

БИБЛИОТЕКА ВУНДЕРКИНДА • НАУЧНЫЕ СКАЗКИ



ИСТОРИИ О НЕРАЗГАДАННЫХ НАУЧНЫХ ТАЙНАХ

Библиотека вундеркинда

Николай Горькавый
Неоткрытые миры

«АСТ»

2018

УДК 821.161.1
ББК 84(2Рос=Рус)6

Горькавый Н. Н.

Неоткрытые миры / Н. Н. Горькавый — «АСТ»,
2018 — (Библиотека вундеркинда)

ISBN 978-5-17-109565-9

Эта книга научных историй особенная, она — не об ответах, а о вопросах. Она рассказывает не столько про достижения науки, сколько про нерешённые научные проблемы, про несозданные теории и неизвестные законы природы — другими словами, про ещё не открытые острова в науке. Если юный читатель хочет заняться изучением чудес космоса, исследованием динозавров или расшифровкой таинственных рукописей, то ему непременно надо прочитать эту книгу, которая может стать картой на пути к terra incognita и к разгадкам увлекательных тайн, которые нас окружают.

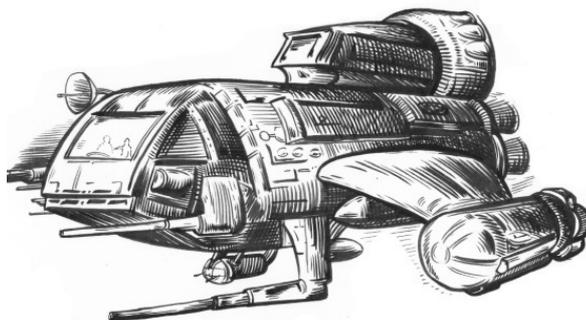
УДК 821.161.1
ББК 84(2Рос=Рус)6

ISBN 978-5-17-109565-9

© Горькавый Н. Н., 2018
© АСТ, 2018

Содержание

Предисловие	6
Сказка о Гигантской Черепахе и Большом Взрыве	7
Сказка о тёмной материи тёмного космоса	17
Сложная сказка о простых частицах	24
Конец ознакомительного фрагмента.	34



Ник. Горькавый

Неоткрытые миры

Посвящается внуку Лёвушке с пожеланием, чтобы он когда-нибудь отправился в путешествие к этим неоткрытым мирам

Москва

Издательство АСТ

Серия «Библиотека вундеркинда» Дизайн обложки Юлии Межовой Иллюстрации Кирилла Гарина

Горькавый, Ник.

Автор искренне благодарит друзей-учёных, которые внимательно прочитали данную книгу и избавили её от многих ошибок.

Научные консультанты:

Александр Павлович **Васильков**, кандидат физико-математических наук

Александр Юрьевич **Исупов**, кандидат физико-математических наук

Андрей Вилхович **Каява**, кандидат биологических наук

Юрген **Рюдигер**, заведующий лабораторией приёмников рентгеновского излучения Российского научного центра рентгенорадиологии

Евгений Леонидович **Ченцов**, доктор физико-математических наук, астроном

Предисловие

В XV веке на планете Земля началась эпоха великих географических открытий: Васко да Гама обогнул Африку и нашёл новый путь из Европы в Индию, Христофор Колумб открыл для европейцев Америку, а Фернан Магеллан совершил первое кругосветное путешествие, найдя проход из Атлантики в Тихий океан вокруг Южной Америки. Этот пролив назван в честь Магеллана, а именем Колумба названа гора высотой 5775 метров и страна Колумбия. В XVII веке мореплавателями был обнаружен континент Австралия и открыты крупные острова Новой Зеландии. Эпоха великих открытий в истории земной цивилизации закончилась, когда в 1820 году русская экспедиция Беллинсгаузена и Лазарева высадилась на ледник Антарктиды, последнего неоткрытого континента нашей планеты, скрытого толстым ледовым панцирем.

В современную эпоху спутниковых фотографий на нашей планете невозможно открыть даже маленький остров, а безымянными остались только второстепенные горные вершины. Неужели романтическая пора великих географических открытий безвозвратно ушла в прошлое? Конечно, нет. Вторая, и гораздо более грандиозная, эпоха географических открытий только начинается. Новые открытия сейчас совершаются не на Земле, а на Луне, Марсе, Плутоне и других планетах, спутниках и астероидах Солнечной системы. Смело можно сказать, что будущих разведчиков космоса ждёт миллион неизученных планет и других космических тел, вращающихся вокруг нашего Солнца.

Если вы, читатель, станете успешным исследователем других планет, то вполне возможно, что вашим именем назовут горный хребет или даже целый материк на другой планете.

Ещё более грандиозные открытия сулят нам звёзды нашей Галактики, возле которых кружится множество поразительно разных планет – от крохотных до огромных, от раскалённых до замороженных, от быстро вращающихся до заторможенных и повёрнутых одной стороной к светилу, от лишённых газовой оболочки до покрытых густыми облаками. Крупные луны планет-гигантов тоже могут обладать плотной атмосферой и поддерживать жизнь на своей поверхности. По оценкам учёных, среди планет Млечного Пути миллиарды планет похожи по физическим условиям на Землю.

Но открытия совершаются не только на Земле или в космосе. Целые неисследованные острова и даже континенты ждут своих исследователей в микромире, внутри живых клеток и среди математических уравнений: другими словами, в мире науки, где умещается всё – от малюсеньких кварков до гигантской Вселенной.

Предыдущие книги «научных сказок» рассказывали о великих учёных и инженерах, которые своими выдающимися достижениями помогли создать нашу цивилизацию. Эта книга – особенная. Она о вас, дорогие читатели: ведь она рассказывает не о достижениях, а о нерешённых проблемах в науке и технике. Ведь именно вам, если вы станете учёными или исследователями, предстоит заняться их решением.

В учебниках написано о том, что уже известно. Нет учебника, который бы рассказывал о ещё не открытом. А ведь каждого, кто хочет стать исследователем, интересует: какие дороги в этом мире неизвестного обещают быть самыми интересными? На этот вопрос ответить в двух словах трудно. Проще всего было написать об этом книгу – ту самую, которую вы сейчас держите в руках. Эта книга – своеобразная карта белых пятен, которых множество в мире науки, карта неизвестного, которое нас окружает, – конечно, очень приближённая. Похожая на ту, что была у Колумба, плывущего в ещё не открытый Новый Свет.

– Тогда это будет самая интересная из всех книжек! – уверенно заявила Галатея.

– Вне всякого сомнения. Удачи вам, первооткрыватели!

Сказка о Гигантской Черепахе и Большом Взрыве

Дзинтара была биологом по профессии и принцессой по происхождению. Такие особенные принцессы-учёные очень редко, но встречаются. И сказки на ночь своим детям – младшей Галатее и Андрею постарше – Дзинтара читала по сборнику особенных, научных, сказок. Но сегодня сказку детям рассказывала Никки, давняя подруга принцессы Дзинтары, приехавшая к ней в гости.

Она начала свою историю так:

– Жила-была Гигантская Черепаха. Жизнь её была похожа на жизнь других черепах, только была гораздо длиннее. Черепаха медленно жевала, мечтала и видела черепаховые сны. Но однажды она проснулась от неожиданной тяжести на спине.

– В чём дело? – недовольно спросила Гигантская Черепаха, покрутив головой на морщинистой шее, но разглядеть непонятный груз на панцире ей не удалось. Тогда она позвала своего друга Кита, чтобы он посмотрел, что там такое. Кит осмотрел спину Гигантской Черепахи, поговорил со знакомыми дельфинами-интеллектуалами и выяснил, что случилось.

Оказывается, люди всегда искали ответ на два вопроса:

Как была создана Вселенная?

Как она устроена?

Для ответа на первый вопрос древние люди придумали Творца – всемогущее существо, которое сотворило этот мир из подручных материалов. У каждого народа было своё представление о Творце и о сырье, которое он использовал для создания мира, но идея Творца была неизменным элементом мировоззрения людей на протяжении тысячелетий.

Ответ на второй вопрос – о строении мира – менялся от века к веку. Люди раннего Средневековья часто представляли себе мир в виде плоского блина суши, накрытого хрустальным куполом небес с дырочками-звёздами. На чём стоял этот блин? Ответов было немало. Кто-то считал, что он плавал в океане, кто-то – что он покоился на спинах трёх слонов. На чём же стояли эти слоны? Возникла идея, что слоны стояли на спине черепахи-гиганта. Что может быть прочнее и надёжнее, чем твёрдый панцирь исполинской морской черепахи? – решили люди, ещё не знавшие паровых машин и электричества. Вот так и получилось, что в один прекрасный день Гигантская Черепаха проснулась от неожиданного груза на спине.

– Что же мне делать? – спросила совета Черепаха у своего друга Кита, который чаще общался с людьми и был в курсе их научного прогресса, особенно в области гарпунов. Кит был, по сравнению с Гигантской Черепахой, крошечным по размеру, зато очень начитанным, поэтому он любил выражаться витиевато, иронически посмеиваясь в китовые усы.



– Все мы несём тяжкое бремя общения с людьми, – хмыкнул Кит, потирая плавником старый шрам на боку. – Они просто добрались до тебя позже, чем до нас. Лошади таскают для них повозки, тебя они заставили таскать на себе их нелепые представления о Вселенной.

– Что же мне делать? – тревожно переспросила Черепаха.

– Ждать, – сказал Кит и зачерпнул старой лодкой, которую он использовал в качестве ложки, полтонны вкусного криля. – Лошади тоже терпеливо ждут изобретения паровоза, который будет возить самые тяжёлые грузы. Как только люди придумают теорию строения Вселенной, которой не нужны подпорки в виде старой черепахи, тогда ты избавишься от этой тяжести.

Черепаха почувствовала обиду от слова «старая». Она считала себя вполне юной черепахой, шесть тысяч лет – не возраст.

– А когда они придумают эту самую теорию?

– Не знаю, – развел потрёпанными плавниками Кит и принялся глотать криль, отчего его речь стала невнятной. – Спроси об этом Николая Коперника, он сейчас главный эксперт по космосу.

– Сколько мне таскать на себе эту увесистую оранжерею под стеклянным колпаком? – спросила Черепаха у Коперника.

– Да, плоский мир – это тяжёлое заблуждение, – кивнул Николай Коперник. – Обычные люди думают, что земля огромна – в любую сторону можно скакать неделями, – а Солнце размером меньше кулака на вытянутой руке. На самом деле наша планета – сравнительно маленький шар, который вообще ни на чём не стоит, а вращается вокруг своей оси и, как и все остальные планеты, летит в космосе вокруг огромного сияющего Солнца. А вокруг нашей Солнечной системы расположена хрустальная сфера звёзд.

– Но сама хрустальная сфера – на чём она стоит? – с тревожным предчувствием спросила Черепаха Коперника. Тот развёл руками:

– Не знаю.

– Зато я знаю, на чём, вернее, на ком она держится, – ворчала Черепаха, готовясь ко сну и ощущая на спине увеличившуюся тяжесть купола звёзд, уже не полусферы над Землей,

а сферы вокруг Солнечной системы. – Может, этот Николай очень умный, но пользы мне от этого никакой.

Прошло какое-то время, и друг Кит приплыл с новой вестью.

– В мире появился новый мудрец, Иммануил Кант. Такое умное говорит, что никто его не понимает.

– Мне и не нужно его понимать, пусть он заберёт эту штуковину с моей спины.

