

**ВСЕГО
ШЕСТЬ
ЧИСЕЛ**

MARTIN REES

**JUST
SIX
NUMBERS**

THE DEEP FORCES
THAT SHAPE
THE UNIVERSE

A Member
of the Perseus Books Group

МАРТИН РИС

ВСЕГО ШЕСТЬ ЧИСЕЛ

ГЛАВНЫЕ СИЛЫ,
ФОРМИРУЮЩИЕ
ВСЕЛЕННУЮ

Перевод с английского

АНО
АЛЬПИНА НОН-ФИКШН

Москва
2018

УДК 524.8
ББК 22.632
P54

Переводчик Виктория Краснянская
Редактор Антон Никольский
Научный редактор Сергей Попов,
д-р физ.-мат. наук

Рис М.

P54 Всего шесть чисел: Главные силы, формирующие Вселенную / Мартин Рис ; Пер. с англ. — М. : Альпина нон-фикшн, 2018. — 226 с.

ISBN 978-5-00139-008-4

В книге всемирно известного астрофизика, члена Королевского астрономического общества сэра Мартина Риса описываются фундаментальные силы, управляющие нашей Вселенной. Автор утверждает, что расширяющаяся Вселенная может быть определена всего шестью числами: N , ϵ , Ω , λ , Q , D , каждое из которых играет особую и решающую роль в ее эволюции, а вместе они определяют ее развитие и потенциал возможностей. Два из них связаны с основными силами; другие два определяют размер и общую структуру Вселенной и показывают, будет ли она существовать вечно; еще два говорят о свойствах самой Вселенной. Если бы любое из них было чуть-чуть другим, не было бы звезд и не могла бы существовать жизнь. Мы могли появиться — и существуем сейчас — только во Вселенной с правильной комбинацией этих основополагающих чисел. А потому осознание этого дает совершенно новую точку зрения на Вселенную и наше место в ней, а также на саму природу физических законов. Мартину Рису удалось доступным языком, без использования сложного математического аппарата описать ключевые понятия космологии, которая стремительно развивается и сегодня находится на переднем крае науки.

УДК 82-84:004.8
ББК 84-49:32.813

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования, без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу mylib@alpina.ru

© 2000 by Martin Rees
Published by Basic Books,
A Member of the Perseus Books Group
© Издание на русском языке,
перевод, оформление.
ООО «Альпина нон-фикшн», 2018

ISBN 978-5-00139-008-4 (рус.)
ISBN 0-465-03673-2 (англ.)

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	7
Благодарности	9
ГЛАВА 1	
Космос и микромир	11
ГЛАВА 2	
Наша космическая среда обитания I: планеты, звезды и жизнь	25
ГЛАВА 3	
Огромное число N : сила тяготения в космосе	41
ГЛАВА 4	
Звезды, периодическая таблица и число ϵ	61
ГЛАВА 5	
Наша космическая среда обитания II: за пределами нашей Галактики	75
ГЛАВА 6	
Хорошо настроенное расширение: темная материя и число Ω	99
ГЛАВА 7	
Число λ : замедляется или ускоряется космическое расширение?	123

ГЛАВА 8

Первичная «рябь»: число Q 139

ГЛАВА 9

Наша космическая среда обитания III:

Что лежит за горизонтом? 155

ГЛАВА 10

Три измерения (и больше) 175

ГЛАВА 11

Совпадение, провидение или мультивселенная? 193

ПРИМЕЧАНИЯ 211

ПРЕДИСЛОВИЕ

Астрономия — одна из первых наук, связанных с числами, в древние времена игравшая чрезвычайно важную роль в создании календарей и мореплавании. Сейчас астрономия переживает новую эпоху открытий. Волнующий переход в новое тысячелетие значительно повысил интерес к нашему космическому окружению. Астрономия все еще остается наукой чисел, и эта книга рассказывает о шести из них, принципиально важных для Вселенной и нашего места в ней.

На древних картах за пределами зыбких границ изведанных земель картографы часто писали: «Здесь водятся драконы». После того как первые мореплаватели обогнули земной шар и в общих чертах нанесли на карты континенты и океаны, отправившиеся в путешествия исследователи принялись заполнять их деталями. Однако не осталось никакой надежды обнаружить новый континент, и никто не ждал кардинальной переоценки формы и размера Земли.

Примечательно, что в начале XXI в. мы достигли нового этапа в составлении карты Вселенной: главным предметом интереса теперь является ее крупномасштабная структура. К этому этапу мы пришли благодаря коллективным достижениям тысяч астрономов, физиков и инженеров, использующих разнообразное техническое оборудование. Современные телескопы способны заглянуть глубоко в космос. Поскольку свет от далеких объектов совершает длинное путешествие, добираясь до нас, телескопы дают возможность увидеть далекое прошлое. Мы обнаружили «ископаемости», оставшиеся от первых нескольких секунд космической истории. Космические аппараты открывают нейтронные звезды, черные дыры и другие потрясающие объекты, которые расширяют знания о физических законах. Эти достижения широко раздвинули

наши космические горизонты. Параллельно идет исследование микромира внутри атомов, позволяющее по-новому взглянуть на природу пространства в самых крошечных масштабах.

