

А. Абрашкин

**ТАЙНА
БОЛЬШОГО ВЗРЫВА**

Научный детектив

Нижний Новгород, 2018

Мне ничего не надо в мире:
Я – созерцатель, я – один.
Я наблюдаю, как в эфире
Клубится еле зримый дым.

Будь то игра воображенья
Или оптический обман
Без смысла, веса, без значенья:
Он мне – единственному дан!

Пускай проходят люди мимо –
Он недоступен никому:
Элладе, Вавилону, Риму,
Лишь – созерцанью моему.

Пускай незрящие смеются –
Им этот знак непостижим:
В эфире горнем дымки вьются,
Богам понятные одним.

А.Л. Чижевский

Содержание

От автора

Предисловие. В предчувствии научной революции

Глава 1. Что же было в начале начал?

1.1. Теория Большого Взрыва

1.1.1. Нестационарные миры Александра Фридмана

1.1.2. Закон Хаббла–Леметра

1.1.3. Георгий Гамов: физик от бога

1.2. Инфляционная космология: путь к истине?

Глава 2. История эфира

2.1. Пятая сущность

2.2. В ореоле света и величия

2.3. Прощай, эфир?!.

Глава 3. Этот квантовый, квантовый, квантовый, квантовый мир

3.1. О физике микромира

3.2. Явление вакуума

3.3. Сетка эфиров

Глава 4. Модель физического вакуума

4.1. $c\hbar$ подход в физике

4.2. Эфирон – первочастица Вселенной

4.3. Дискретное пространство-время

4.4. Самая знаменитая формула физики

4.5. “Братья” эфирона

Глава 5. Сценарий Большого Взрыва

5.1. Материализация эфиронов

5.2. Рождение Вселенной как фазовый переход

Глава 6. Квантовая гравитация: новый взгляд

6.1. Теория Фатио–Лесажа

6.2. Квантово-релятивистская форма записи закона всемирного тяготения

6.3. Квантовый механизм действия гравитации

6.4. Яблоко Ньютона

Глава 7. Лик светоносного эфира

7.1. Что есть свет?

7.2. Физический смысл постоянной тонкой структуры

Глава 8. О темной материи

8.1. Нерелятивистская квантовая гравитация

Вместо заключения. Темные сущности физики и гесиодовский миф творения

ОТ АВТОРА

В науке я прослыл поэтом,
Среди поэтов – я ученый...

А.Л. Чижевский

Мир науки – безграничный “океан” теорий, гипотез, фактов, сведенных воедино трудом наиболее выдающихся представителей человечества. Его содержательная многоплановость поражает всякого, кто хотя бы однажды соприкоснулся с ним. В каждом достижении науки отражен бессмертный гений творчества лучших умов человечества. Но, как и в любом наборе систематизированных правил и утверждений, в этом мире есть свои вершины, жемчужины коллекции. Теория Большого Взрыва, раскрывающая этапы рождения и формирования нашей Вселенной, безусловно, одна из них.

Положения этой ключевой для космологии теории выкристаллизовывались в течение XX века. Физики выяснили и убедительно доказали, что начальное состояние Вселенной представляло сверхплотную микроскопическую область, ее еще называют точкой сингулярности (от лат. *singularis* – “единственный, особенный”). В следующие моменты времени Вселенная начала расширяться, что и продолжает делать до сих пор. Инициация этого устойчивого движения из точки сингулярности во внешнее пространство получила название Большого Взрыва. По современным оценкам он произошел 13,8 миллиарда лет назад.

На сегодняшний день теория Большого Взрыва получила всеобщее признание. Вместе с тем представления ученых о первых актах вселенской драмы еще не вполне ясны. Теория Большого Взрыва отнюдь не являет собой пример законченного знания. Остается ряд серьезных вопросов, и они будут обсуждаться в книге. Но среди “белых пятен” есть и такие, которых физики-теоретики предпочитают не касаться. Что было до Большого Взрыва? Какое состояние мира предшествовало ему? Как устроен первичный вакуум? Как внутри него возникла точка сингулярности и можно ли предложить для нее адекватную физическую модель? Эти и близкие им по содержанию вопросы (число их заведомо больше) и составляют, на взгляд автора, тайну Большого Взрыва.

Исследователи, идущие путем Эйнштейна (столбовой дорогой современной физики), используют понятие пустого пространства. Вдохнуть в него жизнь, способность к развитию и направленную эволюцию они пытаются путем увеличения числа измерений пространства. В теории струн, претендующей на разгадку внутренней природы первичного вакуума, их число равно одиннадцати. Пока это предел, но нет уверенности, что теоретики в дальнейшем не захотят превысить этот рубеж.

У каждой научной дисциплины, тем более основанной на математике, есть своя логика, и мы не исключаем, что путь геометризации физики и поиска изначального устройства вакуума в виде скрученных многомерных пространственных сущностей (струн) в конечном итоге приведет к строго выстроенной картине рождения физической реальности. Но очевидно, что погружение в 11-мерное пространство вряд ли добавит сколько-нибудь ясное осознание, как же в действительности возник наш мир. Здесь мы вправе сослаться на интуицию, которая подсказывает, что первичные сущности не должны быть умопомрачительными “конструкциями” и формирование материальных начал шло от простых форм к более сложным (в плане математического описания) и более совершенным (в плане набора физических свойств). Мы, безусловно, признаем за геометрическими изысканиями одну из тропок постижения реальности, но думаем, что она не является оптимальной и, уж во всяком случае, наиболее простой и доступной для

понимания. Из Москвы в Петербург можно попасть напрямую, а можно в обход, например, через Владивосток. Оба маршрута, разумеется, ведут к конечному успеху, но первый из них следует признать более удобным и приемлемым для путешественников.