Кант увлечённо принялся объяснять Черепахе:

– Нынешние телескопы обнаруживают в космосе множество туманностей, похожих на наш Млечный Путь. Значит, Вселенная – это огромное пространство, в котором расположены мириады звёзд, собранных в галактики – млечные пути. Я полагаю также, что наша Вселенная не стационарна, она эволюционирует и меняется.

– Но на чём держится Вселенная, полная звёзд и туманностей? – спросила Черепаха.

– Это очень сложный вопрос, но в Гигантскую Черепаху, на которой покоится мир, уже никто не верит! – рассмеялся учёный.

Черепаха подумала с обидой: «Ну и пожалуйста. Раз вы во мне больше не нуждаетесь, то сделайте нормальную теорию Вселенной, чтобы она держалась сама по себе, а не вцепившись в мою усталую спину. Тогда я смогу отдохнуть».

И она поплелась домой, чувствуя на спине увеличившуюся тяжесть Вселенной: столько туманностей, не шутка!

Стоило неспешной Черепахе совсем чуть-чуть отдохнуть, как Кит приплыл с новостью:

– Знакомые чайки донесли мне: у людей переполох. Вселенная разбегается в разные стороны! Оказывается, она имеет огромные размеры – в десяток миллиардов световых лет. Кант был прав: Вселенная не стационарна, в ней всё куда-то бежит. Весто Слайфер измерил это разбегание галактик, а Генриетта Ливитт нашла метод определения расстояния до соседних галактик. Потом Эдвин Хаббл показал, что чем дальше расположена галактика, тем быстрее она от нас убегает!

– Это хорошо или плохо? – спросила Черепаха. – Может Вселенная убежать не только от людей, но и улететь с моей спины?

– Вряд ли, потому что люди не знают, почему она начала разбегаться. А если чего-то важного не знаешь, то без помощи Черепахи не обойтись.

– Ну да, – иронически согласилась Черепаха, – на произвол судьбы Вселенную ведь не бросишь, особенно такую огромную. Лучше уж Черепахой подпереть.

– Твоя главная надежда – на теоретиков. Они конструируют модели Вселенной, и сейчас они стали гораздо умнее, чем раньше. Альберт Эйнштейн вывел уравнения гравитации, которым подчиняется Вселенная, а Александр Фридман и Жорж Леметр нашли решения этих уравнений, которые описывают разлетающуюся Вселенную. Леметр предложил своеобразную «атомную модель» Вселенной, возникшей при взрыве огромного нестабильного атомного ядра и расщепление его на мелкие обычные атомы...

Тут Черепаха от умственного переутомления задремала. Совсем на чуть-чуть, лет на пятьдесят. Проснувшись, она пошевелилась и почувствовала, что груз на спине никуда не делся.

– Как там дела у людей? – спросила она своего друга Кита.

– Там всё бурлит! – оживлённо ответил Кит. – Гарпуны и охоту на китов стали запрещать!

– Это хорошо, – сказала Гигантская Черепаха. – А с этой... космологией-то у них как?

Кит немного напрягся, что-то вспоминая, потом выпалил:

– Современный этап характеризуется активной полемикой между двумя точками зрения на нестационарную Вселенную: концепция одноразовой Вселенной против концепции много-разовой, циклической Вселенной. Обе концепции содержались в новаторской работе Александра Фридмана, опубликованной в 1922 году. Циклические модели были детально рассмот-

рены Ричардом Толменом в тридцатых годах. Он обратил внимание, что энтропия – мера беспорядка – должна расти согласно второму закону термодинамики. Значит, энтропия должна повышаться от цикла к циклу, что делает Вселенную не совсем периодической.

– Какой-то пассажир лайнера уронил в воду популярный журнал? – догадалась Гигантская Черепаха.

– Ага, – немного покраснел Кит и продолжил: – В 1948 году Георгий Гамов со своими учениками предложил своеобразную «термоядерную» модель Вселенной, по которой циклическая Вселенная предыдущего цикла сжалась до компактного и очень горячего состояния, в котором существовали только протоны, нейтроны, электроны и гамма-кванты. Этот горячий плотный газ из элементарных частиц Гамов назвал «улемом» – первичным веществом Вселенной. Все более тяжёлые ядра химических элементов, созданные в звёздах прошлого цикла, развалились в сжатой Вселенной с температурой в многие миллиарды градусов. Когда Вселенная начала расширяться, «улем» стал остывать, и термоядерные реакции между протонами и нейтронами привели к созданию ядер гелия и дейтерия – тяжёлого водорода. Группа Гамова рассматривала Большой Взрыв как упругий Большой Отскок Вселенной, сжавшейся до размера около светового года.

– Это что такое – световой год? – спросила озадаченная Черепаха.

– Глубоководная рыба-удильщик привлекает добычу с помощью своего фонарика. Световой год – это такое расстояние между прожорливым удильщиком и его едой, которое свет фонарика преодолевает целый год.

– Что ж он так далеко уплыл-то от еды? – расстроилась Черепаха. – Помрёт с голоду, бедняга.

Кит продолжил цитирование популярного журнала:

– Хотя Гамов и его ученики не смогли указать на физический механизм такого отскока Вселенной, они предсказали реликтовое излучение, которое должно было остаться от когда-то горячей Вселенной, и верно оценили его температуру в несколько градусов Кельвина.

Когда Пензиас и Вильсон в 1965 году открыли реликтовое излучение с температурой около трёх градусов Кельвина, то космолог Роберт Дикке и учёные его группы, интерпретируя открытие Пензиаса и Вильсона и склоняясь к цикличности многоцветной Вселенной, повторили гипотезу Гамова и его группы о том, что в результате предыдущего сжатия Вселенной образовался коллапсирующий огненный шар, превративший все химические элементы снова в протоны, а потом по какой-то причине сменивший сжатие на расширение. Свечение этого огненного шара со временем остыло и превратилось в нынешнее реликтовое излучение. К сожалению, группа Дикке не указала в публикации, что группа Гамова уже давно вычислила температуру реликтового излучения, и это нанесло серьёзный ущерб научной репутации команды Дикке.

Представление о том, что Вселенная в момент сжатия была компактным, но вовсе не микроскопическим объектом, без особых изменений просуществовало около двух десятков лет. По оценке нобелевского лауреата Стивена Вайнберга, сделанной в 1976 году, Вселенная при сжатии могла иметь минимальный размер около светового года.

– Это же сколько будет в километрах? – спросила медленно соображающая Черепаха.

– В году 30 миллионов секунд. Их надо умножить на скорость света – 300 тысяч километров в секунду. Получится десять триллионов километров.

– Ой, много. Значит, сторонники циклической Вселенной скоро построят хорошую космологическую модель и мои мучения закончатся?

– Э-э... не хочется тебя зря обнадёживать. Сторонники циклической Вселенной до сих пор не знают, что привело сжимающуюся Вселенную к отскоку. Они предложили несколько вариантов, вроде несимметричного коллапса, но позже эти варианты были опровергнуты вычислениями и математическими теоремами.

– Может, мне ещё немножко поспать? – призадумалась Гигантская Черепаха.

Пока она не спеша размышляла над этой привлекательной идеей, Кит снова примчался с новостями:

– Сторонники одноразовой модели побеждают! Смотри, что я стащил с яхты одного богача.

И Кит показал Черепахе радиоприёмник, откуда лился уверенный голос:

– В 1981 году Алан Гус предложил принципиально новую инфляционную космологию Вселенной, которая базируется на трёх китах... Во-первых, Вселенная в момент рождения была микроскопической по размерам и подчинялась квантовым законам. Во-вторых, в начале своей эволюции Вселенная расширялась с сильным ускорением, вызванным новым отталкивающим полем «инфлантоном», которое увеличило размер Вселенной в гигантское число раз за ничтожную долю секунды...

– В какое число раз и за какую долю секунды? – переспросила Черепаха.

– Голос это в начале говорил, но я не запомнил, – застенчиво признался Кит. – Но очень во много раз и за очень крошечную долю секунды.

– Боюсь, попортят они мой панцирь своим инфлантоном, – обеспокоилась Черепаха. – Больно уж он взрывучий. А что тебя заинтересовало в этой передаче?

Кит в смущении погладил поседевший ус и сказал:

– Там говорится о трёх космологических китах. Может, мне удастся устроиться четвёртым, хоть на полставки?

– А третий-то кит какой?

– Он какой-то самый тёмный...

Голос из приёмника продолжал:

– ...В-третьих, когда в 1998 году выяснилось, что Вселенная до сих пор расширяется со значительным ускорением, то теорию инфляции пришлось расширить и включить в неё ещё одну сущность: новое физическое поле или среду, которую принято называть «тёмной энергией». Предположительно она тоже носит квантовый характер, но никто пока не смог вычислить значение этой ускоряющей силы из первых квантовых принципов. Отметим, что значительная часть массы современной Вселенной содержится в «тёмной материи» неизвестной природы. Следуя общепринятой квантово-космологической парадигме, «тёмную материю» обычно тоже считают квантовым феноменом в виде большого количества элементарных частиц – аксионов или вимпов.

– О чём он говорит? Я не понимаю, – пожаловалась Черепаха своему приятелю Киту.

– Твоей спине стало легче?

– Нет.

– Ну и зачем тебе тогда понимать, о чём они говорят?

– Тоже верно, – вздохнула Черепаха. – Но как-то это всё мутно.

– Космологические модели менялись уже много раз. Может быть, этот инфляционно-аксионный криль тоже не всем придётся по вкусу! – засмеялся Кит.

Кит как в воду смотрел. Десятки лет экспериментаторы безуспешно разыскивали загадочные элементарные частицы, которые могли бы объяснить феномен «тёмной материи», а теоретики делали бесчисленные неудачные попытки вывести «тёмную энергию» из существующей квантовой теории.

В конце концов, после более чем тридцатилетнего господства теории инфляции в космологии, некоторые видные учёные стали громко выражать своё недовольство этой теорией, утверждая, что она неудовлетворительна, потому что вводит слишком много предположений в виде гипотетических субстанций «инфлантона», «тёмной энергии» и неизвестных ранее эффектов, вроде всемирного «фазового перехода». При этом, чтобы получить наблюдаемую ныне Вселенную, требовалось задать начальные значения её расширения с невероятной точ-

ностью. Ничтожное отклонение – и нынешняя Вселенная исчезнет. Пауль Стейнхард, Эйнштейновский профессор Принстонского университета (то есть он занимает место Эйнштейна) и директор Принстонского института теоретических исследований, в 2014 году написал в главном научном журнале Nature статью против теории инфляции. Он отметил, что теория инфляции содержит такое количество свободных параметров, что их подгонкой задним числом может объяснить любой эксперимент. По сути, её невозможно опровергнуть путем наблюдений! Стейнхардт заявил: «Инфляционная парадигма фундаментально непроверяема и, таким образом, научно бессмысленна».

– А почему профессор беспокоится не о проверяемости, а о непроверяемости теории? – спросил Андрей. Никки ответила:

– Философ науки Карл Поппер сформулировал принцип, согласно которому теория является научной, если существует принципиальная возможность её опровержения путём постановки того или иного эксперимента, даже если такой эксперимент ещё не поставлен. Если теорию нельзя опровергнуть даже в принципе, то она не является научной. Но инфляционисты считают, что принцип Поппера не применим к их теориям, а некоторые из них полагают, что принцип непрременной экспериментальной проверки современных теорий устарел и не может служить руководством в работе теоретиков.

