

ТЕМНАЯ
МАТЕРИЯ
И ДИНОЗАВРЫ

Lisa Randall

**DARK MATTER
AND THE
DINOSAURS**

THE ASTOUNDING
INTERCONNECTEDNESS OF THE UNIVERSE

ecco

An Imprint of HarperCollinsPublishers

Лиза Рэндалл

ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ И ДИНОЗАВРЫ

УДИВИТЕЛЬНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ СОБЫТИЙ
ВО ВСЕЛЕННОЙ

Перевод с английского



Книжные проекты
Дмитрия Зимина

АНО
альпина нон-фикшн

Москва
2017

УДК 524.8:56.017.4

ББК 22.632:28.01

P96

Переводчик Вячеслав Ионов
Научные редакторы
Елена Наймарк, д-р биол. наук;
Дмитрий Горбунов, канд. физ.-мат. наук

Рэндалл Л.

P96 Темная материя и динозавры: Удивительная взаимосвязь событий во Вселенной / Лиза Рэндалл; Пер. с англ. — М.: Альпина нон-фикшн, 2017. — 506 с.

ISBN 978-5-91671-646-7

Что общего между темной материей и динозаврами, которые господствовали на Земле многие миллионы лет, а потом неожиданно вымерли? Считается, что причиной их гибели стало столкновение с кометой, однако никто не знает, почему она сошла со своей обычной орбиты. В этом шедевре научно-популярной литературы известный физик-теоретик, Лиза Рэндалл предлагает свое объяснение. Именно темная материя, по ее мнению, могла направить роковую для динозавров комету к Земле. Хитросплетения астрономии и биологии в книге читаются как детективная история, в которой новые представления о темной материи помогают раскрыть не только тайны пяти массовых вымираний, но и истоки нашего существования.

УДК 524.8:56.017.4
ББК 22.632:28.01



Книжные проекты
Дмитрия Зимина

Эта книга издана в рамках программы «Книжные проекты Дмитрия Зимина» и продолжает серию «Библиотека «Династия». Дмитрий Борисович Зимин — основатель компании «Вымпелком» (Beeline), фонда некоммерческих программ «Династия» и фонда «Московское время».

Программа «Книжные проекты Дмитрия Зимина» объединяет три проекта, хорошо знакомые читательской аудитории: издание научно-популярных переводных книг «Библиотека «Династия», издательское направление фонда «Московское время» и премию в области русскоязычной научно-популярной литературы «Просветитель».

Подробную информацию о «Книжных проектах Дмитрия Зимина» вы найдете на сайте ziminbookprojects.ru.

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

© Lisa Randall, 2015

ISBN 978-5-91671-646-7 (рус.)

ISBN 978-0-06-232847-2 (англ.)

© Издание на русском языке, перевод, оформление. ООО «Альпина нон-фикшн», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
---------------	---

Часть I:

ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ВСЕЛЕННОЙ

1 Тайное общество темной материи	21
2 Открытие темной материи	33
3 Большие вопросы	49
4 Почти самое начало: очень хорошая отправная точка	61
5 Рождение галактики	85

Часть II

ЖИВАЯ СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

6 Метеорные тела, метеоры и метеориты.....	107
7 Короткая, но яркая жизнь комет	131
8 Край Солнечной системы.....	157
9 Жизнь, полная опасностей.....	163
10 Шок и трепет.....	191
11 Массовые вымирания биологических видов.....	211

12	Конец динозавров	241
13	Жизнь в обитаемой зоне	275
14	Чему быть, того не миновать	297
15	Кометы из облака Оорта	313

Часть III

Природа темной материи

16	Материя невидимого мира	337
17	Как увидеть невидимое	361
18	Социально связанная темная материя	379
19	Скорость тьмы	395
20	Поиски темного диска	415
21	Темная материя и столкновения с кометами	435
	Закключение: вечный поиск	455
	Благодарности	467
	Список иллюстраций	471
	Дополнительная литература	473
	Об авторе	497
	Предметно-именной указатель	499

ВВЕДЕНИЕ

Слова «темная материя» и «динозавры» редко звучат вместе, разве что в компьютерных играх, в клубе любителей фэнтези или в каком-нибудь еще не вышедшем на экраны фильме Спилберга. Темная материя — неуловимая субстанция Вселенной — участвует в гравитационном взаимодействии подобно обычной материи, но не испускает и не поглощает света. Астрономы регистрируют гравитационные проявления темной материи, но в буквальном смысле не видят ее. Ну а динозавры... не думаю, что нужно объяснять, кто они такие. Эти позвоночные доминировали на Земле 231–66 млн лет назад.

Хотя и темная материя, и динозавры будоражат воображение, у вас есть все основания считать, что между невидимой физической субстанцией и легендарными созданиями нет ничего общего. Вполне возможно, что так оно и есть. Вместе с тем Вселенная — по определению единое целое, и, в принципе, ее составляющие должны взаимодействовать. В этой книге представлен гипотетический сценарий, в основу которого я и мои коллеги положили идею, что именно темная материя могла быть причиной (косвенной, конечно) вымирания динозавров.