Постепенно вырисовывается картина — карта, существующая как во времени, так и в пространстве, — которую многие из нас не ожидали увидеть. Она предлагает новую точку зрения на то, как одно-единственное «событие зарождения» создало миллиарды галактик, черных дыр, звезд и планет, и на то, как здесь, на Земле (а возможно, и на других планетах), атомы соединились в живые существа, достаточно сложные, чтобы размышлять о своем происхождении. Постепенно нам открываются глубинные связи между звездами и атомами, между космосом и микромиром. В этой книге при минимальном использовании специальной терминологии описываются силы, которым подвластны мы и, более того, вся Вселенная. Наше появление и выживание зависит от особой «настройки» космоса — космоса, который может быть гораздо обширнее той Вселенной, которую мы видим в настоящее время.

БЛАГОДАРНОСТИ

Прежде всего мне хотелось бы отдать должное коллегам, вместе с которыми я многие годы занимаюсь исследованиями. Но не менее благодарен я и тем, кто участвует в космологических обсуждениях, не являясь специалистом в этой области: беседы с ними всегда привносят свежий взгляд, подтверждают общую картину и напоминают о том, что самые важные вопросы все еще остаются без ответа. Поэтому особые благодарности Дэвиду Харту, Грэму Митчисону, Хансу Розингу и Нику Веббу. Эта книга предназначена именно для широкого круга читателей. Я пытался, избегая специальной терминологии и технических подробностей, показать взаимосвязи новых открытий, отделить хорошо обоснованные утверждения от предположений и обратить внимание читателя на те тайны, которые лежат за ними.

Я благодарен Джону Брокману, который пригласил меня принять участие в серии книг Science Masters, а также за его терпение во время медленного рождения этой книги. Тоби Манди и Эмма Бакстер из издательства Weidenfeld & Nicolson оказали мне большую поддержку в процессе редактирования и подготовки книги к печати. Я благодарен им, а также Ричарду Сворду и Джупу Шайе — за подготовку иллюстраций, Брайану Амосу — за алфавитный указатель, а Джудит Мосс — за помощь в выполнении обязанностей секретаря.

КОСМОС И МИКРОМИР

Человек... нераздельно связан со всем сущим, с известным и неизвестным... с планктоном, с фосфоресцирующей гладью моря, с кружащимися планетами и расширяющейся Вселенной — все это пронизано эластичной струной времени. Хорошо оторвать взгляд от приливной заводи и посмотреть на звезды, а потом — снова взглянуть на их отражения в приливной заводи.

Джон СТЕЙНБЕК. МОРЕ КОРТЕСА

ШЕСТЬ ЧИСЕЛ

Ткань нашей Вселенной поддерживают математические законы — им подвластны не только атомы, но и галактики, звезды, люди. Свойства атомов — размеры, массы, силы, связывающие их вместе, — определяют устройство нашего повседневного мира. Само существование атомов зависит от сил и частиц в их глубинах. Объекты, которые изучают астрономы — планеты, звезды, галактики, — подвластны силе притяжения. И происходит все это в расширяющейся Вселенной, основные свойства которой были predeterminedены в момент Большого взрыва.

Наука движется вперед, выявляя структуры и закономерности нашего мира так, чтобы возможно большее количество явлений можно было описать в рамках общих категорий и законов. Физики-теоретики ставят себе целью предельно

лаконично выразить сущность физических законов в единой системе уравнений и в нескольких числах. В этой области удалось достигнуть значительного прогресса, хотя по-прежнему есть над чем работать.

В этой книге описываются шесть чисел, которые считаются наиболее важными. Два из них связаны с основными силами; другие два определяют размер и общую структуру Вселенной и показывают, будет ли она существовать вечно; еще два говорят о свойствах самой Вселенной:

- Вселенная простирается так далеко из-за того, что в природе существует чрезвычайно важное огромное число N , равное 1 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000. Это число является отношением силы электрического притяжения, удерживающей атомы вместе, к силе гравитационного притяжения между ними. Если бы в числе N было хоть немного меньше нулей, могла бы существовать только короткоживущая миниатюрная вселенная: ни одно существо не могло бы стать больше насекомого, и времени на биологическую эволюцию не хватило.
- Другое число, ε (эпсилон), значение которого составляет 0,007, определяет, насколько прочно связаны ядра атомов и как атомы формируются. От его значения зависит светимость Солнца и, более опосредованно, то, как внутри звезд водород преобразуется во все элементы периодической таблицы. Углерод и кислород распространены повсеместно, а золото и уран встречаются редко — и все это из-за процессов, которые происходят внутри звезд. Если бы ε равнялось 0,006 или 0,008, мы вообще бы не существовали.
- Космическое число Ω (омега) измеряет количество вещества во Вселенной — галактик, рассеянного между ними газа и темной материи. Ω указывает нам на важность отношения между силами притяжения

и расширением Вселенной. Если бы это отношение было слишком высоким по отношению к определенному критическому значению, Вселенная давно бы схлопнулась. Если бы оно было слишком низким, не сформировались бы галактики и звезды. Кажется, первоначальная скорость расширения Вселенной была идеально рассчитана.