В 2017 году молодая сотрудница Принстонского университета Анна Иджас, а также Стейнхард, который является одним из отцов инфляционной теории, и профессор Абрахам Лоеб, глава кафедры астрономии Гарварда и директор Института теории и вычислений Гарвардско-Смитсоновского астрофизического центра, резко выступили против теории инфляции в популярном журнале «Сайентифик Американ». Они снова указали на то, что у теории инфляции имеются бесконечные возможности объяснить всё, что угодно, а «теория, которая может предсказать всё, что угодно, ничего не предсказывает». Гипотетические сущности вроде «инфлантона» и «тёмной энергии», на которых базируется теория инфляции, так и не нашли никакого подтверждения. Кроме того, в рамках теории инфляции появилась концепция мультивселенной, согласно которой существует не одна, а множество (например, по одним из многих расчетов, 10 в степени 500) вселенных.

– Это сколько? – не поняла Галатея.

– Ну... миллион – это 10 в степени 6 , то есть десятка, умноженная на десятку, – и так шесть раз. Миллион миллионов – это 10 в степени 12 . Если сказать фразу «миллион миллионов миллионов...», где слово миллион повторится восемьдесят три раза, то мы получим представление о количестве вселенных, которое даёт теория инфляции.

– Ничего не поняла, – вздохнула Галатея, – Но продолжай, пожалуйста.

– Эти вселенные не соприкасаются и не сообщаются друг с другом, но их фантастическое количество позволяет если не решить, то как-то обойти проблему тонкой подгонки начальных параметров Вселенной. Действительно, если вселенных так много, то почему хотя бы одной из них не иметь параметров, благоприятных для возникновения разумной жизни? Именно в такой комфортной Вселенной возникнут учёные, которые зададутся вопросом о строении мира. Трое упомянутых критиков характеризуют концепцию «мультивселенной» как «мультибеспорядок» (в самом мягком переводе, хотя подходит и выражение «мультикошмар») и считают эту концепцию, наряду с тонкой подгонкой начальных параметров, фатальным недостатком теории инфляции.

В ответ на эту критику четверо учёных-инфляционистов опубликовали письмо, под которым собрали ещё три десятка подписей видных учёных. В числе прочих аргументов инфляционисты привели и такой: в теории инфляции работает девять тысяч учёных, написавших четырнадцать тысяч статей. Неужели это может быть не наукой?

Питер Войт, математик из Колумбийского университета, известный своей борьбой против теории струн, вступил в дискуссию на стороне антиинфляционистов. Он считает, что нача-

лась уже не научная, а политическая борьба. Войт так высказался о научности концепции мультиселенной: «Смех в том, что большинство учёных, с которыми я когда-либо говорил об этом, не думают, что претензии на мультиселенную являются наукой, но не видят причин тратить своё время на споры с псевдонаукой. Она просто исчезнет сама по себе, так как со временем становится всё яснее, что мультиселенная, с научной точки зрения, – пустая идея. К сожалению, я не вижу, как эта идея исчезает, и думаю, что она наносит очень серьёзный ущерб физике и её общественному имиджу. В настоящее время ведётся политическая кампания, и одна сторона очень решительно настроена на выигрыш и тратит на это много энергии. Другая сторона должна активизироваться и заставить себя услышать».

Так как трое критиков теории инфляции придерживаются мнения, что Большой Взрыв – это Большой Отскок, а Вселенная в своём минимальном размере не была квантовым объектом, то эту полезную дискуссию (а научные дискуссии все без исключения являются полезными) можно рассматривать как борьбу сторонников циклической Вселенной против модели одноразовой Вселенной.

– Одноразовая Вселенная – это как одноразовый памперс? – хихикнул Андрей. – Не очень престижный статус.

– Для объяснения отскока Вселенной группа Стейнхарда предложила мембранную модель, предполагающую введение нового пространственного измерения, но эта модель не является единственной или самой убедительной моделью циклической Вселенной. Например, есть космологическая модель Никодима Поплавского, где за отскок отвечает сверхвысокое давление, существующее в неэйнштейновской теории гравитации, а сама Вселенная пульсирует внутри огромной чёрной дыры.

– Чёрной дыры мне в панцире только не хватало, – проворчала Гигантская Черепаха, которая внимательно прислушивалась к обсуждению. – Особенно огромной.

– Многие учёные удивительным образом перестали видеть фундаментальную разницу между моделями, создаваемыми в рамках теории гравитации, и моделями, возникающими среди сотен неэйнштейновских подходов. На самом деле в космологии существует только одна проверенная теория – общая теория относительности Эйнштейна (все остальные – гипотезы), а в физике известны и экспериментально исследованы только четыре фундаментальных взаимодействия (гравитационное, сильное, слабое и электромагнитное). Следуя принципу Оккама, космологические модели нужно создавать на основе этих известных вещей и выходить за рамки известных теорий и экспериментальных фактов только в самом крайнем случае. Тем не менее ведущие физические журналы полны космологических статей, основанных на неэйнштейновских теориях, введении новых измерений и физических полей, ранее не известных науке.

К космологическим моделям, которые разрабатываются в рамках теории Эйнштейна, можно отнести модель с переменной гравитационной массой, в которой Большой Взрыв, или Большой Отскок, произошёл из-за быстрого уменьшения гравитационной массы коллапсирующей Вселенной, что породило сильную антигравитацию. Появились интересные статьи, в которых обсуждается идея, что из прошлого цикла Вселенной к нам проникли не только протоны, но и множество уцелевших чёрных дыр, которые и играют роль тёмной материи, а вокруг самых массивных из них формируются галактики.

В настоящий момент общепринятой и не вызывающей серьёзных возражений теоретической модели Вселенной не существует. Человечество вкладывает в решение космологических проблем миллиарды долларов, поэтому дискуссии вокруг тёмной энергии и тёмной материи вышли за рамки чисто академических. Научное сообщество совершает огромные усилия, публикуя ежегодно тысячи статей, связанных с тёмными сущностями; значительные суммы выделяются на космические проекты, наземные телескопы и подземные лаборатории, изучаю-

щие природу тёмной материи и тёмной энергии. Но число вопросов к моделям Вселенной не уменьшается, а только растёт:

1. Является ли Вселенная одноразовой расширяющейся структурой или циклической системой с периодами сжатия и расширения?
2. Каков был минимальный размер Вселенной?
3. Какова была температура и плотность Вселенной в момент максимального сжатия?
4. Какие объекты (например, чёрные дыры, барионы) прошлых космологических циклов могут уцелеть при сжатии Вселенной до минимального размера и попасть в современный цикл?
5. Почему произошёл Большой Взрыв? Существовало ли ускоренное расширение в начальный момент Большого Взрыва, и чем оно было вызвано?
6. Почему так однородна и изотропна была Вселенная при отделении излучения от материи, случившемся 380 тысяч лет после Большого Взрыва? Именно это реликтовое излучение наблюдают сейчас астрономы. С чем связаны глобальные и локальные отклонения реликтового излучения и других космологических параметров от однородности и изотропии?
7. Почему Вселенная расширяется с ускорением до сих пор? Какие силы обеспечивают современное ускорение? Как долго будет разлетаться Вселенная?
8. Тёмная материя – что это такое? Состоит ли она из физических объектов, и какова их природа? Или теория Эйнштейна нуждается в модификации?
9. Если Вселенная – циклическая система, то какая сила обеспечит изменение направления движения галактик – с разбегания на сближение?
10. Второй закон термодинамики гласит, что все процессы ведут к увеличению энтропии. Если Вселенная циклическа, то как решить проблему непрерывного роста энтропии в такой системе? Ведь если какой-то параметр во Вселенной непрерывно растёт, то о какой циклическости можно говорить?
11. Является ли наша Вселенная единственной, или существует множество Вселенных, которое предполагается концепцией мультивселенной?
12. Является ли Вселенная преимущественно квантовым объектом, или же она главным образом подчиняется общей теории относительности Эйнштейна?
13. Нужна ли для понимания Вселенной квантовая теория гравитации? Возможно ли в принципе построение такой теории?

Это «чёртова дюжина» самых главных космологических вопросов, которые остаются нерешёнными. И пока они не решены, Черепахе придётся подпирать модель Вселенной.

Всегда находятся учёные, считающие, что именно они построили самую верную модель Вселенной, но при детальном и объективном рассмотрении всегда обнаруживается, что эти теории всё ещё покоятся на прочном панцире Черепахи, правда, названия у этого панциря могут быть самые разные.

Истина заключается в том, что мы не нашли окончательных ответов на главные вопросы: «Как была создана Вселенная?» и «Как она устроена?» Более того, чем больше мы узнаём о Вселенной, тем больше вопросов у нас возникает. Поэтому космология остаётся одной из самых интересных и увлекательных наук, а Гигантской Черепахе придётся ещё немного потерпеть несовершенство наших знаний о Вселенной.

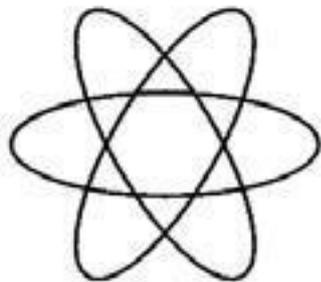
– Ладно, потерплю ещё, – сказала гигантская Черепаха, выслушав эту тираду. – Но только недолго!

Галатея спросила Никки:

– А что такое «недолго» для существа с возрастом в шесть тысяч лет?

– Хороший вопрос, – задумчиво ответила Никки. – И что будет, если гигантской Черепахе наконец надоест подпирать наши неуклюжие модели Вселенной?

Примечания для любопытных



Николай Коперник (1473–1543) – польский астроном, автор гелиоцентрической модели мира, сменившей старую геоцентрическую, в центре которой находилась Земля.

Иммануил Кант (1724–1804) – немецкий философ и астроном, который предположил нестационарность Вселенной, состоящей из огромного количества галактик, похожих на наш Млечный Путь.

Весто Слайфер (1875–1969) – американский астроном Лоуэлловской обсерватории, измеривший в 1907 году скорость движения галактики Туманность Андромеды, а в последующие годы – скорость десятков других галактик. Его работы стали основой современной наблюдательной космологии.

Генриетта Ливитт (1868–1921) – американский астроном Гарвардской обсерватории. В 1908 году показала, что у цефеид, нового класса переменных звёзд, период пульсаций связан с их светимостью. Эти звёзды позволили впервые измерить расстояния до других галактик.

Эдвин Хаббл (1889–1953) – американский астроном обсерватории Маунт-Вилсон. Измерил расстояние до Туманности Андромеды с помощью цефеид и показал, что скорость роста разбегания галактик растёт с увеличением расстояния до них (закон Хаббла).

Альберт Эйнштейн (1879–1954) – физик, нашедший уравнения современной теории гравитации, описывающей динамику Вселенной. Лауреат Нобелевской премии по физике (1921).

Александр Фридман (1888–1925) – физик и астроном, нашедший решения уравнения Эйнштейна, которые описывают нестационарную, в том числе и циклическую, Вселенную.

Жорж Леметр (1894–1966) – бельгийский астроном. Нашёл нестационарные решения уравнения Эйнштейна для Вселенной и выдвинул концепцию «атомного взрыва» огромного первичного атома, который и стал началом расширения Вселенной.

Ричард Толмен (1881–1948) – американский физик, автор известной книги «Относительность, термодинамика и космология» (1934), в которой обсуждаются изменения энтропии в циклической модели Вселенной.

Георгий Гамов (1904–1968) – физик и астроном, родившийся в России. Вместе с учениками выдвинул концепцию горячей циклической Вселенной и правильно предсказал наличие и уровень реликтового излучения.

Арно Пензиас (р. 1933) – американский астроном и сотрудник компании Белл, открывший реликтовое излучение в 1965 году и получивший за это Нобелевскую премию по физике за 1978 год.