Палеонтологи, геологи и физики сходятся во мнении, что 66 млн лет назад с Землей столкнулся космический объект,

имевший в поперечнике не менее 10 км, и уничтожил сухопутных динозавров, а вместе с ними еще три четверти биологических видов, существовавших на нашей планете. Это могла быть комета с периферии Солнечной системы, однако никто не знает, почему она сошла со своей слабосвязанной, но устойчивой орбиты.

Мы предполагаем, что во время прохождения Солнца через срединную плоскость Млечного Пути — скопления звезд и светлой пыли, видимого на ясном ночном небе — на пути Солнечной системы оказался диск темной материи, который столкнул удаленный объект с его орбиты и, таким образом, спровоцировал катаклизм.

В окрестностях нашей Галактики находится огромная масса темной материи, она окружает нас и образует однородное и рассеянное сферическое гало. Однако причиной исчезновения динозавров стал другой тип темной материи, которая распределяется совершенно иначе, чем подавляющая часть неуловимой темной материи во Вселенной. Этот тип темной материи никак не сказывается на гало, но в результате взаимодействий другого характера формирует диск прямо в срединной плоскости Млечного Пути. Эта тонкая область может быть настолько плотной, что при прохождении через нее Солнечной системы по ходу движения по галактической орбите гравитационное влияние этого диска оказывается необычно сильным. И тогда на периферии Солнечной системы, где притяжение Солнца слабеет, кометы могут сойти со своих орбит, сбитые мощным притяжением диска. Такие кометы улетают за пределы Солнечной системы или, что для нас важнее, направляются к ее центру, и тогда возможно столкновение с Землей. Так, в принципе, могло быть.

Хочу сразу сказать, что я не знаю, верна ли эта идея. Ведь только очень необычный тип темной материи мог оказать ошутимое влияние на живых существ (которых, строго говоря, уже нет в живых). Здесь представлен рассказ о нашем нетривиальном предположении о существовании удивительно «влиятельной» темной материи.

Однако наши гипотезы, какими бы дерзновенными они ни были, не главное в этой книге. Наряду с историей о комете, уничтожившей динозавров, в ней рассказывается о современных концепциях космологии и научных представлениях о Солнечной системе. Мне очень повезло — в своих исследованиях я нередко ищу ответы на глобальные вопросы: из чего состоит материя, какова природа пространства и времени, как развитие Вселенной привело к появлению мира, который мы видим. В этой книге я надеюсь поделиться полученными знаниями.

Исследования, о которых пойдет речь, дали мне возможность шире смотреть на космологию, астрофизику, геологию и даже биологию. При этом в фокусе по-прежнему находится фундаментальная физика. Всю жизнь занимаясь классической физикой элементарных частиц, т. е. исследованием кирпичиков, из которых состоят привычные нам вещи, например бумага или экран компьютера перед вашими глазами, я стараюсь не упускать из виду то, что известно (или скоро будет известно) о темном мире, а также о роли фундаментальных физических процессов в Солнечной системе и на Земле.

В этой книге объясняются наши сегодняшние представления о Вселенной, Млечном Пути, Солнечной системе, ну и, конечно, о том, что сделало Землю пригодной для жизни. Я рассуждаю о темной материи и космосе, но при этом не забываю о кометах, астероидах, возникновении и исчезновении жизни, отводя особое место объекту, который при столкновении с Землей погубил динозавров и множество других видов живых существ. Мне хочется показать многообразие невероятных взаимосвязей, в результате которых мы появились и получили возможность понимать, что происходит сейчас. Размышляя о нашей сегодняшней планете, хорошо бы лучше понять и контекст, в котором она формировалась.

Когда я начала обдумывать концептуальные идеи книги, меня поразили не только масштабы современных знаний о нашем окружении (на Земле, в Солнечной системе, в галактике и во Вселенной), но и то, как много мы надеемся в конечном

итоге понять, опираясь на крупницы знаний, полученные здесь, на Земле. Меня также потрясло многообразие взаимосвязей между процессами, которые привели к появлению людей. Подчеркну, что я далека от религиозного мировоззрения. У меня нет потребности связывать происходящее с высшей целью или замыслом. И все же я не могу не испытывать восхищения, которое обычно называют религиозным, наблюдая наше приближение к пониманию бесконечности Вселенной, к пониманию нашего прошлого и их взаимосвязи. И когда мы пытаемся преодолеть ограниченность повседневной жизни, это чувство очень обнадеживает. Новейшие исследования буквально заставили меня по-другому смотреть на мир и многие элементы Вселенной, взаимодействие которых привело к появлению Земли и человека. Я выросла в Нью-Йорке, в Квинсе, и каменные стены города мне привычнее, чем природные ландшафты. То немногое живое, чем можно было любоваться, ограничивалось парками и газонами, мало походившими на то, что существовало до появления людей. Вместе с тем мы буквально ходим по останкам живых существ или как минимум их панцирей. Меловые скалы, которые можно увидеть на побережье или за городом, состоят из останков существ, живших миллионы лет назад. В местах сближения тектонических плит вырастают горы, эти плиты приводит в движение расплавленная магма, которая, в свою очередь, является результатом распада радиоактивных материалов вблизи ядра Земли. Наши ископаемые энергоносители — результат протекающих на Солнце ядерных процессов, энергия которых трансформируется и накапливается различными путями. Многие используемые нами полезные ископаемые представляют собой тяжелые элементы, попадающие на поверхность Земли с астероидами и кометами. Метеориты принесли на Землю и некоторые аминокислоты, а может быть, и саму жизнь или семена жизни. Но еще до того, как все это произошло, темная материя стала образовывать сгустки, которые притягивали к себе обычную материю, превратившуюся в конечном итоге в галактики, скопления галак-