- Измерение четвертого числа λ (лямбда) было самой крупной научной новостью 1998 г. Сила, о которой совершенно не подозревали — космическая «антигравитация», — контролирует расширение Вселенной, хотя и не оказывает какого-либо заметного эффекта на расстояниях меньше миллиарда световых лет (далее — св. лет). Со временем ей предназначено стать доминирующей над силой притяжения и другими силами, по мере того как наша Вселенная будет становиться все более пустой и темной. К счастью для нас (и к удивлению физиков-теоретиков), λ очень мала. Иначе бы ее воздействие не позволило сформироваться галактикам и звездам и космическая эволюция закончилась бы, даже не начавшись.
- Элементы всех космических структур — звезд, галактик и скоплений галактик — несут на себе отпечаток Большого взрыва. Сущность нашей Вселенной зависит от одного числа, Q , которое представляет собой соотношение двух фундаментальных энергий и составляет примерно $1/100\ 000$. Если бы Q было еще меньше, Вселенная была бы инертной и не имела сложной структуры. Если бы Q было значительно больше, на месте Вселенной возникло бы очень мрачное место, где звезды и планетные системы были бы поглощены огромными черными дырами.
- Шестое жизненно важное число известно уже много столетий, но теперь его рассматривают с новой точки зрения. Это количество пространственных измерений

нашего мира, D , и равно оно трем. Жизнь не смогла бы существовать, если бы D равнялось двум или четырем. Время — это четвертое измерение, но оно отличается от остальных тем, что имеет направленность: мы можем двигаться только в направлении будущего. Около черных дыр пространство так искривлено, что свет движется по кругу, а время может стоять на месте. Более того, сразу после Большого взрыва в микромасштабах пространство уже могло обнаружить свою глубинную структуру, лежащую в основе всего, — вибрацию и гармонию объектов, называемых «суперструнами», в десяти измерениях.

Возможно, между этими числами существуют какие-то связи. Тем не менее на данный момент мы не можем вычислить какое-либо из них, отталкиваясь от значений других. Не знаем мы и того, сможет ли какая-нибудь «теория всего» в конце концов создать формулу, которая установит взаимосвязь между ними или определит их однозначно. Я выделяю именно эти шесть чисел, потому что каждое из них играет решающую и особую роль в нашей Вселенной, а вместе они определяют, как она развивается и какие имеет внутренние потенциальные возможности. Более того, три из этих чисел (те, которые относятся к крупномасштабной вселенной) только недавно были измерены с достаточной точностью.

Эти шесть чисел составляют «рецепт» эволюции Вселенной. Более того, результат очень чувствителен к их значениям: если бы любое из них было чуть-чуть другим, не было бы звезд и не могла бы существовать жизнь. Является ли такая точная «настройка» всего лишь случайностью, совпадением? Или в этом проявляется воля милосердного Творца? Я придерживаюсь третьего мнения. Бесконечное количество вселенных прекрасно может существовать там, где эти числа другие, только большинство из этих вселенных были бы мертворожденными или стерильными. Мы могли

появиться (и поэтому сейчас существуем) только во вселенной с «правильной» комбинацией. Осознание этого дает совершенно новую точку зрения на Вселенную, наше место в ней и на саму природу физических законов.

Поразительно, что расширяющаяся вселенная, отправная точка которой так «проста», что может быть определена всего несколькими числами, может развиваться (если эти числа «настроены» подходящим образом) в столь затейливо структурированную упорядоченную систему. Итак, для начала нам придется обставить нашу «сцену», рассмотрев эту структуру во всех масштабах, от атомов до галактик.

ВСЕЛЕННАЯ ЧЕРЕЗ ЗУМ-ОБЪЕКТИВ

Давайте начнем с самого обыкновенного фотоснимка — мужчина и женщина, сфотографированные крупным планом с расстояния в несколько метров. Потом представим себе тот же кадр, сделанный с постепенно увеличивающегося расстояния, которое каждый раз становится в десять раз больше предыдущего. На втором снимке будет виден клочок травы, на которую они присели, на третьем станет понятно, что они находятся в парке, на четвертом в кадр попадут какие-то высокие здания, пятый покажет весь город, а следующий — часть земного горизонта, на котором отчетливо видно, что он изгибается. Еще пара кадров — и мы получим великолепное изображение, которое стало знакомым с 1960-х гг.: вся Земля — с континентами, океанами и облаками, со своей атмосферой — кажется просто покрытой нежной глазурью, контрастирующей с бледными чертами Луны.

Еще три шага покажут внутренние планеты Солнечной системы с Землей, обращающейся вокруг Солнца по более широкой орбите, чем Меркурий и Венера, следующий кадр — всю Солнечную систему. Еще четыре кадра (вид из точки, отдаленной на несколько св. лет) — и наше Солнце выглядит как одна из многих звезд. Еще через три кадра мы

увидим миллиарды практически неотличимых друг от друга звезд, собранных в плоском диске Млечного Пути, растянувшегося на десятки тысяч св. лет. Еще три шага позволят увидеть Млечный Путь как спиральную галактику, вместе с Туманностью Андромеды. Глядя с большего расстояния, мы увидим, что эти две галактики — лишь пара из сотен других — окраинные жители галактического Скопления Девы. Следующий шаг покажет, что Скопление Девы — это всего лишь достаточно скромное скопление из многих других. Даже если бы наш воображаемый объектив имел мощность Космического телескопа имени Хаббла, в последнем кадре с расстояния в несколько миллиардов километров вся наша Галактика была бы трудноразличимым пятнышком света.