Роберт Вильсон (р. 1936) – американский астроном и сотрудник компании Белл, открывший реликтовое излучение вместе с Пензиасом и разделивший с ним Нобелевскую премию (1978).

Роберт Дикке (1916–1997) – американский астроном и разработчик астрономических приборов. Член Национальной академии США.

Стивен Вайнберг (р. 1933) – американский физик и астроном. Лауреат Нобелевской премии по физике за 1979 год за работы по объединению электромагнитного и слабого взаимодействия.

Карл Поппер (1902–1994) – философ и социолог. Родился в Австрии, работал в Новой Зеландии и Англии. Один из самых влиятельных философов науки в XX веке. Рыцарь, член Лондонского королевского общества.

Сказка о тёмной материи тёмного космоса

Если человек живёт в большом городе, небосклон которого загромождён высокими зданиями, а вечера утопают в электрических огнях, то он редко видит звёзды и не интересуется ими. Поэтому так много астрономов вышло из пустынь, степей и прерий, великолепное звёздное небо которых пробирает даже самые чёрствые души. Жителям приморских городов тоже повезло: там морской горизонт ничем не загорожен и смыкается с космической бездной, от которой легко кружится юная голова.

В самом начале двадцатого века на берегу синего-синего моря, которое люди почему-то называют Чёрным, жил маленький мальчик. Он слышал вокруг болгарскую речь, потому что приморский городок был болгарским, чешскую – ведь его мать была чешкой, и немецкую – от отца, богатого швейцарского бизнесмена. Многоголосый мир, тёплое шумное море и холодные загадочные звёзды, весёлая мать и рассудительный отец, который ценил честность коммерсанта, – эмоциональное и рациональное слились в юном Фрице Цвикки в удивительный сплав, определивший его яркую жизнь и колоритный характер.

В шесть лет мальчика отправили для обучения коммерческому делу в небольшой швейцарский городок, к бабушке и дедушке. Но мальчик был уже очарован звёздами, он не уставал любоваться ими, когда они поднимались над швейцарскими заснеженными вершинами. Поэтому он решил изучать не коммерцию, а физику и математику – сначала в школе, а потом в Цюрихском политехническом институте – том самом, где учился сам Альберт Эйнштейн.

Мальчик вырос и превратился в молодого способного учёного. В 1925 году он получил стипендию и уехал в Америку, в Калифорнию, где располагался быстро растущий Калифорнийский технологический институт и обсерватории, Маунт-Вилсоновская и Паломарская. Здесь можно было увидеть звёздное небо так близко, как удавалось немногим из землян.

За следующие двенадцать лет Фриц Цвикки получил множество научных результатов, что поставило его в ряд величайших астрономов XX века. Но почти в каждом своём открытии он настолько опережал своё время, что коллеги категорически его не понимали. Поэтому Фриц Цвикки жил в состоянии острого конфликта с научным сообществом. Как вспоминал один из очевидцев, «окружающие видели в нём сумасшедшего, а он их считал глупцами». В результате у Цвикки, который нисколько не скрывал своего мнения о коллегах, возникли проблемы с публикациями трудов, с признанием его приоритета и с получением наблюдательного времени на крупнейших телескопах с диаметром в 2,5 и 5 метров.

Важнейшим открытием Фрица Цвикки является объяснение в 1934 году (вместе с Вальтером Бааде) механизма взрыва сверхновых звёзд. Цвикки и Бааде предположили, что ядро массивной звезды сжимается в плотный нейтронный шар размером в десяток километров. При этом выделяется столько энергии, что внешняя оболочка звезды разлетается в разные стороны, выпуская наружу мощное световое излучение, которое можно заметить на расстоянии даже миллиардов световых лет. Сверхновые рожают не только яркий свет, но и космические лучи, а на месте их взрыва остаётся маленькая нейтронная звезда. Спустя тридцать три года предсказание Цвикки и Бааде о существовании нейтронных звёзд смогла подтвердить Джоселин Белл, открывшая в 1967 году пульсары, которые представляют собой нейтронные звёзды с сильным магнитным полем.

Астроном Цвикки нашёл в небе 129 сверхновых звёзд, установив этим рекорд. Телескопы, снабжённые компьютерами, довели к концу двадцатого века число открытых сверхновых до многих тысяч. Четыре Нобелевские премии по физике были присуждены за работы, связанные с нейтронными звёздами и сверхновыми. Более четверти миллиона научных статей опубликовано о сверхновых, название которым придумали Цвикки и Бааде. Знаменитый физик Кип Торн назвал статью Цвикки – Бааде 1934 года о сверхновых, нейтронных звёздах

и космических лучах «одним из самых пророческих документов в истории физики и астрономии».

В 1937 году Цвикки высказал идею о гравитационном линзировании на скоплениях галактик.

– Что это такое? – поинтересовалась Галатея.

– Эйнштейн предсказал, что свет звезды искривляется в гравитационном поле Солнца. Астрономы стали интересоваться: а можно ли заметить искривление звёздного света в поле другой звезды? Но расчёты показали, что это очень маловероятно из-за маленького углового размера звёзд. Цвикки, зная, что скопления галактик имеют гораздо больший размер, предположил, что свет далёких объектов может искривляться на таких скоплениях.

Увы, Цвикки умер за несколько лет до подтверждения этого эффекта в 1979 году. Сейчас гравитационное линзирование на скоплениях галактик является одним из самых мощных современных методов исследования Вселенной.

Но самым интригующим открытием Цвикки стало доказательство существования тёмной материи. В 1933 году он опубликовал исследование скоростей галактик в Скоплении Волос Вероники. Зная скорости движения отдельных галактик, он вычислил массу всего скопления.

– А как он это сделал? – спросила неутомная Галатея.

– Каждый мальчик, бросая камень вверх, или лучше – в колодец, чтобы случайно ни в кого не попасть, может вычислить массу Земли, измерив время падения камня.

Андрей сказал:

– Я не знаю ни одного мальчишки, который бы измерял время полёта камня. Они их просто бросают – и всё.

– Да, поэтому мало кто из них становится учёным. Вычислив общую массу галактического скопления Комы, Цвикки оценил её вторым способом: подсчитав количество галактик в скоплении и умножив его на типичную массу галактики. Оказалось, что суммарная масса видимых галактик в сотни раз меньше, чем масса скопления, полученная из вычислений, основанных на скоростях движения галактик. Значит, основная масса вещества в Скоплении Волос Вероники является невидимой для наблюдателя? Но что она собой представляет?

До Цвикки такие астрономы, как Джеймс Джинс, Якобус Каптейн и Ян Оорт, изучали возможность наличия в нашей Галактике тёмной материи. Но только после убедительных работ Цвикки существование невидимой составляющей космоса можно было считать доказанным.

Фриц Цвикки опубликовал за свою жизнь десять книг, включая семитомный каталог галактик, написал триста статей и получил пятьдесят патентов на реактивные двигатели. За инженерные работы президент США вручил Цвикки медаль.

В честь Фрица Цвикки назван астероид 1803 и крупный лунный кратер. В отличие от своих соседей, кратер Цвикки оказался не круглым, а многоугольным. Да, Фриц Цвикки был воистину необычным человеком.

Подтвердить существование феномена тёмной материи и привлечь к нему всеобщее внимание смогла маленькая девочка Вера, которой в 1933 году было всего пять лет. Пятилетние дети – самые честные учёные. Их любопытство к явлениям природы не замутнено карьерными соображениями, индексами цитирования и прошениями о финансовых грантах.

Маленькая девочка Вера, с одной стороны, была необыкновенной девочкой, потому что она часто задавала очень интересные вопросы; с другой стороны – она была вполне обычной девочкой, потому что ведь никто не запрещает обычным девочкам и мальчикам задавать интересные вопросы – и тем самым стать необыкновенными. Но интересные вопросы задавать совсем не легко: для этого нужно держать глаза всё время открытыми – когда не спишь, конечно, – и удивлёнными.

Едет маленькая девочка Вера на заднем сиденье автомобиля своих родителей, смотрит в окно и задает такой вопрос:

– Почему луна летит туда же, куда мы едем? Деревья и холмы летят назад, а луна движется вместе с нами. Откуда луна знает, что мы едем из Филадельфии в наш дом?

Это был такой отличный вопрос, что девочка Вера навсегда запомнила удовольствие от него, хотя и не запомнила, что ей ответили родители. И она решила, что вопросы всегда интереснее ответов, и что ей повезло – она живёт в любопытнейшем из миров.

– Мы тоже в нём живём и тоже знаем, какой он интересный! – ревниво сказала Галатея.

– Когда повзрослевшей десятилетней Вере не спалось, она не занималась глупым счётом баранов, а следила в окошко своей крохотной спальни за движением звёзд по северному небосклону. Они двигались хороводом вокруг Полярной звезды, а та важно и неподвижно висела на небе как приклеенная, чувствуя себя центром вращения мира. Девочка лежала, смотрела на движущиеся звёзды и мечтала узнать об их тайнах побольше.

Детские мечты сбываются нечасто, но в данном случае случилось удивительное: девочка Вера выросла и стала изучать именно движение звёзд – правда, не вокруг Полярной звезды, ведь это кажущееся движение, вызванное вращением Земли вокруг своей оси. Вера Рубин стала изучать движение звёзд вокруг центров галактик. Она стала опытным расшифровщиком звёздных спектров.

Научным руководителем диссертации Веры Рубин стал российский иммигрант Георгий Гамов. Родители Веры тоже были иммигрантами из бывшей Российской империи: мать из Бессарабии или Молдовы, отец – из Литвы.

В середине 1960-х годов Вера Рубин стала первой женщиной, которую пригласили в Паломарскую обсерваторию, чтобы вести наблюдения на её телескопах.

– Как это первой? – не поняла Галатея.

– До 70-х годов XX века наблюдения на крупных телескопах в Калифорнии, да и в других обсерваториях, велись только мужчинами. Разрушение этой возмутительной традиции началось с Веры Рубин. Она вместе со своим соавтором Кентом Фордом внимательно изучила вопрос о движении звёзд вокруг галактических центров. Эта тема была важной, но не сулила каких-то сенсаций – может, именно поэтому Вера за неё взялась. Она признавалась, что не любит проблем, где наблюдатели теснятся, как в переполненном вагоне. Но результаты, которые она получила, оказались сенсационными – звёзды, вместо того чтобы двигаться согласно закону Кеплера, то есть уменьшать скорость с увеличением расстояния до галактического центра, двигались примерно с одинаковой скоростью на самых различных расстояниях. Словно каждую галактику обнимало массивное облако тёмной материи, которое весило гораздо больше звёздного диска галактик и заставляло звёзды двигаться гораздо быстрее, чем им вроде бы полагалось, исходя из суммарной массы всех звёзд.

Когда учёные убедились в справедливости результатов Рубин – Форда, начались интенсивные наблюдательные и теоретические исследования природы этой тёмной материи. Что это такое?

Логично было предположить, что астрономы пропустили в космосе какие-то невидимые объекты: например, такие звёзды, как коричневые карлики: размером с Юпитер, но массой в десятки раз больше, чем у него. Действительно, совместными усилиями астрономов и космических телескопов таких звёзд было открыто огромное количество – они оказались самой многочисленной звёздной компонентой нашего Млечного Пути. Но их масса недостаточна для нужного увеличения массы нашей Галактики. Важным открытием стало обнаружение межгалактических холодных облаков, состоящих из водорода и гелия, – они имеют температуру около нуля градуса в Кельвинах и очень прозрачны, поэтому свет звёзд легко сквозь них проходит. Лишь спектральные линии, которые межгалактический водород выгрызает в звёздных спектрах, выдаёт такие невидимые облака. Их масса в скоплениях галактик оказалась в десять раз больше, чем масса всех звёзд. Но этого всё равно было недостаточно, чтобы объяснить результат Цвикки по скоплениям галактик. Может, тёмная материя состоит из крошечных –

в несколько километров, – но очень массивных объектов, таких как нейтронные звёзды и чёрные дыры звёздных масс? Астрономы разработали специальную наблюдательную программу для поиска таких объектов, но после многолетних наблюдений установили, что таких объектов звёздных масс слишком мало для объяснения загадки «тёмной материи».