тик и звезды вроде нашего Солнца. Обычная материя, такая важная для нас, — это лишь часть истории.

Хотя у нас и может возникать иллюзорное представление об изолированности земного мира, восход солнца по утрам, луна и звездное небо по ночам постоянно напоминают о том, что наша планета не одинока. Звезды и туманности не дают забыть, что мы существуем в Галактике, которая является частью еще более безграничной Вселенной. Земля движется по орбите в Солнечной системе, и смена времен года говорит об ориентации и положении нашей планеты на ней. Даже отсчет времени в днях и годах указывает на связь с окружающим миром.

• • •

В этой книге я хочу поделиться четырьмя откровениями, вынесенными из научных исследований. Среди них ближе всего моему сердцу осознание удивительного многообразия взаимосвязей между составными частями Вселенной. На самом глубинном, фундаментальном уровне это взаимосвязь физики элементарных частиц, физики космоса и биологии; речь идет вовсе не об эзотерической связи, а о тех замечательных ее проявлениях, которые можно и нужно изучать.

Вещество из космического пространства поступает на Землю непрерывно. У Земли, однако, сложные отношения с окружающей ее средой. Что-то из внешнего мира идет на пользу нашей планете, но многое может быть фатальным. Положение Земли обеспечивает поддержание определенной температуры, внешние планеты отклоняют большинство приближающихся астероидов, не допуская их столкновения с Землей, расстояние между Луной и Землей таково, что обеспечивает стабилизацию нашей орбиты и предотвращает сильные колебания температуры, а внешняя область Солнечной системы защищает нас от опасного космического излучения. Метеориты, достигающие поверхности Земли, возможно, принесли с собой критически важные для зарождения жизни вещества, но метеоритное влияние

на ход земной жизни бывало и гибельным. Как минимум один такой космический объект привел к опустошительному вымиранию биологических видов 66 млн лет назад. Вместе с тем он, хотя и уничтожил полностью динозавров, обеспечил условия для процветания крупных млекопитающих, включая человека.

Второй не менее поразительный аспект — это щедрость нашего времени на научные открытия, о которых я собираюсь рассказать. Такое заявление, наверное, можно сделать в любой точке истории человеческих цивилизаций, но это не лишает его справедливости: мы совершили огромный скачок в развитии нашей науки в последние [здесь надо вставить соответствующую контексту цифру] лет. Для исследований, которые я рассматриваю, эта величина составляет менее 50 лет. И мои собственные исследования, и работы других ученых заставляют постоянно поражаться новизне и дерзости последних открытий. С изобретательностью и упорством ученые пытаются увязать бытующие представления с удивительными, всегда интересными и подчас пугающими фактами, которые открываются нам о мире. Научные знания, представленные в этой книге, относятся к истории мироздания, которая насчитывает 13,8 млрд лет, если вас интересует Вселенная, или же 4,6 млрд лет, если интерес касается Солнечной системы. Но при этом история человеческого интереса к этим научным загадкам насчитывает менее столетия.

Динозавры вымерли 66 млн лет назад, однако палеонтологи и геологи предположили причину их исчезновения только в 1970–1980-х гг. Сначала потребовались десятилетия аккуратных догадок, лишь потом научное сообщество в полной мере оценило их. Такие сроки не случайны. Связь вымирания динозавров с внеземным объектом стала выглядеть более правдоподобной, только когда астронавты высадились на Луне и увидели вблизи кратеры — эти реальные свидетельства динамического характера Солнечной системы.

В последние 50 лет значительные достижения в физике элементарных частиц и космологии позволили построить Стан-

дартную модель, описывающую базовые элементы материи так, как мы понимаем их сегодня. Количество темной материи и темной энергии во Вселенной стало понятно в последние десятилетия XX в. Примерно в этот же период изменилось наше представление о Солнечной системе. И только в 1990-х гг. ученые открыли объекты пояса Койпера в окрестностях Плутона, показавшие, что Плутон обращается вокруг Солнца не в одиночестве. Количество планет сократилось, но лишь потому, что естествознание, которое мы изучали в школе, стало богаче и намного сложнее.

Третий аспект касается темпов изменений. Виды адаптируются в ходе естественного отбора, если им для адаптации хватает времени. Но адаптация не происходит сразу радикальным образом. Она слишком нетороплива. Динозавры не были готовы к столкновению 10-километрового метеорита с Землей. Они не смогли приспособиться. Тем, кто жил на суше, кто не мог зарыться в землю из-за своих размеров, деваться было некуда.