Здесь наша серия снимков заканчивается. Дальше мы не можем расширять горизонт, но для того, чтобы, начав с «человеческого» масштаба в несколько метров, достигнуть границ обозримой вселенной, нам понадобилось 25 «скачков», каждый в десять раз больше предыдущего.

Следующий ряд увеличений будет направлен внутрь, а не вовне. С расстояния менее метра мы видим руку, с расстояния в несколько сантиметров — так близко, как только мы можем посмотреть невооруженным глазом, — маленький кусочек кожи. Следующий снимок позволит нам проникнуть в тонкую структуру человеческой кожи, а вслед за ним — внутрь отдельной клетки (в человеческом теле клеток в сотни раз больше, чем звезд в нашей Галактике). Далее в пределах мощности сильного микроскопа мы попадем в королевство отдельных молекул — длинных, запутанных нитей протеинов и двойных спиралей ДНК.

Следующее приближение покажет нам отдельные атомы. Здесь начинают проявляться квантовые эффекты: есть предел отчетливости картинки, которую мы можем получить. Ни один реально существующий микроскоп не может проникнуть внутрь атома, где рой электронов окружает положительно заряженное ядро, но структуры в 100 раз меньше

атомного ядра можно исследовать, изучая, что происходит, когда в них врезаются другие частицы, ускоренные до скорости, приближенной к скорости света. Это самые мелкие детали, которые мы можем измерить напрямую; тем не менее мы подозреваем, что в глубинной структуре мироздания могут лежать суперструны или «квантовая пена», имеющие такие маленькие размеры, что для того, чтобы до них добраться, потребуется еще 17 приближений¹.

Наши телескопы могут заглянуть на расстояние, которое больше суперструны (самой маленькой подструктуры, предположительно существующей внутри атома) в количество раз, которое можно выразить шестидесятизначным числом: чтобы получить изображение природного мира, нам потребуется приблизиться на нашем воображаемом объективе на 60 шагов (из которых в настоящее время возможны только 43). Из всех этих «кадров» наш обычный опыт может включать самое большее девять — от самых маленьких частиц размером примерно в миллиметр, которые может видеть наш глаз, до расстояния, которое мы преодолеваем во время перелета между континентами. Это подчеркивает нечто очень важное и значительное, но при этом столь очевидное, что мы принимаем его как данность: наша Вселенная включает в себя громадный диапазон расстояний и огромное разнообразие структур, которые могут быть намного больше и намного меньше тех измерений, в которых мы проводим свою повседневную жизнь.

БОЛЬШИЕ ЧИСЛА И РАЗНЫЕ МАСШТАБЫ

В каждом из нас от 10^{28} до 10^{29} атомов. Это «человеческое измерение» с точки зрения чисел находится где-то между массой атомов и массой звезд. Масса Солнца примерно равна массе такого же количества людей, сколько в каждом из нас атомов. Но наше Солнце — самая обыкновенная звезда в Галактике, состоящей из сотен миллиардов звезд. В видимой

Вселенной по меньшей мере столько же галактик, сколько звезд в Галактике. Таким образом, в зону видимости наших телескопов попадают более 10^{78} атомов.

Живые организмы состоят из множества слоев сложных структур. Атомы соединяются в сложные молекулы. Молекулы сложными путями реагируют друг с другом в каждой клетке и выстраиваются в большие взаимосвязанные структуры, из которых состоит дерево, насекомое или человек. Мы занимаем место между космосом и микрокосмом — находимся посередине между Солнцем, имеющим диаметр в миллиард метров, и молекулой с диаметром в миллиардные части метра. Нет никакой случайности в том, что природа наиболее сложно устроена именно в таком среднем масштабе: что-либо большего размера, находящееся на обитаемой планете, разрушилось бы под воздействием гравитации.

Мы привыкли к мысли о том, что микромир воздействует на нас: мы беззащитны перед вирусами размером в миллионные доли метра, а в крохотной двойной спирали ДНК содержится наш генетический код. Не менее очевидно и то, что мы зависим от Солнца и его мощи. Но что насчет структур более крупного масштаба? Даже ближайšie к нам звезды находятся в миллионы раз дальше, чем Солнце, а известный нам космос простирается еще в миллиарды раз дальше. Почему существует так много пространства за пределами Солнечной системы? В этой книге я опишу, каким образом мы связаны со звездами, и докажу, что невозможно раскрыть тайны нашего собственного происхождения вне космического контекста.

Глубокие связи между «внутренним пространством» мира внутри атомов и «внешним пространством» космоса показаны на рисунке 1.1 в виде *Уробороса*, который в энциклопедии «Британника» описывается как «используемый в культурах Древнего Египта и Древней Греции символический змей, кусающий себя за хвост, постоянно пожирающий себя и возрождающийся... [Он] обозначает единство всех

материальных и духовных сущностей, которое никогда не исчезает, но постоянно меняет форму в вечном цикле разрушения и возрождения».