Может быть, «тёмная материя» состоит из элементарных частиц, которых очень много, но они не регистрируются, потому что слабо взаимодействуют с веществом?

Очень перспективным кандидатом на роль «тёмной материи» казались нейтрино – крошечные частицы, предсказанные Вольфгангом Паули в 1930 году и открытые четверть века спустя. Нейтрино вокруг нас очень много, например, через человеческий глаз каждую секунду пролетают сотни миллиардов нейтрино, рождённых на Солнце...

– Кыш, кыш! – Галатея замахала рукой перед лицом, отгоняя вездесущие нейтрино.

– Они так слабо взаимодействуют с веществом, что легко пролетают и человека, и Землю насквозь, как свет сквозь самое прозрачное стекло. Но масса нейтрино оказалась такой крошечной, что стало ясно: сильно повлиять на массу Вселенной эта элементарная частица не в состоянии. Более того, когда учёные попробовали рассчитать, какими скоростями должны обладать частицы тёмной материи, чтобы с их помощью можно было объяснить наблюдаемое вращение и структуру галактики, то оказалось, что они должны двигаться медленно, то есть тёмная материя должна быть «холодной». «Горячие» нейтрино, которые движутся почти со скоростью света, на роль такой «холодной» тёмной материи никак не годились.

Физики назвали гипотетические неуловимые частицы тёмной материи Слабо Взаимодействующими Массивными Частицами и стали искать её повсюду. Они проводили эксперименты на Большом Адронном Коллайдере в Европе, они запускали детекторы частиц на воздушных шарах над Антарктидой. В разных странах было организовано около десятка подземных лабораторий, которые спускали многотонные детекторы в шахты на глубины до двух километров, в надежде зарегистрировать там загадочные частицы. Но ничего не получалось. Детекторы частиц тёмной материи стали выводить в космос – как на отдельных спутниках, так и в качестве приборов на Международной космической станции, где для поиска частиц тёмной материи установлено бочкообразное устройство стоимостью два миллиарда долларов.

– Ну и поймала такая бочка эти частицы? – нетерпеливо спросила Галатея.

– Нет, – покачала головой Дзинтара, – частицы тёмной материи всё ещё остаются неуловимыми. Поэтому возникла собравшая немало сторонников идея, что надо изменить законы гравитации, которые действуют на масштабах галактики и всей Вселенной. Это позволит обойтись без тёмной материи, но цена такого решения будет велика: придётся отказаться от проверенной и красивой теории Эйнштейна – Ньютона.

В 2015 году детектор гравитационных волн ЛИГО поймал первую в истории гравитационную волну от слияния двух чёрных дыр с массой в 29 и 36 масс Солнца. Этот результат поразил учёных: оказывается, в космосе существует большое количество чёрных дыр, гораздо более тяжёлых, чем обычные дыры звёздных масс! Сразу возникло предположение, что тёмная материя – это большое количество чёрных дыр в десятки масс Солнца. Но откуда взялись такие массивные чёрные дыры, ведь обычные модели звёздной эволюции их не предсказывают? Появилась смелая гипотеза, что эти чёрные дыры пришли к нам из предыдущего цикла Вселенной, потому что чёрные дыры – это единственные макроскопические объекты, которые могут пережить коллапс мира и, пройдя через огненную фазу максимально сжатой Вселенной, попасть в следующий цикл её жизни.

Итак, «тёмная материя» (а её, по последним данным, в пять-шесть раз больше, чем обычного газа и звёзд) всё ещё остаётся загадкой, которую предстоит решить учёным будущего. Чёрные ли это дыры? Элементарные ли это частицы? Несомненно, к середине XXI века эта загадка будет разгадана.

Вера Рубин почти всю жизнь проработала в небольшом частном институте Карнеги, расположенном в парковой зоне американской столицы, и была независимым исследователем. Её работы часто встречали непонимание астрономического сообщества, но в конце XX века тёмная материя, которую в 1933 году Фриц Цвикки нашёл в скоплениях галактик, а Вера Рубин и Кент Форд в 1970-х обнаружили внутри отдельных галактик, превратилась в объект активнейших исследований. В начале XXI века уже тысячи учёных изучали проблему тёмной материи. Но ни Фриц Цвикки, обнаруживший тёмную материю в скоплениях галактик, ни Вера Рубин, которая открыла её внутри галактик, не получили Нобелевской премии.

Это вызывало негодование многих, но сама исследовательница не вмешивалась в эти споры. Она скромно говорила: «Мне жаль, что я так мало знаю. Извините, мы все так мало знаем. Но в этом же и состоит всё удовольствие, не так ли?»

Кроме научных результатов, Вера Рубин воспитала четверых детей – они все стали учёными и защитили диссертации в области естественных наук.

– Почему они все выбрали науку своей профессией? – удивилась Галатея.

– Их отец был физиком, мать – астрономом, которая получала столько удовольствия от своей работы, что десятилетний сын как-то спросил удивлённо: «Мама, тебе за твою работу ещё и деньги платят?»

Вера Рубин не только изучала загадки, перед которыми стояла современная ей наука, но и раздумывала над проблемами будущего.

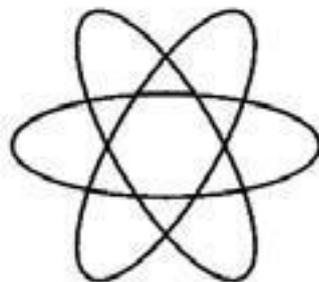
«Какие задачи станут решать астрономы будущего? Какими вопросами будут задаваться астрономы Вселенной через сто лет? Через тысячу лет? Легко перечислить нерешённые вопросы настоящего времени. Каков возраст Вселенной? Какова скорость расширения Вселенной? Какова масса Вселенной? Что такое тёмная материя? Достаточно ли её гравитационного притяжения, чтобы остановить расширение Вселенной и заставить её сжиматься? Есть ли у ближайших звёзд планеты, на которых зародилась жизнь и разум? Достаточно ли они близки к нам, чтобы мы могли установить с ними связь в обозримом времени?»

Но есть ещё проблемы, о которых мы знаем так мало, что с трудом можем сформулировать нужные вопросы. Вот очень приблизительный их список: существуют ли другие вселенные? Будем ли мы когда-нибудь общаться с ними? Как изменится наше представление о Вселенной при обнаружении гравитонов? Когда мы вглядываемся во Вселенную, мы смотрим в наше прошлое, но наши „глаза“ слабы, и мы ещё не можем проникнуть взглядом на большие расстояния. Загадки края вселенной превосходят наше понимание. Как Колумбы или викинги, мы заглянули в новый мир и увидели, что он более загадочен и сложнее, чем мы себе представляли. Самые большие загадки Вселенной остаются нерешёнными. Они станут приключениями для учёных будущего. Мне это нравится».



Вера Рубин сказала, обращаясь к молодёжи: «Для тех из вас, кто хочет быть учёным, у меня есть один совет. Не сдавайтесь! Наука трудна и требовательна, но каждый из вас должен верить в то, что вы можете добиться успеха. Сегодня может показаться невероятным, но среди вас нет никого, кто не мог бы внести важный, значительный вклад в мир науки. Наука ревнива, агрессивна, требовательна. Но она также великолепна, вдохновляет и окрыляет. Каждый из вас может изменить мир, потому что вы состоите из звёздного вещества и связаны со Вселенной».

Примечания для любопытных



Фриц Цвикки (1898–1974) – знаменитый швейцарский астроном, родившийся в Варне (Болгария) и почти всю жизнь проработавший в Калифорнии (США). Атеист. Открыл тёмную материю в скоплениях галактик, ввёл вместе с В. Бааде понятие «сверхновой», как взрыва, который превращает обычную звезду в нейтронную. Предсказал гравитационное линзирование галактик друг на друге. Получил в 1949 году за работы в области разработки реактивных двигателей Президентскую модель свободы от американского президента Трумэна. В 1972 году

получил золотую медаль Королевского астрономического общества за выдающийся вклад в астрономию и космологию. В честь Цвикки назван астероид номер 1803 и лунный кратер размером в 150 км.

Калифорнийский технологический институт – знаменитый университет в Южной Калифорнии, основанный на частные пожертвования в 1891 году. В его состав входит Паломарская обсерватория, обладающая пятиметровым телескопом, и Лаборатория реактивного движения, которая работает на НАСА. В Калтехе учится всего 2200 студентов и аспирантов. Выпускники и сотрудники Калтеха получили тридцать семь Нобелевских премий.

Вальтер Бааде (1893–1960) – известный немецкий астроном, работавший в 1931–1959 годах в США. Вместе с Ф. Цвикки определил сверхновые звёзды как новую категорию астрономических объектов и предсказал появление нейтронных звёзд на месте взрыва сверхновых. Открыл десять астероидов. Астероид номер 1501 и лунный кратер названы в честь Бааде.

Вольфганг Паули (1900–1958) – физик-теоретик, один из основателей квантовой теории. Лауреат Нобелевской премии по физике (1945).

Кип Торн (р. 1940) – известный американский физик-гравитационист, соавтор классической монографии по теории Эйнштейна и космологии. Один из лидеров проекта ЛИГО, в результате которого открыты гравитационные волны. Лауреат премий Грубера, Шау, Харвея и Кавли (2016). Лауреат Нобелевской премии (2017).

Джоселин Белл (р. 1943) – знаменитая британская женщина-астроном, открывшая в 1967 году пульсары, будучи юной аспиранткой. Не получила за это открытие Нобелевской премии, хотя её научный руководитель получил. Награждена Королевской медалью (2015 год) и другими научными наградами.

Вера Рубин (1928–2016) – знаменитая американская женщина-астроном, которая открыла, что звёзды в галактиках, включая Млечный Путь, движутся быстрее, чем позволяет притяжение видимой материи, – так, словно в галактиках содержится большое количество невидимого вещества. В начале XXI века на эту тему публиковалось полторы тысячи научных статей в год. Вера Рубин получила за свои работы множество наград, включая золотую медаль Королевского астрономического общества (1996) и премию Грубера по космологии (2002).

Закон Кеплера – закон, сформулированный Иоганном Кеплером (1571–1630), согласно которому, скорость обращения планет падает с ростом расстояния от Солнца. Увеличение расстояния в четыре раза вызывает уменьшение скорости обращения в два раза.

Сложная сказка о простых частицах

Королева Никки приехала в гости и присоединилась к детям, которые слушали традиционную вечернюю сказку, что читала их мать, Дзинтара.

– Из чего состоят наши тела, вода, камни, деревья и всё в природе, что нас окружает? Этим вопросом задавались ещё древние греки. Грек Демокрит был младшим сыном в богатой семье. Он взял свою долю наследства деньгами и отправился путешествовать. Он объездил многие страны и города, включая Египет, где жили и работали самые выдающиеся математики и учёные Средиземноморья. Он был равнодушен к славе и был всегда весёлым, за что получил прозвище «смеющийся философ». Демокрит стал учеником Левкиппа, и после долгих бесед и споров они пришли к выводу, что все тела нашего мира состоят из мельчайших неделимых частиц – атомов. Они цепляются друг за друга специальными крючками и образуют разные предметы. Между атомами лежит пустота.