С появлением новых идей и технологий споры вокруг радикальности и постепенности изменений становятся как нельзя важными. Ключом к пониманию большинства новейших открытий — как научных, так и всех прочих — является скорость процессов, которые они описывают. Я частенько слышу разговоры о том, что развитие в некоторых областях, например в генетике и интернет-технологиях, беспрецедентно быстрое. Однако это не совсем так. Понимание причин болезней или принципов функционирования системы кровообращения, полученное столетия назад, привело к изменениям по меньшей мере столь же глубоким, какие сулит сегодняшняя генетика. Появление письменности, а позднее печатного станка повлияло на пути приобретения знаний и мировоззрение людей не менее значительно, чем появление Интернета.

Все современные изменения, если речь зашла об их важных особенностях, отличает действительно исключительная быстрота, причем относится это не только к научным процессам,

но и к изменениям экологическим и социологическим. Хотя вряд ли нам стоит сейчас всерьез опасаться гибели от столкновения с метеоритом, но ускорение темпа изменения окружающей среды и вымирания видов — вполне реальная опасность, и последствия этого явления во многом можно сравнить с последствиями космической катастрофы. Так что цель этой книги вполне прозрачна — помочь нам лучше понять потрясающую историю о том, как мы оказались здесь и сейчас, и мудро распорядиться полученными знаниями.

Существует и четвертый важный аспект — замечательная наука, описывающая зачастую скрытые элементы нашего мира и его развитие, а также насколько глубоко наше познание может проникнуть во Вселенную. Многих завораживает идея мультивселенной — множества других недоступных нам вселенных. Однако не менее интересна идея множества скрытых миров — как биологических, так и физических, — на исследование и познание которых у нас все же есть шансы. Я надеюсь показать в этой книге, насколько увлекательными могут быть размышления о том, что мы знаем, и о том, что можем узнать в будущем.



Книга начинается с объяснения основных моментов космологии — науки о том, как Вселенная пришла в ее нынешнее состояние. Первыми рассматриваются теория Большого взрыва, модель космологической инфляции и формирование Вселенной. В этой части также объясняется, что такое темная материя, откуда мы знаем о ее существовании и почему она вписывается в структуру Вселенной.

На темную материю приходится 85% вещества Вселенной, в то время как на обычную материю, т. е. на то, из чего состоят звезды, газ и люди, — всего 15%. Несмотря на это, людей в основном занимает существование и значение обычной материи, которая, надо отдать должное, взаимодействует несравненно сильнее.

Так или иначе, как и в случае человечества, нет никакого резона замыкаться на небольшой доле имеющего непропорционально сильное влияние. Доминирующие 15% материи, которую мы можем видеть и чувствовать, всего лишь часть сущего. Я покажу критическую роль темной материи во Вселенной как для галактик и скоплений галактик, формировавшихся из неупорядоченной космической плазмы в ранней Вселенной, так и для поддержания стабильности этих структур сегодня.

Во второй части книги рассматривается Солнечная система. Конечно, тема Солнечной системы настолько необъятна, что ей вполне можно посвятить отдельную книгу, ее хватит даже для энциклопедии. Поэтому я ограничиваюсь вопросами, которые могут иметь отношение к динозаврам, — метеоритами, астероидами и кометами. В этой части описываются объекты, которые сталкивались с Землей или столкновения с которыми можно ожидать в будущем, а также немногочисленные, но весомые свидетельства исчезновения видов или падений метеоритов, происходящих с завидной регулярностью с интервалом примерно 30 млн лет. Здесь, кроме того, обсуждаются вопросы возникновения и уничтожения жизни, обобщается все, что известно о пяти крупнейших случаях массового вымирания биологических видов, включая катастрофу, которая уничтожила динозавров.

Третья и последняя часть книги объединяет в единое целое идеи первых двух частей и начинается с обсуждения моделей темной материи. В ней объясняются наиболее известные представления о том, что такое темная материя, а также новейшие предположения относительно взаимодействий темной материи, о которых упоминалось выше.

На сегодняшний момент мы знаем только то, что темная материя взаимодействует с обычной материей гравитационным образом. Гравитационные эффекты в целом настолько ничтожны, что мы можем наблюдать только влияние огромных масс, таких как Земля и Солнце, но и оно довольно слабо. В конце концов, даже держатель для бумаги с крошечным

магнитом с успехом противодействует притяжению планеты Земля.

Вместе с тем в темной материи могут действовать и другие силы. Наша новая модель ставит под сомнение общепринятое предположение — и предубеждение — о том, что знакомая нам материя уникальна с точки зрения тех сил — электромагнетизм, слабые и сильные ядерные взаимодействия, — через которые она взаимодействует. Именно этими силами обусловлены многие удивительные особенности нашего мира. А что, если в определенных видах темной материи тоже наблюдаются сильные негравитационные взаимодействия? Если это так, то силы темной материи могут стать неожиданным подтверждением связей между микромиром и макроскопическими явлениями, более глубоких, чем те, что нам известны сейчас.