Слева на иллюстрации показаны атомы и внутриатомные частицы — это квантовый мир. Справа находятся планеты, звезды и галактики. В этой книге мы уделим внимание некоторым важным связям между микромасштабными структурами слева и структурами макромира справа. Мир нашей повседневной жизни определяется атомами и тем, как они соединяются в молекулы, минералы и живые клетки. То, как светят звезды, зависит от того, из каких ядер состоят их атомы. Галактики могут держаться вместе из-за силы притяжения огромного роя субъядерных частиц. «Гастрономически» символизируемая, эта иллюстрация воплощает величайшую связь, которая ускользает от нас, — соединение между космосом и квантом.

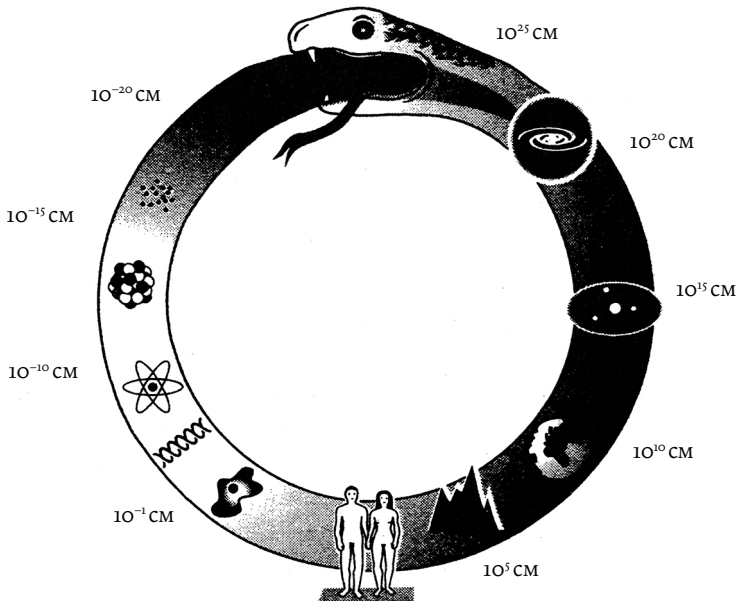


Рис. 1.1. Уроборос. Связь между микромиром частиц, ядер, атомов (слева) и космосом (справа)

Уроборос охватывает 60 порядков величины. На самом деле такой огромный диапазон является необходимым условием для «интересной» вселенной. Вселенная, где нет больших чисел, никогда не сможет развить сложную иерархию структур — она будет скучным местом, где, конечно же, не будет никакой жизни. Кроме того, должны быть и большие временные промежутки. Процессы внутри атома могут происходить за миллионные или миллиардные доли секунды, а около ядра они происходят еще быстрее. Сложные процессы, которые превращают зародыш в кровь, кости и плоть, требуют непрерывного клеточного деления и образования новых структур. При этом каждое из них влечет за собой тщательную перегруппировку и воспроизведение молекул. Эта деятельность никогда не прекращается, пока мы едим и дышим. Наша жизнь — это всего лишь одно поколение в эволюции человечества, всего один эпизод, являющийся проявлением всей совокупности жизни.

Огромные промежутки времени, необходимые для эволюции, дают новую точку зрения на вопрос: «Почему наша Вселенная так велика?» Для того чтобы здесь, на Земле, появились люди, потребовалось 4,5 млрд лет. Еще до того, как сформировались Солнце и планеты, в существующих ранее звездах чистый водород должен был превратиться в углерод, кислород и другие элементы периодической системы. Это заняло около 10 млрд лет. Размер наблюдаемой Вселенной примерно равен тому расстоянию, которое прошел свет со времени Большого взрыва, поэтому современная видимая Вселенная должна иметь протяженность около 10 млрд св. лет.

Это ошеломляющее заключение. Сама огромность Вселенной, которая на первый взгляд указывает на нашу незначительность в космической схеме, на самом деле связана с нашим существованием. Никто не говорит, что Вселенная не могла быть меньше, просто мы не смогли бы в ней существовать. Расширение космического пространства — это

не экстравагантное излишество, это последствие длинной цепи событий, которые начались еще до того, как сформировалась Солнечная система, и привели к нашему появлению на сцене.

Это может показаться возвращением к древней «антропоцентрической» точке зрения — той, которая была поколеблена открытием Коперника, что Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот. Но мы не должны заходить слишком далеко в скромности Коперника (которую иногда называют «принципом посредственности»). Таким существам, как мы, для развития были нужны особые условия, поэтому наша точка зрения обречена на то, чтобы быть нетипичной. Протяженность нашей Вселенной не должна нас удивлять, хотя мы можем по-прежнему искать более глубокие объяснения ее отличительным чертам.

МОЖЕМ ЛИ МЫ ПОНЯТЬ НАШУ ВСЕЛЕННУЮ?

