



# СОДЕРЖАНИЕ

ДЛЯ ЧИТАТЕЛЕЙ, НЕРАВНОДУШНЫХ К ЗАГАДКАМ ПРИРОДЫ	7
ПРЕДИСЛОВИЕ	9

## **БОЛЬШАЯ НЕВИДИМАЯ ВСЕЛЕННАЯ**

13

НЕВИДИМЫЕ ЯБЛОКИ НЬЮТОНА	15
НЕБЕСНАЯ ИЕРАРХИЯ	20

## **ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ**

23

КОГДА СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК СТАЛКИВАЮТСЯ	23
СТАРЫЙ КОФЕ И ФРАНЦУЗСКАЯ ФИЛОСОФИЯ	30
ВЕЩЕСТВО И ЕГО ДАЛЕКИЕ ОТПЕЧАТКИ ПАЛЬЦЕВ	31
ЦВИККИ И БЫСТРЫЕ ГАЛАКТИКИ	34
ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ В КОСМОСЕ	42
ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ. ИЛИ ЛИШЬ СЛЕГКА ТЕМНОВАТАЯ?	52

ВЕРА РУБИН И ТЕМНЫЕ ГАЛАКТИКИ	56
ЗВЕЗДНЫЙ ПАТРУЛЬ	64
ТАК ГДЕ ЖЕ СКРЫВАЕТСЯ ЭТА ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ?	69
НЕВИДИМАЯ ФИЗИКА	74
СВЯЗЫВАЮЩИЕ НАС ЗАРЯДЫ	80
РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ	86
ТАК ЧТО ЖЕ ТАКОЕ ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ?	106
ПРОКЛЯТИЕ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК	154
А ЧТО, ЕСЛИ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ НЕ СУЩЕСТВУЕТ?	157
ТАК СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ?	166
<b>ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ</b>	169
ТАК ЭКЗОТИЧНА, ТАК ПРОСТА!	169
УСКОРЯЮЩЕЕСЯ РАСШИРЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ	171
ЭЙНШТЕЙН И КОСМОЛОГИЧЕСКАЯ ПОСТОЯННАЯ	188
НАБЛЮДЕНИЯ, УКАЗЫВАЮЩИЕ НА ТЕМНУЮ ЭНЕРГИЮ	206
УЧАСТЬ ВСЕЛЕННОЙ	227
НЕВИДИМАЯ ВСЕЛЕННАЯ	233
ВСТРЕЧА НАИБОЛЬШЕГО С НАИМЕНЬШИМ	235
АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП — ПОТОМУ ЧТО МЫ ЗДЕСЬ	236
СЧАСТЬЕ УЗНАВАТЬ ТО, ЧЕГО НЕ ЗНАЕШЬ	239
ССЫЛКИ И КОММЕНТАРИИ	242

# ДЛЯ ЧИТАТЕЛЕЙ, НЕРАВНОДУШНЫХ К ЗАГАДКАМ ПРИРОДЫ

**А**строномы любят темноту. Ночное темное небо — это наша лаборатория, наш объект исследования. Темная башня телескопа — это наше рабочее место. Любой искусственный свет мешает изучать слабое свечение космических тел. В эпоху химической фотографии — а многие еще помнят фотопленку и фотопластинки — мы работали в абсолютной темноте, на ощупь, чтобы не засветить чувствительную фотоэмульсию.

Очень любят астрономы темноту, но только если она не мешает, а помогает изучать небесные светила. Однако не всякая темнота помогает нам в этом. Темные облака космической пыли закрывают от нас многие уголки Галактики, оставляя их на долгие годы неисследованными. Луч света не проходит сквозь эти облака, и мы не видим, что находится за ними и внутри них. Поэтому такие черные пятна на звездном небе мы называем по-английски не black clouds (черные облака), а dark clouds (темные, загадочные, непонятные облака). Слово dark используется и в выражении dark side of the Moon, хотя все знают, что обратная сторона Луны вовсе не темнее видимой ее стороны, ведь на обеих бывают и день, и ночь. Но обратная сторона Луны веками оставалась

загадочной, пока в 1959 году ее не сфотографировал наш космический зонд. В этот момент не стало одного из «темных» астрономических объектов, но вскоре ему на смену пришли другие.