Хотя все во Вселенной способно, в принципе, взаимодействовать, большинство таких взаимодействий слишком слабы, чтобы быть заметными. Мы можем наблюдать только то, что влияет на нас ощутимым образом. Если что-то вызывает ничтожный эффект, то оно может находиться у нас под носом и оставаться незамеченным. Скорее всего, именно поэтому частицы темной материи, которые, предположительно, окружают нас, до сих пор не обнаружены.

В третьей части книги показано, как более широкий взгляд на темную материю — вопрос о том, почему темная вселенная должна быть такой простой, когда наша Вселенная так сложна — открывает перед нами ранее неизведанные возможности. Может быть, часть воздействий темной материи обусловлена силой — темным светом, если хотите. Если представить подавляющую часть темной материи как сравнительно маловлиятельные 85% популяции, то вновь предложенный тип темной материи можно рассматривать как преуспевающий средний класс, подражающий в своих взаимодействиях обычной материи. Дополнительные взаимодействия будут изменять строение галактики и позволять этой новой части влиять на движение звезд и других объектов из обычной материи.

В ближайшие пять лет наблюдения со спутников позволят определить форму нашей Галактики, ее состав и прочие характеристики намного точнее, чем когда-либо, расскажут много нового о нашем галактическом окружении и покажут, правильно наше предположение или нет. Такие осязаемые перспективы превращают темную материю и нашу модель в реальное направление исследований, заслуживающее изучения, даже если темная материя и не является тем кирпичиком, из которых состоите и вы, и я. В сферу исследований, возможно, войдут столкновения с метеоритами, один из которых вполне может оказаться связующим звеном между темной материей и исчезновением динозавров.

Предпосылки и концепции, связывающие эти явления, дают емкую, трехмерную картину Вселенной. Мне хотелось бы не только представить эти идеи, но и подтолкнуть вас к исследованию и более глубокому пониманию удивительного богатства нашего мира.

ЧАСТЬ I

**ВОЗНИКНОВЕНИЕ
И РАЗВИТИЕ ВСЕЛЕННОЙ**

ТАЙНОЕ ОБЩЕСТВО ТЕМНОЙ МАТЕРИИ

Мы часто не замечаем того, чего не ожидаем. Метеоры вспыхивают и пропадают в небе безлунной ночью, незнакомые животные идут за нами по пятам в лесу, великолепные архитектурные формы окружают нас во время прогулки по городу. Но мы не видим их, даже если они находятся в поле зрения. Наше тело служит пристанищем целых колоний бактерий. Количество бактериальных клеток внутри нас десятикратно превышает количество наших собственных клеток. Но мы не ощущаем присутствия этих микроскопических созданий, не чувствуем, как они поглощают питательные вещества и помогают нашей пищеварительной системе. Только когда бактерии дурно ведут себя и вызывают расстройства, большинство из нас спохватываются и даже признают их существование.

Чтобы увидеть что-то, нужно смотреть, да к тому же еще и знать, как смотреть. Кроме того, явления, о которых я только что говорила, принципиально наблюдаемые. А теперь представьте себе сложность понимания того, что вы в буквальном смысле не можете увидеть. Именно такой является темная материя, неуловимая субстанция Вселенной, которая

бесконечно слабо взаимодействует с понятной нам материей. В последующих главах я познакомлю вас с разными методами измерения, позволившими астрономам и физикам доказать существование темной материи. Здесь же я расскажу вам о самой этой неуловимой субстанции: что это такое, почему она кажется непостижимой и почему с точки зрения определенных теорий это не так.

НЕВИДИМОЕ СРЕДИ НАС

Хотя Интернет представляет собой гигантскую сеть, связывающую в реальном времени миллиарды людей, большинство из тех, кто общается в социальных сетях, не взаимодействуют друг с другом напрямую и даже опосредованно. Участники добавляют в друзья тех, кто имеет сходные мнения и интересы, подписываются на страницы единомышленников и обращаются к источникам новостей, отражающим их собственные представления о мире. При таких ограниченных взаимодействиях совокупность людей, связанных онлайн, распадается на отчетливые невзаимодействующие группы, в пределах которых редко встречается альтернативная точка зрения. Даже друзья друзей обычно не ссылаются на отличные мнения других групп, поэтому большинство интернет-обитателей не замечают существования незнакомых сообществ с иными, несовместимыми идеями.

Мы не слишком изолированы от миров, находящихся за пределами нашего собственного. Но в отношении темной материи мы все одним миром мазаны. Темная материя просто не является частью социальной сети обычной материи. Она обитает в интернет-чате, в который мы даже не знаем, как войти. Она находится в той же самой Вселенной и занимает те же области пространства, что и видимая материя. Однако частицы темной материи взаимодействуют крайне незначительно с обычной материей, которую мы знаем. Как и в случае с интернет-сообществами, о которых мы не подозреваем, если не говорить

каждодневно о темной материи, то о ее существовании никто и знать не будет.