Физик Макс Планк заявил, что от теорий никогда не отказываются, пока не умирают все их сторонники, и, таким образом, наука движется «от похорон до похорон». Но это слишком циничный взгляд на вещи. Сейчас разрешено несколько долгих космологических споров, и некоторые более ранние проблемы больше не являются противоречивыми. Многие из нас часто меняют свое мнение — по крайней мере со мной это происходит. На самом деле в этой книге рассказывается история, которую я сам когда-то считал удивительной. Многие разделяют точку зрения относительно космоса, которую я здесь описываю, хотя многие другие и не полностью согласны с моей интерпретацией.

Космологические концепции теперь хрупки и изменчивы не более, чем теории об истории нашей Земли. Геологи пришли к выводу, что континенты движутся примерно с той же скоростью, с какой у нас растут ногти, и что 200 млн лет назад

Европа и Северная Америка были единым целым. Мы верим им, несмотря на то что такие огромные временные промежутки трудно себе представить. Также мы принимаем за истину — по крайней мере в общих чертах — историю развития нашей биосферы и появления человека. Но некоторые ключевые характеристики нашей космической среды теперь подкрепляются точными данными. Эмпирическое обоснование Большого взрыва, произошедшего около 13–14 млрд лет назад, является таким же бесспорным доказательством, как и геологические теории истории Земли. Это просто поразительное изменение: наши предки могли выдвигать гипотезы, практически не обремененные фактами, и почти до последнего времени космология была не чем иным, как чисто теоретической математикой.

Несколько лет назад я был уверен на 90% в том, что Большой взрыв действительно был, и в том, что вся наблюдаемая нами Вселенная когда-то выглядела как сжатый шар, гораздо более горячий, чем центр Солнца. Теперь эта теория обоснована гораздо лучше: в 1990-е гг. колоссальный прорыв в наблюдениях и экспериментах позволил лучше понять космологическую картину, и теперь я могу повысить степень своей уверенности до 99%.

Один из самых известных афоризмов Эйнштейна — «Самое непостижимое в этом мире — это то, что он постижим»* — выражает его изумление тем, что законы физики, которые наш разум каким-то образом научился понимать, применимы не только здесь, на Земле, но и в самых отдаленных галактиках. Ньютон объяснил нам, что та же самая сила, которая заставляет яблоки падать вниз, удерживает Луну и планеты на их орбитах. Теперь мы знаем, что та же самая сила закручивает галактики, толкает некоторые звезды в черные дыры и вдобавок, возможно, приведет к тому, что

* Большая книга афоризмов (изд. 9-е, исправленное) / составитель К. В. Душенко. — М.: Эксмо, 2008.

Туманность Андромеды в конце концов сольется с нашей Галактикой. Атомы в самых отдаленных галактиках — это те же самые атомы, которые мы изучаем в наших лабораториях. Все части Вселенной, по всей видимости, развиваются так, как если бы они имели одно и то же происхождение. Без этого единообразия космология зашла бы в тупик.

Последние достижения акцентируют внимание на новых загадках, связанных с происхождением Вселенной, действующими в ней законами и даже с ее окончательной судьбой. Правда, загадки эти имеют отношение к первой крохотной доле секунды после Большого взрыва, когда условия были такими экстремальными, что реальную физическую картину понять непросто — возникают вопросы о природе времени, количестве пространственных измерений и происхождении вещества. В этот первоначальный момент все было сжато до такой огромной плотности, что (как это символически отражено в изображении Уробороса) космос и микромир наложились друг на друга.

Окружающий нас мир невозможно делить бесконечно. Мы пока не знаем все детали, но большинство физиков предполагают, что при размерах порядка 10^{-33} см возникает некая неоднородность. Это в 10^{20} раз меньше размера атомного ядра, что приблизительно эквивалентно соотношению атомного ядра и крупного города — потребуется такое же количество кадров в нашем воображаемом эксперименте с «зум-объективом». После этого мы натываемся на барьер: если бы и существовали более мелкие структуры, то они выходили бы за пределы наших представлений о пространстве и времени.

Что же насчет самого крупного масштаба? Существуют ли области, свет от которых еще не добрался до нас за примерно 14 млрд лет, прошедших со времени Большого взрыва? У нас просто-напросто нет никаких прямых доказательств, чтобы доказать или опровергнуть это. Тем не менее теоретически нет никаких границ для расширения нашей Вселенной

(в пространстве или в будущем времени) и нет никаких ограничений по поводу того, что может попасть в поле зрения в далеком будущем. Более того, оно может находиться не просто в миллионы раз дальше тех областей, которые мы сейчас можем наблюдать, а в миллионы в десятой степени дальше. И даже это еще не все. Наша Вселенная, безмерно расширяясь по сравнению с существующими ныне горизонтами, может быть признана одним из членов потенциально бесконечного множества. Концепция «мультивселенной», хотя и совершенно умозрительная, является естественным продолжением современных космологических теорий, которые получили признание, потому что основываются на том, что мы действительно наблюдаем. В иных вселенных физические законы и геометрия могут быть другими, и это придает особое значение, которое шесть чисел имеют в нашей Вселенной.