В 1970-х стало окончательно ясно, что во Вселенной существует огромное количество вещества, обладающего гравитацией, но невидимого для телескопов любого типа — от рентгеновских до радио. Это невидимое вещество называли по-английски dark matter. Оно до сих пор представляет загадку для ученых. Именно поэтому не black, а dark. По-русски мы называем его «темная материя», или «темное вещество», что точнее, поскольку материя — это все сущее, включая поля, а вещество — это частицы, которые можно остановить и взвесить. Армия физиков сейчас работает над тем, чтобы понять, что же такое это темное вещество. В книге об этом подробно рассказано.

Вторая и еще более загадочная сущность проявила себя в конце 1990-х, когда астрономы обнаружили, что наша Вселенная расширяется ускоренно. Источник этой расталкивающей антигравитационной силы называли dark energy — «темная энергия». Природа этой энергии — наиболее серьезный вызов для современной физики, поскольку есть много теоретических идей, которые трудно пока проверить. А если вспомнить еще о черных дырах, с которыми тоже связано немало загадок, то можно сказать, что современные астрофизики в основном занимаются «темными делами».

Именно этим загадочным сущностям — темной материи и темной энергии — посвящена книга, которую вы взяли сейчас в руки. Советую вам не расставаться с ней, поскольку написана она профессионалом и предназначена для читателей, равнодушных к загадкам природы. При этом от читателя не требуется глубоких знаний физики и астрономии — достаточно вспомнить кое-что из школьных курсов и с головой погрузиться в интересный рассказ о Вселенной.

*В. Г. Сурдин, науч. редактор,*

*астроном, канд. физ.-мат. наук, доцент МГУ*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*Мне было, пожалуй, лет пятнадцать, и я только наткнулся на энциклопедию, в которой говорилось, что Солнце уже наполовину состарилось. Ему вроде бы пять миллиардов лет, а это половина жизненного цикла звезды. Через несколько дней я разглядывал ясное звездное небо. В тот момент наука впервые пошатнула веру в Бога. То было первое крупное осознание извне.*

Цитата взята из книги бесед Альфа ван дер Хагена с Хьеллем Аскильдсеном<sup>1</sup>. Читал я ее, как раз когда работал над последней частью моей первой книги. Я вдруг осознал, что размышления Аскильдсена под звездным небом, должно быть, характерны для многих. И речь совсем не о том, что людям свойственно отсекаться от веры, глядя на звезды, — для многих ситуация, скорее, обратная. Но думаю, среди нас немало тех, кого звездный небосвод заставляет задаваться экзистенциальными вопросами. Вселенная и мысли о том, что скрывается где-то в космосе, обостряют наше понимание природы и реальности. Захватывающие изображения огромных межзвездных туманностей, размышления о существовании жизни на других планетах, черные дыры и темная материя — все это оседает глубоко в нас и сразу же завораживает. Не раз я обращал внимание на то, как бесконечные клики

удерживают новости астрономии на верхних строчках новостных интернет-ресурсов. Есть хоть одна другая ветвь науки, способная похвастаться такой же всеобщей заинтересованностью?

А за могущественной видимой Вселенной, которая ночами окутывает нас, скрывается нечто иное и гораздо более впечатляющее. Ведь большинство астрономов сегодня считает, что 95 процентов содержимого Вселенной невидимо. Все наблюдаемое нами в повседневной жизни и на красивых картинках с телескопа «Хаббл» составляет, вероятно, лишь пять процентов от того, что скрывается в космосе. Остальное же — темная материя и энергия, та часть реальности, которую мы только-только начали понимать. Именно этим 95 процентам невидимой Вселенной и посвящена эта книга.

Несомненно, 95 процентов Вселенной — тема серьезная. Но это далеко не учебник, и у меня не было цели охватить все технические детали и подробности наших знаний о невидимом космосе. Вместо этого я попытался уделить достаточно времени объяснению некоторых наиболее важных концепций. Моя целевая аудитория — читатели без предварительной подготовки, которым любопытна Вселенная, люди, забывшие многое из школьной программы естествознания и физики. А еще я надеюсь, что и учителям эта книга принесет пользу и удовольствие. Вселенная — это та тема, которой отводится порядочная часть школьной учебной программы, и наши знания о ней значительно расширились за последнюю пару десятилетий.