Как и бактерии внутри нас, темная материя — одна из множества других «вселенных» прямо под нашим носом. И, подобно этим микроскопическим созданиям, она вокруг нас. Темная материя проходит прямо через наши тела — она кругом нас в космическом пространстве¹. Мы, однако, не замечаем ни одного из ее проявлений, поскольку она взаимодействует так слабо, что не образует отчетливого сообщества. Это сообщество полностью изолировано от материи, которую мы знаем.

Она тем не менее очень важна. Если на бактериальные клетки, несмотря на их многочисленность, приходится всего 1–2% нашей массы, то на темную материю, хотя в нашем теле она и составляет незначительную часть, приходится примерно 85% вещества во Вселенной. Каждый кубический сантиметр пространства вокруг вас содержит темную материю, масса которой примерно соответствует массе протона². Много это или мало зависит от того, с какой точки зрения смотреть. Если темная материя состоит из частиц, чья масса сопоставима с массой известных нам частиц, и если эти частицы движутся со скоростью, которую можно ожидать исходя из известных законов, то сквозь каждого из нас ежесекундно проходят миллиарды частиц темной материи. Так или иначе, никто не замечает этого. Воздействие даже миллиардов частиц темной материи на нас исчезающе мало.

Именно поэтому мы не можем чувственно воспринимать темную материю. Она не взаимодействует со светом, по крайней мере так, чтобы люди могли обнаружить это взаимодействие. Темная материя представляет собой иную субстанцию,

¹ Вообще-то мы этого не знаем. Есть модели темной материи, в которых она представляет собой не элементарные частицы, а компактные макроскопические объекты большой массы. Таких объектов не так много в окружающем космосе, чтобы можно было ожидать регулярные «встречи» человеческого тела с ними. — *Прим. науч. ред.*

² Надо понимать, что это в среднем, т. е. если рассматривать массу вещества в большой области пространства Вселенной, то масса темной материи такая, словно в каждом кубическом сантиметре «находится» один протон. — *Прим. науч. ред.*

чем обычная материя, — она не состоит из атомов или других знакомых нам элементарных частиц, вступающих во взаимодействие со светом, а такое взаимодействие является принципиальным для всего, что мы видим. Из чего состоит темная материя — и есть та загадка, над которой бьются мои коллеги и я вместе с ними. Не исключено, что это частицы какого-то нового типа. Если это так, то каковы их свойства? Вступают ли они помимо гравитационных взаимодействий в какие-либо другие взаимодействия? Если осуществляемые сейчас эксперименты будут успешными, то у частиц темной материи могут обнаружиться ничтожные электромагнитные взаимодействия, настолько малые, что до сих пор их не удавалось зарегистрировать. Специальные космические зонды ищут эти взаимодействия — как это происходит, я объясню в третьей части книги. Но пока темная материя остается невидимой. Ее присутствие никак не влияет на детекторы при нынешнем уровне чувствительности.

Вместе с тем, когда темная материя концентрируется в локализованном пространстве, ее чистое гравитационное влияние становится значительным и она оказывает заметное воздействие на звезды и близлежащие галактики. Темная материя влияет на расширение Вселенной, на траекторию света, поступающего от удаленных объектов, на орбиты движения звезд вокруг центра галактики и на многие другие измеримые явления так, что это заставляет верить в ее существование. Из-за этих-то измеримых гравитационных эффектов мы и знаем о существовании темной материи.

Кроме того, несмотря на свою невидимость и неосязаемость, темная материя играла ключевую роль в формировании структуры Вселенной. Темную материю можно сравнить с недооцененными рядовыми членами общества. Хотя они и не видны верховным вершителям судеб, без армии работников, строящих пирамиды, прокладывающих автомагистрали, собирающих электронную аппаратуру, невозможно развитие цивилизации. Как и другие незаметные группы людей в на-

шем обществе, темная материя принципиально важна для нашего мира.

Не будь темной материи в ранней Вселенной, сейчас некому было бы даже рассуждать о происходившем, не говоря уже о создании связной картины эволюции Вселенной. Без темной материи не было бы времени на формирование структуры, которую мы наблюдаем. Сгустки темной материи стали зародышами Млечного Пути, а также других галактик и скоплений галактик. Если бы не сформировались галактики, то не было бы ни звезд, ни Солнечной системы, ни жизни в том виде, в каком мы ее знаем. Даже сегодня суммарное воздействие темной материи поддерживает целостность галактик и галактических систем. Темная материя, возможно, влияет даже на траекторию движения Солнечной системы, если существует упомянутый во введении темный диск.

Так или иначе, мы не наблюдаем темную материю непосредственно. Ученым известно множество форм материи, но те из них, состав которых мы знаем, наблюдаются через тот или иной вид испускаемого света или в более общем случае электромагнитного излучения¹. Электромагнитное излучение воспринимается как свет в диапазоне видимых частот, а за пределами этого узкого диапазона оно может представлять собой, например, радиоволны или ультрафиолетовое излучение. Эффекты можно наблюдать с помощью микроскопа, радиолокатора или как оптические образы на фотоснимке. При этом всегда присутствует электромагнитное взаимодействие. Не всякое взаимодействие является прямым — самым непосредственным образом со светом взаимодействуют заряженные частицы. Однако элементы Стандартной модели в физике элементарных частиц — наиболее фундаментальные элементы материи, которые нам известны — взаимодействуют в такой мере, что свет

¹ Есть, однако, элементарные частицы нейтрино, которые участвуют только в слабых взаимодействиях и «наблюдаются» через рождение электрически заряженных частиц — электронов и их более тяжелых аналогов — мюонов и тау-лептонов. — *Прим. науч. ред.*

является, если не напрямую другом, то как минимум другом друга всех форм видимой для нас материи.