Диоген Лаэртский, греческий историк, так описывал мировоззрение Демокрита: «Начала Вселенной суть атомы и пустота, всё остальное лишь считается существующим. Миры бесконечны и подвержены возникновению и разрушению. Ничто не возникает из несуществующего, и ничто не разрушается в несуществующее. Атомы тоже бесконечны по величине и количеству, они вихрем несутся по Вселенной и этим порождают всё сложное – огонь, воду, воздух, землю, ибо все они суть соединения каких-то атомов, которые не подвержены воздействиям и неизменны в силу своей твёрдости. Солнце и луна состоят из таких же телец, гладких и круглых, точно так же и душа; а душа и ум – одно и то же».

– Мне кажется, что моя душа отличается от души Андрея, – сказала Галатея, – Моя душа состоит из зелёных кругленьких телец, а его – склеена из коричневых квадратных частиц.

– Из кубических, – поправил педантичный Андрей младшую сестру.

– Именно это я и имею в виду! – хихикнула Галатея.

– Теория Левкиппа и Демокрита вызвала резкую критику. Афины, тогдашний центр европейской научной мысли, не признали этого учения. Платон высказался за то, что все книги Демокрита надо сжечь. Действительно, ни одной из его книг до нас не дошло, история сохранила лишь отдельные его высказывания. Ещё один титан античности, Аристотель, считал, что ветер, огонь, вода и земля являются непрерывными субстанциями, поэтому существование пустоты между атомами Демокрита противоречит законам природы. Даже спустя тысячи лет, в Средние века, церковь категорически отрицала учение, по которому всё в мире состоит из атомов, и жестоко преследовала сторонников атомизма, считая их еретиками.

История показала, что Демокрит был прав. Учение об атомах стало основой современного научного мировоззрения. По лестнице размеров астрономы идут вверх, в макромир, а физики и химики – вниз, в микромир, но куда бы мы не пришли, мы имеем дело с атомами. Но являются ли атомы простейшими и неделимыми элементами мира? Нет, атомы оказались далеко не такими круглыми и гладкими, как думал Демокрит. Учёные выяснили, что атомы сами состоят из более простых частиц, которые стали называть элементарными. Первой элементарной частицей стал отрицательно заряженный электрон, открытый Дж. Томсоном в 1897 году. Через двадцать с лишним лет Резерфорд и другие физики доказали существование ещё одной элементарной частицы – положительно заряженного массивного протона.

В начале XX века был период, когда, как казалось физикам, мечта человека о познании мельчайших неделимых частиц мира осуществилась. Трёх сортов стабильных частиц – электронов, протонов и фотонов – хватало для объяснения светового электромагнитного излучения от атомов и для построения самих атомов, положительно заряженные ядра которых состояли, по тогдашним воззрениям, из неравной смеси протонов и электронов, а оболочки – из отрицательно заряженных электронов. Значит, именно эти три частицы являются теми про-

стейшими кирпичиками, из которых построен наш мир? Но модель атомного ядра, состоящего из протонов и электронов, вызывала сомнения. Резерфорд и другие физики подозревали, что в ядре существует нейтрон – нейтральная частица, которая прибавляет ядру массу, не добавляя заряд. Именно количеством нейтронов в ядре и отличаются друг от друга изотопы одного и того же химического элемента. В 1932 году нейтрон был открыт Чедвиком. Казалось, что можно вздохнуть с облегчением: мир атомов прекрасно строился из протонов, нейтронов и электронов. Добавить сюда фотоны – и получится, что для построения Вселенной достаточно всего четырёх сортов частиц, из которых только нейтрон был нестабильным и имел время жизни на свободе около четырнадцати минут, хотя внутри ядра он сохранял устойчивость и жил неограниченно долго.

Но была одна проблема: при бета-распаде нестабильных ядер оттуда вылетали электроны. Когда учёные подсчитали энергетический баланс этой реакции, то обнаружили, что энергия системы до распада и после различается, словно закон сохранения энергии не выполняется. Вольфганг Паули в 1930 году выдвинул идею нейтрино – лёгкой нейтральной частицы, которая уносит часть энергии бета-распада. С учётом нейтрино, которое было очень трудно обнаружить, закон сохранения удавалось спасти.

– Значит, для построения мира нужно было пять частиц? – уточнила Галатя.

– Для ядерных сил, скрепляющих атомное ядро, японец Юкава в 1934 году предложил модель, в основе которой лежит новая и нестабильная элементарная частица пимезон.

– Шесть частиц? – Галатя стала загибать пальцы на второй руке.

– В 1936 году нашли частицу, которую приняли за мезон Юкавы. Но это оказался мюон, совсем не та частица, которая ожидалась. Как сказал профессор Исидор Раби, когда был открыт мюон: «Кто заказал это?» Пимезон Юкавы был открыт в 1947 году.

– Уже семь частиц! – продолжила счёт девочка.

– Модель элементарных частиц затрещала по швам. В том же году были открыты две новые элементарные частицы – К-мезон и лямбда-гиперон. В 1955 году был открыт антипротон, в 1956 году – нейтрино, предсказанное Паули. Элементарные частицы посыпались, как горох из разорвавшегося мешка.

– Ой! – Галатя посмотрела на свои загнутые пальцы: её персональный компьютер исчерпал память.

– К ним пришлось добавить античастицы, которых, согласно уравнению Дирака, было ровно столько же, сколько обычных частиц. Элементарных частиц открывалось по несколько штук в год, и за несколько десятков лет учёные нашли сотни таких частиц. Целый зоопарк в микромире: даже нейтрино оказалось не одного, а трёх сортов – электронное, мюонное и тау-нейтрино. Стало понятно, что привычные «элементарные частицы» не могут претендовать на звание «элементарных», тем более что они крайне нестабильны и никак не походят на неизменные атомы Демокрита. Значит, они сами построены из более простых и неделимых частичек? Начались интенсивные поиски по-настоящему элементарных частиц. Но пусть лучше об этом расскажет известный физик Ричард Фейнман, или, вернее, его дух, который живёт в моём домашнем компьютере.

Динамики компьютера вдруг ожили, и дух Фейнмана сказал:

– Число частиц в мире не ограничено и зависит от энергии, потраченной на разрушение ядра. В настоящее время открыто более четырёхсот таких частиц. Мы не можем смириться с тем, что существуют четыре сотни элементарных частиц – это слишком сложно! Природа продолжает нагромождать эти частицы как бы с целью нас одурманить. Если 99 % явлений в мире можно объяснить при помощи электронов и фотонов, то оставшийся 1 % явлений потребует в десять или двадцать раз больше дополнительных частиц.

– И что же делать? – спросила Галатя.

– Думать! – рывкнули динамики голосом Фейнмана. – Великие изобретатели вроде Гелл-Манна чуть с ума не посходили, пытаясь вывести правила, которым подчиняются эти частицы, и в начале 70-х годов XX века создали теорию сильных взаимодействий (или «квантовую хромодинамику»), в которой основными действующими лицами являются частицы, получившие название «кварки». Все частицы, состоящие из кварков, разделяются на два класса: одни частицы, например протоны и нейтроны, состоят их трёх кварков (такие частицы получили ужасное название «барионы»), другие – например пион – состоят из кварка и антикварка (они называются «мезонами»), Дзинтара снова взяла нить повествования в свои руки.

– Физики любят исследовать элементарные частицы, сталкивая их лбами. Разгоняют частицы на ускорителях, и – бабах! – только искры из глаз у частиц сыплются. Физики изучают эти искры и траектории заплаканных частиц, разлетающихся после соударения, и узнают о строении частиц много нового.

– Ужас! – сказала Галатея. – Надо организовать союз защиты элементарных частиц.

– Таким способом Эрнст Резерфорд исследовал строение атома: облучил атомы положительно заряженными альфа-частицами и обнаружил, что альфа-частицы иногда сильно отклоняются при рассеянии на атомах. Это возможно, только если атом является не рыхлой крупной структурой, как думал Томсон, а содержит в себе крошечное и плотное ядро с положительным зарядом. Так Резерфорд доказал, что в атоме есть ядро с размером в десять тысяч раз меньше, чем сам атом.

Аналогичное открытие сделали физики более полувека спустя. Они по рассеянию протонов друг на друге нашли, что протон не представляет собой однородный шар – в нём прячутся маленькие и плотные части, которые позже стали называть кварками и глюонами.

Химик Менделеев проанализировал свойства химических элементов и нашёл в них закономерности, которые привели к открытию Периодического закона. На основании этого закона Менделеев предсказал существование ещё не открытых химических элементов и даже заранее вычислил их массу и другие характеристики.

Аналогично поступили и физики: они изучили свойства всех известных элементарных частиц и нашли, что их можно разделить на три группы: лептоны, кварки и кванты полей.

Исходя из этой классификации, шотландец Хиггс, бельгиец Энглерт и другие физики создали теорию элементарных частиц и предсказали открытие нескольких ранее неизвестных частиц, в частности бозон Хиггса. Для этих неоткрытых частиц удалось вычислить массу и другие характеристики. Несколько десятилетий экспериментаторы, работающие на ускорителях, искали эти частицы – и нашли абсолютно все, включая бозон Хиггса, который журналисты любят называть «частицей бога» – настолько фундаментальной во всех смыслах оказалась эта частица.

– Звучит как-то двусмысленно, – сказал Андрей, – Слово бог состоит только из бозонов Хиггса.

– Термин «божья частица» появился в заголовке книги нобелевского лауреата Леона Ледермана. Он сначала хотел назвать бозон Хиггса «чёртовой частицей», но редактор книги не согласился – и «чёртову» частицу переделали в «божью», тем более что в английском языке для этого просто нужно отрезать вторую половину слова.

– Как тонка оказалась грань между чёрным и белым! – хихикнула по-детски королева Никки, слушавшая сказку с таким же вниманием, как и дети.

– Эксперименты, полностью подтвердившие теорию кварков, сделали её Стандартной для элементарных частиц и фундаментальных взаимодействий. В 2013 году за эту теорию Питеру Хиггсу и Франсуа Энглерту была присуждена Нобелевская премия.

Что говорит Стандартная теория об основных группах элементарных частиц?

Самым известным представителем группы лептонов является электрон. Два других лептона – мюон и частица тау – похожи по свойствам на электрон, только гораздо тяжелее его

и нестабильны. Мюон тяжелее электрона в 207 раз, и живёт он всего две миллионных доли секунды.

– Так мало? – удивилась Галатея.

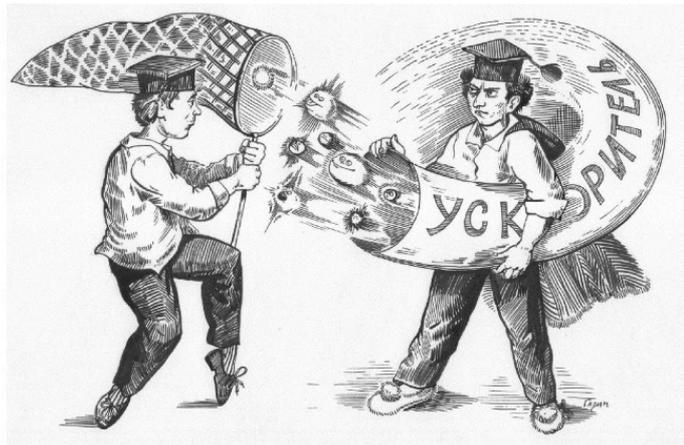
– Так много! – возразила Дзинтара. – Другие нестабильные элементарные частицы живут гораздо меньше. Среди нестабильных частиц дольше мюона живёт только свободный нейтрон. Мюоны рождаются при столкновении космических лучей с атмосферой, но за счёт своей длинной жизни, которая дополнительно продлевается из-за скорости частицы...