НАША КОСМИЧЕСКАЯ СРЕДА ОБИТАНИЯ I: ПЛАНЕТЫ, ЗВЕЗДЫ И ЖИЗНЬ

Черт бы побрал эту Солнечную систему! Плохое освещение, планеты слишком далеко, полно комет, задумка слабовата. Я бы сотворил [Вселенную] получше.

Лорд Джеффри

ПРОТОПЛАНЕТЫ

В созвездии Ориона можно наблюдать огромное облако, в котором атомов хватит на то, чтобы создать 10 000 Солнц. Одна его часть — сияющая туманность, подогреваемая яркими голубыми звездами; другая — холодная, темная и пыльная. Внутри этой холодной части есть теплые сгустки, не излучающие света, но вырабатывающие тепло. Их можно обнаружить с помощью телескопов с инфракрасными детекторами. Эти сгустки в будущем должны стать звездами, но пока они представляют собой протозвезды, уплотняющиеся под собственной гравитацией. Каждую окружает диск, состоящий из газа и пыли.

Эти диски не являются чем-то необычным. Тем не менее более плотное, чем пространство между звездами, пылевое

облако в Орионе является достаточно редким явлением. Для того чтобы из него сформировалась звезда, часть этого газа должна сжаться настолько, что его плотность повысится в миллиарды миллиардов раз. Любое, даже самое незначительное вращение начнет ускоряться во время схлопывания (космического варианта «раскрутки» в фигурном катании, когда спортсмены прижимают локти к корпусу), до тех пор пока центробежная сила не прекратит присоединение вещества к звезде. Останутся излишки материала, обращающиеся вокруг каждой только что сформированной звезды. Получившиеся в результате диски станут предшественниками планетных систем: частицы пыли будут сталкиваться и склеиваться, образуя твердые куски, которые, в свою очередь, соединятся в более крупные тела, формирующие планеты. Наша Солнечная система образовалась именно таким образом — из протосолнечного диска. Другие звезды появились подобным образом, и есть все причины ожидать, что вокруг них обращается свита в виде планет.

В начале XX в. такой сценарий, подтвержденный фактическими наблюдениями дисков вокруг недавно образованных звезд, пришел на смену «катастрофическим» теориям, которые рассматривали процесс формирования планет как редкий, особый случай. Считалось, что наше Солнце пережило сближение с другой звездой — чрезвычайно редкое явление, потому что звезды, как правило, расположены очень далеко друг от друга, — и что притяжение этой звезды оттянуло газовый плюмаж с Солнца. Этот плюмаж предположительно собрался в «зерна», каждое из которых стало планетой.

Тем не менее астрономы более ранних веков вовсе не относились к идее о других планетных системах с большим скепсисом, нежели мы сейчас. Еще в 1698 г. Христиан Гюйгенс, нидерландский ученый, один из основоположников оптики, писал: «Почему бы каждой из этих звезд и каждому из этих солнц не иметь такую же огромную свиту, как у нашего Солнца, окруженного планетами и их спутниками?»

ДРУГИЕ ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ

Полностью сформировавшиеся планеты, обращающиеся вокруг звезд, засечь труднее, чем диски, из которых они образовались. Первое веское доказательство того, что планеты действительно часто встречаются, было получено в конце 1990-х гг. Основано оно на очень простом принципе. Наблюдатель, исследующий наше Солнце с расстояния, скажем, 40 св. лет, не может увидеть планеты, обращающиеся вокруг него, даже если он использует такой же мощный телескоп, как самые большие из тех, которые сейчас есть на Земле. Тем не менее о существовании Юпитера (самой большой из планет) можно сделать вывод в результате тщательных измерений солнечного света. Это связано с тем, что и Солнце, и Юпитер обращаются вокруг своего общего центра масс, так называемого барицентра. Солнце в 1047 раз тяжелее Юпитера, поэтому барицентр находится в 1047 раз ближе к центру Солнца, чем к центру Юпитера (на самом деле он находится внутри Солнца), вследствие этого Солнце обращается вокруг барицентра в тысячу раз медленнее, чем Юпитер. В реальности движение гораздо сложнее из-за дополнительной неустойчивости, которую привносят другие планеты, но Юпитер значительно тяжелее их и оказывает преобладающее влияние. Тщательно анализируя свет от звезд, астрономы обнаружили небольшие колебания в их движении. Эти колебания вызывают планеты, обращающиеся вокруг них, точно так же, как Юпитер влияет на движение Солнца.

В спектрах света звезд можно найти характерные наборы линий, которые возникают потому, что при поглощении или испускании света различные виды атомов (углерод, натрий и т. д.), из которых состоит звезда, дают разные цвета. Если звезда отдаляется от нас, то ее свет сдвигается в красную часть спектра в сравнении с цветами, которые получаются в экспериментах с излучением света тех же самых атомов в лаборатории, — это хорошо известный эффект Доплера

(явление в области оптики, аналогичное изменению частоты звука, когда сирена удаляющегося автомобиля кажется наблюдателю более низко звучащей). Если звезда к нам приближается, то ее свет сдвигается в голубую часть спектра. В 1995 г. два астронома из Женевской обсерватории, Мишель Майор и Дидье Кело, обнаружили, что доплеровское смещение у 51 Пегаса, расположенной недалеко от нас звезды, похожей на Солнце, слегка изменяется, как будто она движется по кругу, то приближаясь к нам, то отдаляясь, а потом снова приближаясь, и так постоянно. По расчетам, ее орбитальная скорость составляла примерно 50 м/с. Астрономы предположили, что вокруг звезды обращается планета размером примерно с Юпитер, и из-за этого звезда обращается вокруг центра масс системы. Если бы масса этой невидимой планеты составляла одну тысячную от массы звезды, то ее орбитальная скорость составляла бы 50 км/с — в тысячу раз быстрее, чем движется звезда.