Я постарался сделать изложение материала не слишком тяжелым и недоступным. Значительная часть работы над книгой заключалась в избавлении от излишней информации. Моей целью было сохранить равновесие между базовой физикой и рассказами о людях, стоящих за историей и будущим астрономии. Как правило, в учебниках сперва приводится основная теория.

Я попробовал вести повествование о невидимой Вселенной в обратном порядке: сначала мы познакомимся со Вселенной и наблюдениями за ней. И поэтому я надеюсь, что, когда дело дойдет до разъяснения физических механизмов, на которых все основывается, вам хватит мотивации.

Книга намеренно написана неформальным языком. В некоторых случаях повседневное значение слова не совпадает с его научным значением. Тут я склонялся к первому варианту. Возьмем, например, слово «теория». В науке теория — это тщательно проверенное объяснение того, как устроена природа. Говоря о теории, в повседневной речи мы часто имеем в виду предположительное объяснение, которое может быть правдой, — то же самое, что в науке часто называют гипотезой. В книге я могу использовать слово «теория» в отношении того, что является лишь гипотезой просто потому, что «теория» — более привычное слово.

При популяризации науки приходится постоянно искать компромисс между по-научному точным и не слишком нудным объяснениями. Во многих случаях некоторые чересчур сложные детали я опускаю. Тем не менее я уделяю большое внимание научной точности написанного. Я потратил много времени на ознакомление с профессиональными статьями — как старыми, так и новыми, чтобы подвести под свои слова прочный фундамент.

Ссылки и комментарии я решил собрать в общей системе заметок: хочу, чтобы текст выглядел целостным для тех, кто не хочет копаться во всех тонкостях. Когда я обращаюсь к примечанию в связи с конкретным результатом исследования, то почти всегда привожу ссылку на профессиональную статью, требующую солидных предварительных знаний. В иных же случаях я ссылаюсь на примечания в более общей части текста. Затем примечание часто

содержит уточнение или ссылку на более доступный, популярный текст по теме. Когда я указываю URL-адреса, то это почти всегда тексты, которые можно бесплатно почитать в интернете.

Настало время для благодарностей. Эта книга вряд ли увидела бы свет без финансирования Норвежской ассоциацией писателей и переводчиков документальной прозы. Спасибо вам за поощрение популяризации науки. Огромное спасибо моему брату Ларсу Бьерке, а еще Эллен Метте Бернтсен и Тронду Эйднесу за неоценимый вклад в первые наброски сценария. Вы сделали эту книгу лучше. Спасибо Николасу Гренебуму за нелишнюю помощь и глупые шутки. Бару Polag за помощь в организации приятных перерывов. Редактор Кристин Лиллетведт Стрем и профессиональный консультант Ойстейн Элгарой внесли немало полезных комментариев и исправлений. За все оставшиеся в книге ошибки несу ответственность исключительно я.

Теперь полагается сказать, что работа над книгой не мешала моей семье. Но это было бы ложью. Большое спасибо за вашу поддержку и огромное терпение! Я люблю вас.

# БОЛЬШАЯ НЕВИДИМАЯ ВСЕЛЕННАЯ

*Стоя в темноте, я вижу свет на расстоянии.  
Так холодно, что жду тепла от звезд мерцания.*

ЯН ТЕЙГЕН. Оптимист

Поздняя осень, ясная погода, ночь. Вы высоко в горах. Назойливые огни города слишком далеко, а Луну не видно за горизонтом. Свет исходит лишь от звезд над вами — нескольких тысяч крошечных светящихся точек. Их свет слишком слабенький — даже зубную щетку не разглядеть, и кажется, что слова Яна Тейгена о тепле звезд на самом деле бессмысленны. Но не давайте этому скромному свету вас обмануть. Вы ведь знаете, что эти точки — далекие солнца, а многие из них еще и гораздо больше нашего. Да и Солнце совсем не маленькое: в него поместился бы миллион таких планет, как Земля, а его поверхность раскалена до нескольких тысяч градусов.