Не только зрительные, но и другие наши чувственные восприятия — осязательные, обонятельные, вкусовые и звуковые — основаны на атомных взаимодействиях, которые, в свою очередь, связаны с взаимодействиями электрически заряженных частиц. Осязание тоже, хотя и по более тонким причинам, связано с электромагнитными колебаниями и взаимодействиями. Поскольку все без исключения чувственные восприятия людей основаны на электромагнитных взаимодействиях того или иного рода, мы не можем напрямую замечать темную материю привычным нам образом. Хотя темная материя везде вокруг нас, мы не видим и не чувствуем ее. Когда свет падает на темную материю, ничего не происходит, он просто проходит сквозь нее.

Учитывая, что никто никогда не видел (не осязал и не обонял) ее, многие, с кем я разговаривала, воспринимали факт существования темной материи с удивлением и считали его загадочным, а то и вовсе спрашивали, не является ли это плодом воображения. Люди спрашивают, разве может быть такое, чтобы подавляющая часть материи — примерно в пять раз больше по массе, чем обычная материя — не была видна в традиционные телескопы. Лично я ожидала бы прямо противоположного (хотя, наверное, не все смотрят на вещи таким образом). Для меня более загадочным было бы, если бы наши глаза могли видеть всю материю, которая существует. Кто сказал, что мы наделены идеальными органами чувств, способными непосредственно воспринимать все сущее? Самое большое, что дала нам физика за многие столетия, — это понимание того, как много скрыто от нашего взора. С этой точки зрения вопрос вызывает то, почему на материю, которую мы знаем, приходится такая плотность энергии во Вселенной.

Темная материя, возможно, кому-то кажется экстравагантной идеей, однако предположение о ее существовании несравненно меньше безрассудство, чем пересмотр законов гравитации.

тации, который, наверное, предпочли бы противники такой экстравагантности. Темная материя, хотя и совершенно непривычна, имеет, скорее всего, более-менее традиционное объяснение, полностью соответствующее всем известным законам физики. В конце концов, с какой стати вся материя, подчиняющаяся известным законам гравитации, должна вести себя точно так же, как знакомая нам материя? Короче говоря, почему вся материя должна взаимодействовать со светом? Темная материя может быть просто субстанцией, имеющей иной фундаментальный заряд или лишенной фундаментального заряда. Без электрического заряда или взаимодействий с заряженными частицами она не может ни поглощать, ни испускать свет.

Впрочем, неувязка с одним из аспектов темной материи все же существует — это ее название. Я имею в виду не слово «материя». Эта субстанция действительно является формой материи в том смысле, что она образует сгустки и оказывает гравитационное влияние, реагируя на силу тяготения подобно любым другим видам материи. Именно это взаимодействие позволяет физикам и астрономам обнаруживать ее присутствие.

Не вполне уместно в названии слово «темная» по той причине, что мы видим темные вещи, поглощающие свет, а также потому, что такой ярлык делает эту субстанцию в нашем восприятии более могущественной и отрицательной, чем она есть на самом деле. Темная материя вовсе не темная — она прозрачная. Темное вещество поглощает свет. Прозрачные же тела индифферентны к нему. Свет может падать на темную материю, но ни эта материя, ни сам свет не претерпевают при этом изменений.

Не так давно на междисциплинарной конференции я познакомилась с Массимо, профессиональным маркетологом, специализирующимся на брендинге. Когда я рассказала ему о своем исследовании, он посмотрел на меня с недоверием и спросил: «А почему это называют темной материей?» Его смутило не научное обоснование, а чрезмерно негативная коннотация названия. Конечно, далеко не каждый бренд приобретает

негативную окраску из-за присутствия слова «темный». «Темный рыцарь»¹ был отличным парнем, ну разве что со сложным характером. Но по сравнению с ролью этого слова в названиях «Темные тени»², «Темные начала»³, «Трансформеры: темная сторона Луны»⁴, «темная сторона силы» Дарта Вейдера⁵, не говоря уже о «темной песне» из «Лего. Фильма», «темная» в темной материи имеет довольно невинный смысл. Несмотря на наше очевидное увлечение темной стороной вещей, темная материя в реальности не оправдывает репутации своего названия.

Все же у нее есть одна общая черта со злыми силами: она невидима для нас. Темная материя абсолютно правильно названа в том смысле, что, как ее не нагревай, никакого света она не излучает. С этой точки зрения она действительно темная — не потому, что она непрозрачна, а потому, что является противоположностью всему светоизлучающему и даже светоотражающему. Никто не видит темную материю непосредственно ни в микроскоп, ни в телескоп. Как и в случае со злыми духами в кинофильмах и литературе, невидимость служит ей защитным покрывалом.

