибудь отдаленной канадской или сибирской холмистой местности, ожидая, когда их обнаружат, но в целом первые 600 миллионов лет истории Земли можно назвать Темными веками нашей планеты.

Как можно реконструировать ранний период истории Земли при отсутствии исторических записей? Как оказалось, у нас есть резервные копии, хранящиеся, так сказать, вне офиса. Речь идет о метеоритах, камнях, сохранившихся со времен образования Солнечной системы, которые время от времени падают на Землю. Наша уверенность в том, что Земля и другие планеты сформировались более 4,5 миллиарда лет назад, основана на показаниях геологических «часов», заключенных в минералы, входящие в состав этих особых камней. (Подробнее о геологическом датировании мы поговорим чуть позже.) Некоторые метеориты, называемые хондритами, состоят из округлых миллиметровых гранул, называемых хондрами, которые, судя по всему, образовались

на самых ранних этапах формирования планет (рис. 2). Эта точка зрения подтверждается тщательными исследованиями состава хондр, включающих минералы кальция, алюминия и титана, которые первыми начали конденсироваться по мере остывания солнечного диска, а также редкие частицы, выброшенные взрывом соседней сверхновой и впоследствии подхваченные в процессе формирования Солнечной системы. Хондриты не просто содержат информацию о ранней Солнечной системе, их химический состав позволяет предположить, что они являются основным веществом, из которого сформировалась сама Земля.

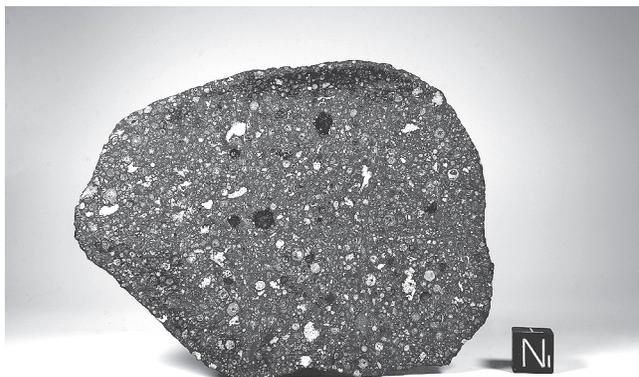


Рис. 2. Метеорит Альенде, углеродистый хондрит, упавший на Землю в 1969 году. Округлые гранулы представляют собой хондры, каменные сфероиды, которые образовались на самых ранних этапах развития нашей Солнечной системы и объединились в более крупные тела, в конечном итоге превратившиеся в ее внутренние планеты, включая Землю. Углеродистые хондриты содержат как воду, так и органические молекулы, то есть вещества, которые в конце концов вошли в состав земной атмосферы, океанов и живых организмов. Рядом с метеоритом показан блок, размер сторон которого составляет 1 сантиметр (изображение предоставлено Маттео Чинеллато, *Wiki, Creative Commons*)

За несколько миллионов лет бóльшая часть пород и льда, вращавшихся вокруг Солнца, превратилась в планеты. Согласно общепринятой точке зрения, частицы размером с пылинку слипались, образуя более крупные гранулы, а те, в свою очередь, объединялись в еще более крупные тела, в конечном итоге образуя планетезимали — километровые глыбы горной породы, подобные многим астероидам, обнаруживаемым сегодня между орбитами Марса и Юпитера. Согласно альтернативной гипотезе, планетоподобные тела образовались непосредственно из частиц размером с гальку. В любом случае ближе к окончанию процесса аккреции осталось лишь около сотни тел размером больше Луны, но меньше Марса. Им предстояло столкнуться, чтобы образовать планеты нашей Солнечной системы. Один из таких катаклизмов сильно повлиял на наш будущий дом. Спустя несколько десятков миллионов лет после формирования Земли в нее врезалось тело размером с Марс, что привело к выбросу в космос большого количества породы и газа. Из большей части выброшенного вещества в конечном итоге сформировалась относительно небольшая каменная сфера, вращающаяся на постоянной орбите вокруг Земли. Полная Луна способна вдохновить на написание стихов, однако она была порождена катастрофой, о которой нам стало известно благодаря тщательному изучению лунного грунта.

* * *

Земля представляет собой каменный шар диаметром 12,746 километра на экваторе. (На самом деле форма нашей планеты не совсем сферическая; из-за своего вращения Земля немного выпирает на экваторе и сплюснута у полюсов.) Если разрезать Землю пополам (чего я делать не рекомендую), можно увидеть, что внутри наша планета не является однородной, а скорее состоит из концентрических слоев