На востоке низко над горизонтом вы заметите созвездие Орион. Звезда на плече Ориона — Бетельгейзе — выделяется ярким красным свечением. Звезды типа Бетельгейзе называются красными сверхгигантами. Она настолько огромна, что вместила бы три миллиарда наших солнц. Но, несмотря на невероятные размеры, из-за большого расстояния не стоит ждать от Бетельгейзе тепла.

За Бетельгейзе и другими звездами можно разглядеть белую туманную полосу, растянувшуюся по небу, — Млечный Путь (см. рис. 1 на цв. вклейке). Если хорошенько взглядеться, то заметно, что эта полоса тоже состоит из мириад звезд, которые так слабо светят и расположены настолько близко друг к другу, что их невозможно различить невооруженным взглядом. Мы и все одиночные звезды, видимые нам, — это часть Млечного Пути.

Во Вселенной много других галактик. Очень много. В каждой галактике мириады звезд. Тут трудно не восхититься — и вот вы уже занимаете свое место в ряду восхищенных наблюдателей за звездами, а начало этой вереницы было положено еще при зарождении человечества. Если не раньше. Но вы, в отличие от ваших любующихся звездами предшественников, живете во время, когда мы действительно начали понимать, на что смотрим: размеры, движение и хронологические рамки постепенно встают на свое место. К тому же в последние десятилетия наши знания о Вселенной значительно расширились.

Тем не менее головоломка Вселенной содержит в себе множество вопросительных знаков. Наверное, два самых важных неотвеченных вопроса — это что скрывается за причудливыми субстанциями, которые мы называем «темная энергия» и «темная материя». Мы полагаем, что Вселенная на 95 процентов состоит из них. И в то же время никто сегодня не способен ответить, чем же являются эти неведомые, даже забавные составляющие. Но что-то мы все же знаем. Например, что как темная материя, так и темная энергия незримы. Свет они не излучают и не отражают, оставаясь прозрачными, будто только что помытое окно. А еще их во Вселенной огромное количество. Возникает все больше вопросов. Если темная энергия и темная материя незримы, откуда мы вообще знаем, что они существуют? И в таком случае

где они? А на Земле есть темная материя и темная энергия? И что же такое на самом деле темная материя и темная энергия?

Может, вы уже настроены недоверчиво? На это у вас имеются все основания. Утверждать существование невидимого вещества с научно-фантастичным названием — заявление смелое. А смелые заявления требуют надежных доказательств<sup>2</sup>. В этой книге мы обсудим, почему темная материя и темная энергия необходимы для понимания Вселенной, в которой мы живем, и почему их должно быть настолько много. Мы также попробуем понять, чем являются темная материя и темная энергия. И хотя пока мы не знаем, что такое темная материя и темная энергия, нам известно многое о возможных свойствах этих субстанций. Это дает нам возможность спекулировать, фантазировать и выдвигать обоснованные фактами догадки. Более того, мы посмотрим, каким образом в ближайшие годы нам все же может стать известно больше о природе темной материи и энергии. В погоне за ними мы отправимся в путешествие по Вселенной, за пределы Солнечной системы и нашей Галактики. А еще вернемся в прошлое, к самому рождению Вселенной. И обратно. Мы погрузимся в микроскопический квантовый мир. Поближе познакомимся с силой тяжести, светом, физической составляющей невидимости, взрывающимися звездами-гигантами, сталкивающимися галактическими комками, сверхчувствительными детекторами в глубоких шахтах, гениальными учеными, сферическими ублюдками и судьбой Вселенной. И все это — в попытке понять огромную Вселенную, которая смотрит на нас холодными осенними ночами.

## НЕВИДИМЫЕ ЯБЛОКИ НЬЮТОНА

Начнем с небольшого вступления, посвященного понятиям темной материи и темной энергии. Для этого мы прокрадемся

в английский яблоневый сад одного из величайших физиков в истории.