На взгляд Массимо, «прозрачная материя» звучала бы лучше или как минимум не так пугающе. С точки зрения физики, однако, я не уверена в его правоте. Темная материя, даже если это мне и не нравится, привлекает внимание. Так или иначе, в темной материи нет ничего ни зловещего, ни могущественного, по крайней мере пока она не скапливается в огромных количествах. Она взаимодействует с обычной материей настолько слабо, что обнаружить ее чрезвычайно сложно. Именно в этом и заключается интерес.

¹ Dark Knight — герой кинотриллера режиссера Кристофера Нолана. — *Прим. пер.*

² Dark Shadows — приключенческий триллер с элементами ужасов, в русской версии «Мрачные тени». — *Прим. пер.*

³ His Dark Materials — фантастическая трилогия британского писателя Филипа Пулмана. — *Прим. пер.*

⁴ Transformers: Dark of the Moon — американский фантастический боевик. — *Прим. пер.*

⁵ Дарт Вейдер — главный герой киноэпопеи «Звездные войны». — *Прим. пер.*

ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ

С названием «темная материя» связаны и другие недоразумения помимо упомянутого выше зловещего звучания. Например, многие из тех, с кем я обсуждала мою работу, не видели разницы между темной материей и черными дырами. Чтобы подчеркнуть различие, я сделаю небольшой экскурс в природу черных дыр, представляющих собой объекты, которые образуются, когда в очень маленькой области космического пространства оказывается слишком много материи. Ничто, включая свет, не может вырваться из их чудовищного гравитационного поля.

У черных дыр и темной материи общего не больше, чем у черных чернил и черной комедии. Темная материя не взаимодействует со светом. Черные дыры поглощают свет, как и все остальное, что оказывается слишком близко. Черные дыры являются черными потому, что весь попадающий в них свет остается внутри. Он не излучается и не отражается. Темная материя вполне может иметь отношение к формированию черных дыр¹, поскольку любая материя способна сколлапсировать и превратиться в черную дыру. Однако черные дыры и темная материя определенно не одно и то же. Их ни в коем случае нельзя смешивать.

Другое заблуждение связано с неудачным названием темной материи. Поскольку во Вселенной существует еще темная энергия — тоже неоднозначное название, — ее нередко путают с темной материей. Хотя это и отступление от нашей главной темы, я замечу, что темная энергия занимает важное место в современной космологии, и постараюсь объяснить ее сущность во избежание путаницы в дальнейшем.

Темная энергия — это не материя, это просто энергия. Темная энергия существует, даже если вокруг нет ни одной частицы или вещества в другой форме. Она распределена по Вселенной, но не образует сгустков, как обычная материя. Плот-

¹ Точнее говоря, есть предположение, что черные дыры являются возможными источниками темной материи — к этой теме мы обратимся позже. Вместе с тем экспериментальные ограничения и теоретические выкладки в настоящее время делают такой сценарий крайне маловероятным. — *Прим. авт.*

ность темной энергии везде одинакова — ее плотность в одной области не отличается от плотности в другой области. Темная энергия очень отличается от темной материи, которая собирается в объекты и в одних местах плотнее, чем в других. Темная материя ведет себя точно так же, как знакомая нам материя, которая образует объекты вроде звезд, галактик и скоплений галактик. Темная энергия всегда распределена равномерно.

Темная энергия также не меняется во времени. В отличие от материи или излучения, темная энергия не становится более рассеянной по мере расширения Вселенной. Это в определенном смысле ее определяющее свойство. Плотность темной энергии — энергии, которая не связана с частицами или материей — остается неизменной во времени. По этой причине физики нередко называют этот вид энергии *космологической постоянной*.

На раннем этапе эволюции Вселенной подавляющая часть энергии существовала в форме излучения. Однако излучение рассеивается¹ быстрее, чем материя, поэтому материя со временем стала самым значительным носителем энергии. Значительно позднее в процессе эволюции Вселенной доминирующая позиция перешла к темной энергии, которая никогда не рассеивается, в отличие от излучения и материи, и на которую ныне приходится примерно 70% энергетической плотности Вселенной.

До того как Эйнштейн предложил свою теорию относительности, всех интересовала лишь относительная энергия — разница между энергией одного состояния и энергией другого. Однако теория Эйнштейна показала, что абсолютное количество энергии значимо само по себе и определяет гравитационную силу, которая сжимает или расширяет Вселенную. Большая загадка темной энергии кроется не в ее существовании — кван-

¹ Слово «рассеивается» здесь и далее употребляется в том же обыденном смысле, что и в выражении «туман рассеялся». Для уточнения этого употребления отметим, что в расширяющейся Вселенной плотность всех частиц падает, а у ультрарелятивистских частиц — излучения — уменьшаются и импульсы, или частота (свет краснеет). В результате вклад излучения в плотность энергии Вселенной падает быстрее, чем вклад материи (нерелятивистских частиц, чей основной вклад определяется массой). — *Прим. науч. ред.*