– Согласно теории относительности Эйнштейна, – отметил педантичный Андрей, состоящий частично из коричневых кубиков.

– ...мюоны могут достигать поверхности Земли. То есть мы все живём в потоке мюонов, летящих сверху. Исследователи пробуют использовать этот поток для просвечивания египетских пирамид и поиска там пустот, в которых могут размещаться гробницы фараонов.

– Да, это лучше, чем лопатой махать! – согласилась Галатея.

– Частица тау живёт в миллионы раз меньше, чем мюон, зато тяжелее электрона в три с половиной тысячи раз. Этим трём лептонам соответствуют три вида нейтрино. Все они стабильны. Нестабильный мюон любит распадаться на электрон и два вида нейтрино – мюонное и электронное, а частица тау может распасться на мюон, мюонное нейтрино и тау-нейтрино. Группа из шести лептонов дополняется шестью соответствующими античастицами.



Вторая группа элементарных частиц, самая загадочная – кварки. Это те самые внутренние уплотнения, найденные в протоне.

– Найденные в результате жестокого обращения с элементарными частицами, – отметила Галатея.

– В свободном состоянии никто кварки не наблюдал, они могут существовать только связанными друг с другом.

– Какая дружба! – снова не удержалась от комментария Галатея.

– Как и лептонов, кварков тоже шесть плюс столько же антикварков. Шесть кварков называют так: «нижний», «верхний», «прелестный», «очарованный», «странный» и «истинный». Самый лёгкий – «верхний кварк», всего лишь в несколько раз превосходит электрон по массе, зато самый тяжёлый – «истинный кварк» – в сотни тысяч раз тяжелее электрона.

– «Истинный» и «очарованный»! – восхищённо повторила Галатея, – Я уверена, что состою только из самых прелестных кварков!

– Соединения кварков называются адронами. Адронов очень много, но самые известные из них – протон и нейтрон, каждый из которых состоит из трёх кварков. Мезоны – это тоже адроны, возникшие при соединении двух кварков, но могут существовать адроны из четырёх и пяти кварков. Если принять заряд электрона за единицу, то все кварки имеют электриче-

ские заряды $1/3$ и $2/3$, только разного знака. Так как в природе не наблюдается элементарных частиц с таким дробным зарядом, то кварки должны соединяться таким образом, чтобы итоговая частица имела целый заряд (как у электрона) или была нейтральна.

– Какая избирательная у них дружба... – задумалась Галатея. – Значит, два кварка с электрическим зарядом в $2/3$ никогда не смогут соединиться? Как это грустно! Вдруг они нравятся друг другу?

– В многочисленных столкновениях частиц в ускорителях рождается множество новых частичек, и некоторые из них являются просто возбуждённым состоянием какого-нибудь адрона, например протона. Но какие бы экзотические частицы не возникали, электрический заряд всегда сохраняется: суммарный заряд множества частиц, возникших при соударении, точно равен заряду частиц, которые столкнулись. Это правило называется законом сохранения электрического заряда. Кроме электрического заряда, кварки имеют такую характеристику, как «цвет» – «красный», «зелёный» и «синий», – и тоже подчиняются своеобразным законам сохранения: например, протоны и нейтроны – это бесцветные частицы, которые должны быть образованы кварками трёх разных цветов, которые в сумме дают белый цвет.

– Неправильно, я наверняка состою из цветных протонов, – хмыкнула Галатея.

– Очень интересным классом элементарных частиц оказались кванты поля. Один из них – фотон, отвечающий за электромагнитные взаимодействия, хорошо изучен. Но во Вселенной известно четыре фундаментальных взаимодействия. Учёные очень давно пытались объединить их. Например, Эйнштейн всю вторую половину своей жизни стремился слить гравитацию и электромагнитные взаимодействия в рамках единой теории, но ему это не удалось. А ведь он ещё не трогал ядерные и слабые взаимодействия! Современные физики пошли иным путём, оставив в сторону гравитацию и пытаясь объединить три других взаимодействия. Этот путь оказался успешнее: в 1967 году Стивену Вайнбергу, Шелдону Глэшоу и Абдус Саламу удалось объединить электрические и слабые взаимодействия. Эта теория получила общее признание, когда все элементарные частицы, предсказанные ею, были открыты. В 1973 году в единую теорию были включены сильные взаимодействия. Эта единая теория трёх фундаментальных взаимодействий и стала основой Стандартной теории, согласно которой переносчиками слабого взаимодействия стали бозоны трёх типов, а за сильное взаимодействие стали отвечать глюоны – восемь нейтральных частиц, не имеющих массы, что сближает их с фотонами.

– Значит, можно создать глюонный фонарик? – спросила Галатея.

Дзинтара задумалась:

– Ну, кварк-глюонные струи удастся получить, но вот насчёт фонарика – не знаю...

– Итак, – сказал Андрей, – у нас есть следующее число «атомов» Демокрита: двенадцать лептонов, двенадцать кварков и двенадцать квантов?

– Нет, добавь сюда ещё и бозон Хиггса, тяжёлую частицу, которая играет важную роль в образовании частиц, в частности отвечает за появление массы у бозонов. Хиггс придумал поле, которое действует на бозоны, как вода на плавающие на ней пушинки одуванчика: без воды невесомые пушинки беззаботно летят в любом направлении, а при взаимодействии с водой становятся медленными, инертными. А бозон Хиггса – это волна на поверхности поля Хиггса. Его масса была вычислена из сложных уравнений, и именно такая частица была найдена в 2012 году при экспериментах на Большом Адронном Коллайдере. Это стало завершающим штрихом в подтверждении Стандартной теории. Она доказала, что в мире существует Квантовая Лестница, которая описывает три уровня энергии: атомный, ядерный и кварковый.

– Что это за лестница? – полюбопытствовала Галатея.

– Вы знаете про квантовые уровни в атоме – они дают разный цвет фотонам, вылетающим из атома, и связаны с перестройкой его электронных оболочек.

Внутри ядра атома тоже есть своя структура квантовых уровней, которые экспериментаторы изучают по дискретной энергии вылетающих из ядра электронов при ядерных превращениях.

Оказалось, что в таких элементарных частицах, как протоны и нейтроны, тоже существуют квантовые уровни, которые видны по энергиям вылетающих оттуда мезонов.

– Ух ты, действительно, лестница, идущая внутрь вещества, – поняла Галатея.

– Давно было известно, что химические связи между атомами и молекулами оказываются остаточным явлением от электромагнитного взаимодействия электронов и атомного ядра. Сейчас стало понятно, что ядерные силы между нуклонами ядра, связанные с обменом пимезонами, являются слабым отголоском могучих сил, которые удерживают кварки внутри каждого нуклона и не дают им вылетать наружу.

– Ой, какая сложная сказка получается! – пожаловалась Галатея. – А ведь обещали историю про самые простые частицы нашего мира.

– Да, но никто не обещал, что это будет простая история. И в ней ещё масса нерешённых проблем. Насколько полна Стандартная теория? Да, она не включает в себя гравитационное взаимодействие. Но недостаток ли это? Есть ли у гравитационного взаимодействия свой квант – гравитон? Неизвестно. Многие уверены, что есть. Так же был уверен и Менделеев, который оставлял в своей таблице место для элемента эфира – среды, в которой распространяется свет. Как потом выяснилось, никакого эфира нет, а электромагнитные волны прекрасно распространяются в вакууме. Есть и другое мнение – что гравитационное поле – особенное. Оно не квантовое, но создается коллективным действием обычных квантовых полей.

Есть ли ещё более фундаментальная теория всего, которая объединяет и элементарные частицы, и гравитационное поле и делает это на более простой основе, чем Стандартная теория?

Когда было завершено построение Стандартной модели, объяснившей все известные элементарные частицы и правильно предсказавшей серию новых частичек и бозон Хиггса, то огромное количество теоретиков в области элементарных частиц оказалось на перепутье: что делать дальше? Часть квантовых теоретиков прорвалась вслед за Гусом в космологию, породив там обширное поле теории инфляции, где растёт множество экзотических цветов. Значительная часть квантовых физиков решила остаться в долине элементарных частиц и строить новую теорию элементарных частиц и квантовых полей, которая бы включала и гравитацию.

Если обычная квантовая механика рассматривает элементарную частицу как точечный объект с некоторыми свойствами, то теория струн рассматривает такие частицы как очень маленькие струны, которые могут колебаться, возбуждаться, объединяться и т. д. Это позволяет избежать проблемы перенормировки, свойственной точечным квантовым объектам...

– Что это за проблема пере...сортировки? – полюбопытствовала Галатея.

– Если представить электрон заряженным точечным объектом и попробовать вычислить энергию электрического поля, которое его окружает, то мы получим бесконечность – ведь напряжённость электрического поля обратно пропорциональна радиусу и стремится в бесконечность при уменьшении радиуса до нуля. Теоретикам удалось с помощью хитрых способов вычитания бесконечности из бесконечности получить правильные результаты, которые совпадают с экспериментом. Это хитрое вычитание называется перенормировкой, но физический смысл этой процедуры непонятен, как и непонятно, как быть с бесконечной энергией электрона? Видимо, где-то устремление радиуса электрона к нулю нужно останавливать, но где? Ричард Фейнман занимался этой проблемой.

Дух Фейнмана вступил в разговор:

– Швингер, Томонага и я независимо друг от друга придумали уловку, как проводить конкретные расчёты в случаях, когда получаются бесконечности. Мы получили за это Нобелевскую премию. Наконец-то люди смогли вычислять при помощи квантовой электродинамики!

– Что за уловка? – поинтересовался Андрей.

– Эта уловка имеет специальное название – «перенормировка». Но каким бы умным не было это слово, я бы назвал её дурацким приёмом! Необходимость прибегнуть к такому фокусу-покусу не позволила нам доказать математическую согласованность квантовой электродинамики. Я подозреваю, что перенормировка математически незаконна. Будущим физикам ещё предстоит разобраться в этой интригующей проблеме. Природа преподносит нам такие чудесные загадки! Почему она повторяет электрон частицами, массы которых в 206 и 3640 раз больше? Тайны, вроде этих повторяющихся циклов свойств частиц, делают работу физика-теоретика очень интересной. Я считаю совершенно неудовлетворительным, что не существует теории, адекватно объясняющей массы наблюдаемых частиц. Мы пользуемся этими числами во всех наших теориях, но не понимаем их: что они собой представляют или откуда они берутся. Я считаю, что с фундаментальной точки зрения это очень интересная и важная проблема.

Дзинтара сказала:

– Спасибо, мистер Фейнман, нам пора двигаться дальше.

Дух Фейнмана буркнул:

– Я профессор, а это означает, что я не способен вовремя остановиться.

Дзинтара улыбнулась.

– Теория струн, обойдя проблему перенормировки, породила другие теоретические проблемы, например многомерность мира: теоретически приемлемую теорию струн удаётся сформулировать, только если принять, что наше пространство имеет десять или двадцать шесть размерностей, большая часть из которых свернута в компактное, практически незаметное для нас состояние. Здесь возникает такое разнообразие решений, что математик Питер Войт считает, будто теория струн уже не является научной теорией. Её можно назвать математической моделью, которая не отражает физическую реальность и потому не может претендовать на научное описание этой реальности.