Вы узнаете его по парика-облаку с завитками, белым чулкам и одержимости алхимией и мистицизмом. Но прежде всего британец Исаак Ньютон (1642/43–1727) был величайшим на свете математиком и физиком. Он, например, открыл закон всемирного тяготения, согласно которому сила, притягивающая нас к Земле, — это та же сила, что заставляет Луну обращаться вокруг Земли, а Землю — вокруг Солнца. Сила тяжести играет ключевую роль в охоте на темную материю и темную энергию.

Вы же слышали историю про Ньютона и яблоко? Про то, как сила тяжести сама открылась ученому, когда тот сидел под деревом и яблоко упало ему на голову? Этот миф, конечно, слишком хорош, красив и прост, чтобы быть правдой. Но Исаак Ньютон, несомненно, проводил много времени в яблоневом саду, да и сам, можно сказать, всячески поддерживал эту версию. Друг Ньютона и его первый биограф Уильям Стьюкли впоследствии так описывает одну из встреч с ученым: «...Мы прогуливались в саду и пили чай в тени яблони, только он и я. Он упомянул, что в такой же обстановке задумался и о понятии гравитации. “Почему яблоки всегда падают перпендикулярно земле?” — пришло ему как-то в голову, когда прямо перед ним упало яблоко»<sup>3</sup>.

Здесь Ньютон сам упоминает яблоко, хотя на голову ему ничего не падало, разве что в переносном смысле. С яблоком или без, Ньютон обращает внимание на важную характеристику яблок или любой другой материи: они падают вниз — прямо вниз. Но почему? Вот что рассказывает Стьюкли: «...наверняка их притягивает Земля. Должно быть, в материи есть какая-то притягивающая сила». Таким образом, если материя притягивает материю, то это должно быть пропорционально множеству. Следовательно, яблоко притягивается к Земле так же, как Земля притягивается к яблоку.

Земля притягивает яблоко, а яблоко — Землю. Чем больше масса, тем сильнее притяжение. Впрочем, проведем сначала небольшой мысленный эксперимент. Представим, что яблоко состояло из темной материи. Что бы тогда увидел Ньютон?

Ну, во-первых, яблоко из темной материи было бы невидимым. Ну ладно, представим ради эксперимента, что Ньютон вытащил из белых кудрей своего парика волшебные очки от невидимости. Что бы он увидел? Уж точно ничего похожего на яблоко. Обычное яблоко связывает в себе атомы и молекулы, они составляют его, склеиваются друг с другом, образуя форму яблока. У темной материи формы нет. Если бы нам удалось создать комочек темной материи, как яблоко например, то это яблоко сразу же потеряло бы форму из-за разлетающихся, разбегающихся, как школьники в парке развлечений, частиц. Странное дело, да.

Но что, если нам все же удалось бы сохранить форму яблока из темной материи? Что произошло бы? Яблоко бы упало на землю благодаря силе тяжести точно так же, как и обычное яблоко! Так что, хотя темная материя невидима и у нее нет формы, это все же материя, а значит, у нее есть масса и она сколько-то да весит. И если темная материя сколько-то да весит, она может притягивать другую материю и притягиваться сама, следуя все тому же закону всемирного тяготения, что и обычные яблоки.

Таким образом, яблоко из темной материи упадет на землю. Наш друг Ньютон в белых чулках и волшебных очках от невидимости наблюдает, ничуть не удивляясь, как падает яблоко. А потом ученого ждет сюрприз: достигнув земли, яблоко не останавливается, в отличие от обычного, а продолжает стремиться вниз, к центру Земли. Озадаченный ученый долго сидит и почесывает одетую в парик голову. Но вот через полтора часа<sup>4</sup> после исчезновения яблоко появляется снова. Оно выпрыгивает в воздух из земли. Однако сила тяжести затормаживает яблоко, и вскоре

оно поворачивает обратно к земле. И таким образом яблоко из темной материи продолжает с определенной периодичностью исчезать и появляться перед Ньютоном. Каждый раз перед тем, как выскочить из-под земли в саду Ньютона, оно доходит до центра Земли и выныривает с другой стороны.