В конце 1990-х гг. ученые Джоффри Марси и Пол Батлер, работающие в Калифорнии, стали чемпионами в охоте за планетами*. С помощью своих приборов они могут зафиксировать изменения длины волны меньшие, чем одна стомиллионная доля, благодаря чему ученые могут измерить эффект Доплера даже для скорости, составляющей одну стомиллионную от скорости света, — 3 м/с**. Марси и Батлер нашли доказательства того, что у многих звезд имеются планеты. То, что все обнаруженные ими планеты были большими, как Юпитер, является лишь следствием ограниченной чувствительности приборов. Землеподобные планеты с массой в несколько сотен раз меньшей, чем масса

* В настоящее время наибольшее количество экзопланет обнаружено методом транзитов, в первую очередь благодаря работе спутника «Кеплер». — *Прим. науч. ред.*

** Современный уровень точности составляет десятки сантиметров в секунду. — *Прим. науч. ред.*

Юпитера, будут изменять скорость движения звезды всего на несколько сантиметров в секунду, а доплеровское смещение будет составлять всего одну десятиллиардную*, а это слишком маленькая величина, чтобы ее можно было обнаружить с помощью имеющихся приборов².

Нужно отметить, что телескопы, которые используются для поиска планет, имеют средний диаметр зеркала примерно 2 м. Можно только порадоваться, — а иногда и подивиться тому ажиотажу, который сопровождает крупные проекты, — что не для всех важных открытий нужно громоздкое и дорогое оборудование. Упорные, талантливые ученые могут по-прежнему достичь многого, пользуясь скромными, хотя и современными, приборами.

Современный облик нашей Солнечной системы стал результатом множества «несчастливых случаев» и совпадений. Каменные астероиды, чья орбита пересекается с орбитой Земли, все еще представляют угрозу. Например, удар десятикилометрового астероида, оставившего огромный подводный кратер неподалеку от Чиксулуба в Мексиканском заливе, вызвал изменение климата, которое, возможно, предопределило судьбу динозавров 65 млн лет назад. Более частыми были столкновения с объектами поменьше, которые тем не менее могут вызывать серьезные разрушения в месте удара. Но когда Солнечная система была молода, столкновения случались гораздо чаще, так как к настоящему времени большая часть существовавших первоначально протопланетных тел разрушены или выброшены из системы. Наша Луна была отколота от Земли в результате столкновения с другой протопланетой — большое количество кратеров

* Сейчас чувствительность приборов позволяет обнаруживать землеподобные планеты в зонах обитаемости вокруг звезд, более легких, чем Солнце. Кроме того, потенциально обитаемые планеты обнаруживаются другими методами, в первую очередь методом транзитов. — *Прим. науч. ред.*

на поверхности Луны говорит о том, каким опасным местом была ранняя Солнечная система. Вполне возможно, что Уран подвергся сокрушительному столкновению под косым углом вскоре после того, как сформировался. В противном случае трудно понять, почему он вращается вокруг оси, практически лежащей в плоскости его орбиты, тогда как у всех остальных планет оси вращения расположены более-менее перпендикулярно к плоскости орбиты. Фотографии, полученные с автоматических межпланетных станций, показывают, что все планеты Солнечной системы (и некоторые из наиболее крупных их спутников) очень непохожи друг на друга.

Маловероятно, что другие планетарные системы имеют такое же количество планет в такой же конфигурации, как наша. В некоторых из уже обнаруженных систем есть планеты-гиганты, похожие на Юпитер, которые находятся к своей звезде ближе, чем Меркурий (ближайшая к Солнцу планета). Отчасти это связано с недостатком наблюдений — тяжелые планеты на быстрых короткопериодических орбитах проще обнаружить. Помимо найденных тяжелых планет в тех же системах могут быть более маленькие планеты земного типа.

Жизнь, похожая на земную, может возникнуть только на планетах с особыми условиями. Сила притяжения должна быть достаточно большой, чтобы не дать атмосфере улечь в космос (как это случилось с атмосферой нашей Луны, если она у нее когда-то была). Для того чтобы на поверхности планеты была вода, на ней не должно быть ни слишком жарко, ни слишком холодно, и поэтому она должна находиться на определенном расстоянии от долгоживущей и стабильной звезды. Орбиты таких планет должны быть устойчивыми (т.е. они, скажем, не должны постоянно пересекать путь планеты-гиганта, следующей по орбите с высоким эксцентриситетом). Высокое «количество попаданий» охотников за планетами говорит о том, что у многих похожих на Солнце звезд в нашей Галактике есть свои планеты.