Главная проблема теории струн – её оторванность от эксперимента. Фактов, которые бы не могла объяснить Стандартная теория и которые бы требовали объяснения в рамках более общей теории, чрезвычайно мало, или, как полагают многие, их вообще нет. Одна из проблем Стандартной теории – она не предсказывает массу нейтрино, которая у них, видимо, есть. Например, часть теоретиков считает, что Стандартная теория неполна, потому что не включает частицы, образовавшие тёмную материю космоса. Но совсем не обязательно, что тёмная материя состоит из элементарных частиц – другие исследователи полагают, что она состоит из таких макрообъектов, как чёрные дыры.

Отсутствие связи с реальностью породило своеобразные социологические проблемы в теории струн. В условиях слабости экспериментальной базы теоретиков стали судить не по созданию теории, которая бы подтверждалась наблюдениями, а по количеству статей и их цитируемости. А в оценке самих теорий стали участвовать такие факторы, как мода, престиж и вероятность карьерного роста.

В первой трети XX века теоретиков в мире было гораздо меньше, чем сейчас, но они совершили научную революцию, создав атомную теорию и ядерную физику, специальную теорию относительности и современную теорию гравитации, квантовую механику и космологию. Современных теоретиков раз в сто больше, но список их научных достижений, полученных за аналогичный период конца XX и начала XXI века, гораздо скромнее – имеются в виду реальные достижения, а не количество публикуемых статей и индексы цитируемости. Ли Смолин, известный теоретик, пишет в своей книге «Проблемы с физикой», вышедшей в 2006 году: «Почему, несмотря на такие усилия тысяч самых талантливых и хорошо подготовленных учёных, так мало сделано в фундаментальной физике за последние двадцать пять лет?»

Математик Питер Войт, выпускник Гарварда, который получил докторскую степень в Принстонском университете и ныне преподаёт в Колумбийском, написал книгу «Даже не неправильно» с критическим взглядом на господствующую в фундаментальной физике теорию струн.

– Даже не неправильно? – удивилась Галатея замысловатой фразе.

– Физики делят теории на правильные, которые можно подтвердить экспериментом, и неправильные, которые можно опровергнуть. Но Вольфганг Паули ввел новую категорию теорий: «даже не неправильные» – для теорий, которые нельзя ни подтвердить, ни опровергнуть каким-либо способом. Войт предложил свой труд издательству Кембриджского университета. Вскоре ему показали анонимный отзыв на книгу одного из струнных теоретиков. Войт пишет в своей книге, которая была опубликована в 2006 году, но в другом издательстве: «Прежде чем я увидел этот отзыв, я слегка беспокоился о некоторых вещах, которые написал, чувствуя, что слишком близко подошёл к обвинению струнных теоретиков в интеллектуальной нечестности. Увидев этот отзыв, я перестал беспокоиться об этом. Очевидно, что уровень такой нечестности и нежелание многих теоретиков струн признать проблемы своего предмета далеко превзошли мои первоначальные ожидания».

Сабина Хоссенфелдер из Франкфуртского института передовых исследований, работающая в области физики элементарных частиц и квантовой гравитации, в апреле 2017 года опубликовала в журнале «Nature» комментарий, заголовок которого можно перевести так: «Наука должна заслужить доверие». Комментарий начинается так: «Я теоретик в физике элементарных частиц, и я сомневаюсь в теоретической физике элементарных частиц... Я боюсь, что публика имеет веские причины не доверять учёным, и – печально, но правда – мне тоже всё сложнее им доверять». Она называет это кризисом фундаментальной науки, потому что «мы создаём гигантское количество новых теорий, и ни одна из них никогда не была подтверждена экспериментально». Она приводит уже ставший знаменитым пример: в декабре 2015 года группа учёных, работавшая на Большом Адронном Коллайдере, сообщила о признаке существования новой частицы, которая не укладывалась в Стандартную теорию элементарных частиц. Результат имел невысокую статистическую достоверность, и в августе 2016 года эта же группа сделала вывод, что никакой новой частицы нет – приборы просто показали статистическую флуктуацию. Но для объяснения существования этой несуществующей частицы теоретиками за восемь месяцев было опубликовано 600 научных статей, включая публикации в самых престижных физических журналах. Как отметила Сабина Хоссенфелдер, ни одна из этих теоретических публикаций «не описывала реальность».

Сабина подчеркнула, что такая же ситуация складывается в астрофизике, где существуют проблемы космологической постоянной и тёмной материи, а также в теории инфляции. «Теоретики вводят одно или несколько новых полей и потенциалов, которые управляют динамикой Вселенной... Существующие наблюдательные данные не позволяют сделать выбор между моделями. И если даже обнаруживаются новые данные, всё ещё остаётся бесконечно много моделей, о которых можно писать статьи. По моим оценкам, сейчас в литературе описано несколько сот таких моделей. Для каждого выбора инфляционных полей и потенциалов можно вычислять наблюдаемые величины и затем двигаться к следующим полям и потенциалам. Вероятность того, что любая из этих моделей описывает реальность, бесконечно мала – это рулетка на бесконечно большом столе. Но согласно существующим критериям качества, это первоклассная наука. Такой же поведенческий синдром возник в астрофизике, где теоретики придумывают поля для объяснения космологической постоянной... и предлагают всё более сложные „невидимые сорта“ частиц, которые – может да, а может нет – составляют тёмную материю».

Сабина пишет: «Нетрудно понять, как мы попали в такую ситуацию. Нас судят по количеству публикаций... и более строгие критерии качества для новых теорий обрежут нашу про-

дуктивность. Но „давление публикаций“ поощряет к количеству в ущерб качеству, о чём уже неоднократно говорилось раньше...»

Никки, внимательно слушавшая эту совсем не сказочную историю, кивнула головой:

– Научное бесплодие в фундаментальной науке обычно связано с потерей независимости учёных. Молодой выпускник университета, чтобы выжить в гуще конкурентов, примыкает к самой популярной теории и старается дружить со всеми, особенно вышестоящими мэтрами, потому что именно от них зависит его будущая карьера, публикации и гранты. Такой теоретик пороха не выдумает по определению, потому что тот взорвёт все с таким трудом установленные связи и вызовет ненависть к своему изобретателю.

Дзинтара вздохнула:

– В книге Питера Войта в адрес тесного круга учёных вокруг лидирующей теории, которые вытесняют из науки всех несогласных, использован термин «мафия»; в книге Ли Смолина этот же феномен называется деликатно «социологические проблемы в науке».

Никки усмехнулась:

– Как терминами ни жонглируй, очевидно, что фундаментальная наука без фундаментальной свободы обречена на пробуксовку. Кроме того, удивительно субъективной остаётся такая важная вещь, как оценка новой теории. Я думаю, что можно ввести надёжный параметр научности и перспективности новой физической теории. Например, вычислить отношение наблюдаемых феноменов, предсказанных данной теорией, к числу сильных физических предположений теории. Естественно, так можно проверять лишь теории физических явлений.

Математические теории, не имеющие отношения к реальному миру, в принципе нельзя проверить экспериментом.

Дзинтара заинтересованно спросила:

– А можно пример оценки физических теорий?

– Теория гравитации Эйнштейна сделала одно существенное предположение: гравитация – это искривлённое пространство-время. На основе этого предположения удалось объяснить не только весь спектр ньютоновских явлений – ведь способность объяснить эмпирический базис старой теории является обязательным условием любой новой физической теории, – но и аномальную прецессию орбиты Меркурия, отклонение света звезды возле Солнца, замедление времени в гравитационном поле Земли, а также существование чёрных дыр и гравитационных волн. То есть параметр научной надёжности для теории Эйнштейна – пять. По этому параметру теория струн или инфляционная теория имеют уровень надёжности гораздо меньший. А если теория имеет параметр научной надёжности, равный единице и меньше, то эта теория ещё не стала физической теорией, а находится в статусе недоказанных гипотез или просто математических построений, не претендующих на объяснения реальности. Этот параметр оценки теорий близок к известному отношению «цена – качество» для оценки любого изделия. А чем является фундаментальная теория, как не изделием человеческого разума?

Дзинтара сказала:

– Как бы ни были велики успехи фундаментальной физики за прошедшие сто лет, вопросов, на которые мы ещё не знаем ответа, остается всё равно множество. Вот «чёртова дюжина» самых главных вопросов, которые остаются нерешёнными в фундаментальной физике и физике элементарных частиц:

1. Стандартная модель опирается на девятнадцать числовых параметров, например шесть масс лептонов, шесть масс кварков, массу бозона Хиггса и три константы, характеризующие интенсивность электромагнитного, сильного и слабого взаимодействия. Можно ли построить более простую модель? Связаны ли между собой лептоны и кварки?

2. Из чего состоят кварки? Откуда берётся такой разброс в массах кварков?

3. Почему кварки нельзя наблюдать в свободном состоянии?

4. Есть ли другие ступени у Квантовой Лестницы? Может быть, ступени этой Квантовой Лестницы уходят в бесконечную глубину, по которой предстоит идти вечно? Но даже если этот увлекательный путь существует, насколько он практически полезен? Не станет ли он лишь интеллектуальным удовольствием без какой-либо связи с реальностью?

5. Как решить застарелые проблемы квантовой расходимости, связанные с предполагаемой точечностью электрона и других элементарных частиц?

6. Есть теории, которые предсказывают существование магнитных монополей – частиц, которые несут в себе отрицательный или положительный магнитный заряд, так же как электроны и позитроны обладают отрицательным и положительным электрическим зарядом. Но пока никто не открыл магнитных монополей. Есть ли они?

7. Есть теории, которые предсказывают распад протонов за времена, превосходящие длительность жизни Вселенной, но пока никто не наблюдал такой распад протона в окружающем нас мире, полном протонов. Реален ли этот эффект?

8. Что определило наблюдаемые величины фундаментальных констант нашего мира – гравитационной постоянной, скорости света, постоянной Планка, заряда электрона? Физик Эддингтон попытался найти алгебраическое уравнение, числовые решения которого дали бы мировые константы. Многие считают, что вселенных с разными величинами констант много, и мы живём в такой, где константы благоприятствуют возникновению звёзд, планет и разумной жизни, иначе некому было бы задаваться такими вопросами. Так ли это?

9. Один из фундаментальных вопросов, на который современная физика не знает ответа: почему тела гравитируют, или, вернее, искривляют вокруг себя пространство? Откуда пространство на миллиарды километров вокруг звезды знает, что ему нужно искривиться; как звезда или элементарные частицы, из которых она состоит, сообщают ему об этом?

10. Многие полагают, что существует квантовая теория гравитации, которая является аналогом квантовой электродинамики, только вместо фотона там живёт и работает гравитон – элементарная частица гравитационного поля. Другие считают гравитационное поле особенным: не квантовым, но возникшим при каком-то загадочном действии других квантовых полей, описанных в Стандартной теории. Кто прав? А может, существует какой-то третий вариант?

11. В общей теории относительности есть туманное место о законе сохранения энергии, дискуссии о котором затруднительны, потому что закон сохранения энергии канонизирован, и покушаться на него могут только еретики. Может, пора обсудить это место в теории Эйнштейна без запаха костров инквизиции?

12. Есть теории, которые предсказывают пространственно-временные червоточины. На них возлагаются надежды тех, кто мечтает о межзвёздных путешествиях. Насколько реальны такие червоточины и такие надежды?

13. Проблема физики внутри чёрных дыр: что там происходит? Насколько отличается физика мира внутри чёрной дыры и снаружи?

Никки подумала и добавила вопрос от себя:

– Математических теорий много, а физический мир – один. Вопрос не в математической корректности теории, вопрос в том, насколько данная теория правильно отражает мир. Где математика, а где реальность? Это главный вопрос, который стоит перед физикой фундаментальных взаимодействий.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

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

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