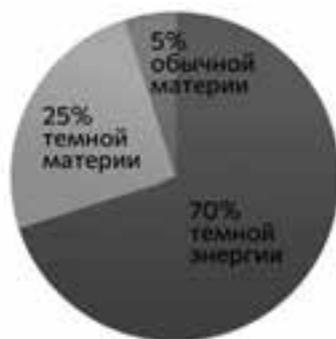


*Ньютон в очках от невидимости с удивлением наблюдает, как яблоко из темной материи возвращается обратно, совершив путешествие сквозь Землю. Иллюстрация: Herb.*

Этот эксперимент иллюстрирует ключевые характеристики темной материи:

1. Темная материя невидима.
2. Темная материя не имеет формы.
3. У темной материи есть масса, и благодаря силе тяжести темная материя подвергается такому же влиянию, как и обычная материя.
4. Темная материя не сталкивается ни с обычной материей, ни с другими темными материями.

И этого невидимого, неосязаемого вещества во Вселенной очень много. Так много, что на каждый килограмм обычной материи приходится пять килограммов темной материи. Однако видимая и темная материя вместе составляют лишь 30 процентов нашей Вселенной: пять процентов — обычная материя и 25 процентов — темная материя. Остальные 70 процентов составляет то, что мы называем темной энергией. Что же это такое?



*Содержание Вселенной. Все, что мы видим, относится к узкому кусочку пирога с обычной материей.*

Мы возвращаемся назад в яблоневый сад, но пусть на этот раз яблоко состоит из темной энергии. Что произойдет тогда? Яблоко опять было бы невидимым, и, подобно яблоку из темной материи, яблоко из темной энергии не имело бы формы и не сталкивалось бы с обычной материей. А вот что с силой тяжести? Упало бы яблоко из темной энергии вниз так же, как яблоко из темной материи? Нет. Яблоко бы упало, но вверх.

Для темной энергии характерна отталкивающая гравитация. То, что гравитация может быть как отталкивающей, так и притягивающей, — факт не очень широко известный. Большинство

# ССЫЛКИ И КОММЕНТАРИИ

- 1 Хьелль Аскильдсен. Et liv, Alf van der Hagen, Oktober (2014). (Здесь и далее, кроме особо оговоренных случаев, прим. автора.)
- 2 Фраза Extraordinary claims require extraordinary evidence стала известна благодаря астроному и популяризатору Карлу Сагану, но, вероятно, первоначально ее сказал социолог и скептик Марсело Труцци ([https://en.wikipedia.org/wiki/Marcello\\_Truzzi#.22Extraordinary\\_claims.22](https://en.wikipedia.org/wiki/Marcello_Truzzi#.22Extraordinary_claims.22)).
- 3 Из воспоминаний о жизни сэра Исаака Ньютона, У. Стьюкли (1752 г.). Мой перевод.
- 4 Согласно последним данным, это происходит примерно через 70 минут. (Прим. науч. ред.)
- 5 Изображение основано на данных из следующей революционной статьи, где впервые вычисляется распределение массы на основе гравитационного линзирования: «A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter», D. Clowe m. fl. Astrophysical Journal, Vol. 648 (2006) (<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0608407>).
- 6 Cours de philosophie positive, Auguste Comte (1835.) Мой перевод основывается на переводе с французского Джона Хершоу в статье «Auguste Comte’s blunder: An account of the first century of stellar spectroscopy and how it took one hundred years to prove that Comte was wrong», Journal of Astronomical History and Heritage (2010) (<http://www.narit.or.th/en/files/2010JAHNvol13/2010JAHN...13...90H.pdf>).



*Рисунок 2. Скопление галактик Пуля (Bullet Cluster) иллюстрирует столкновение двух скоплений галактик. Розовые участки показывают рентгеновское излучение от обычной материи. Синие участки показывают распределение массы, основываясь на гравитационном линзировании галактик.*

*Рентгеновские наблюдения: NASA/CXC/CfA/M. Markevitch и т. д.*

*Гравитационное линзирование: NASA/STScI; ESO WFI; Magellan/U. Arizona/ D.Clowe и т. д.*

*Изображение видимого света: NASA/STScI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe и т. д.*