Настоящая книга предлагает взглянуть на тайну Большого Взрыва с иных позиций. Первичный вакуум (или то, что мы подразумеваем под физическим пространством) не является пустым и бессодержательным. Иначе как из него могло родиться нечто сущее? Материя и физические поля являются его порождениями, и он несет в себе те изначальные сущности, из которых и сформировалось все наблюдаемое нами многообразие вещей. Нет никакой нужды плодить дополнительные измерения, искривлять пространство и искать элементы бытия в его складках.

Центральная тема книги – природа физической субстанции, под которой понимается та изначальная “пустота”, которая существовала в начале начал, до момента Большого Взрыва (возникновения нашего мира). В такой постановке проблема Большого Взрыва еще не рассматривалась. Эта пустота обладает, очевидно, определенными свойствами. Более того, она существовала в чистом виде до Большого Взрыва, была реальностью, явью – первичным космическим вакуумом. Выяснение его возможной природы – это серьезнейшая мировоззренческая проблема, напрямую связанная с созданием теории квантовой гравитации и прояснением загадочной реальности новейшего естествознания – темной энергии. Им в книге тоже дается оригинальное объяснение.

Теперь о форме изложения. Академик Игорь Ростиславович Шафаревич в статье “Из истории естественнонаучного мировоззрения”, говоря о процессе рождения классического естествознания в XVI–XVII веках, проницательно отметил: “Создатели этого нового естествознания вполне отдавали себе отчет в том, какой огромный переворот в науке они совершают. Галилей, например, писал свои работы в основном в популярной, доходчивой форме, в виде беседы нескольких человек, не на общепринятом тогда языке науки – латыни, а на народном, итальянском языке, явно стремясь пропагандировать свои идеи”. Следуя примеру великого итальянца, я излагаю свои идеи в популярной форме.

Анатолий Абрашкин,
октябрь, 2020 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В предчувствии научной революции

Коль трещать начнут стропила,
Стройте сразу новый дом,
Чтоб с женой, детьми, скотом
Крыша вас не придавила.

Н. Ленау

Звездное небо – завораживающая картина, мир, совсем не похожий на земной. Что может быть более достойным для созерцания, чем небосвод с движущимися по нему светилами? Это прекрасно выразил древнегреческий философ Анаксагор. На вопрос, для чего человеку лучше родиться, чем не родиться, он ответил: “Чтобы созерцать небо и устройство всего космоса”. Современному человеку эта романтическая установка не очень подходит, он озабочен прежде всего земными проблемами и обращает взгляд к ночному небу, разве что оказавшись на отдыхе в деревне. Здесь оно, свободное от городской подсветки, предстает в своем первозданном величии. В культовой советской песне из фильма Леонида Гайдая “Кавказская пленница” есть такие строки:

Трутся об ось медведи,
Кружится Земля.

Слушая песню более полувека, я только недавно осознал, что у этих строк есть естественнонаучный подтекст. Полярные мишки, крутящие земную ось, - это два важнейших созвездия северного неба: Большая и Малая Медведицы. Признаюсь, мне крайне неловко говорить об этом прозрении: настолько теперь очевидна мысль поэта. Но это как раз и подтверждает факт, что в нас доминируют земные образы и мало в ком еще сохранилась детская любознательность, свойственная первым астрономам древности.

Закидывая голову вверх, не имея никаких приспособлений для изучения космоса, они с великим упорством пытались понять его устройство. Первыми в Греции стали наблюдать небо пифагорейцы (VI в. до н.э.). Они знали о существовании пяти планет и пытались найти числовые закономерности, лежащие в основе небесного устройства. В центре мира у них находилась Земля, вокруг нее вращались пять планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн (лишь их можно было увидеть невооруженным глазом), а также Солнце и Луна, которые включались греками в число планет. Планеты меняли свое положение относительно звезд, и потому назывались еще блуждающими звездами. Внешней границей греческого космоса выступала сфера неподвижных звезд. Аристотель и его последователи полагали, что выше нее нет ничего, даже пространства; стоики считали, что там находится бесконечное пустое пространство; атомисты же вслед за Демокритом считали, что за нашим миром (ограниченным сферой неподвижных звезд) находятся другие миры.

Греческая астрономия стала важнейшей составной частью античной науки. Ее оформление как системы знаний, основанной на строгих положениях – аксиомах, произошло в VI–V веках до н.э. Историки науки связывают этот временной этап с первой научной революцией (возникновением науки в современном понимании).

Зачинатели греческой астрономии (Пифагор, Платон и др.) постулировали, что планеты равномерно движутся по окружностям вокруг Земли. Согласно представлениям того времени окружность считалась совершенной кривой, а сфера – совершенным телом. Поскольку небесные тела, по общепринятому тогда мнению, имели божественную природу, то им подобало двигаться только по совершенным, с геометрической точки

зрения, траекториям. У Пифагора это были окружности. Евдокс Книдский (IV в. до н.э.) предложил более совершенную модель, в которой движение планет моделировалось посредством вращения нескольких вложенных друг в друга сфер с общим центром (теория гомоцентрических сфер). Но уже сами греки обратили внимание, что яркость планет меняется. Это означало, что они то приближаются к Земле, то удаляются, а следовательно, не могут двигаться по поверхности сферы.

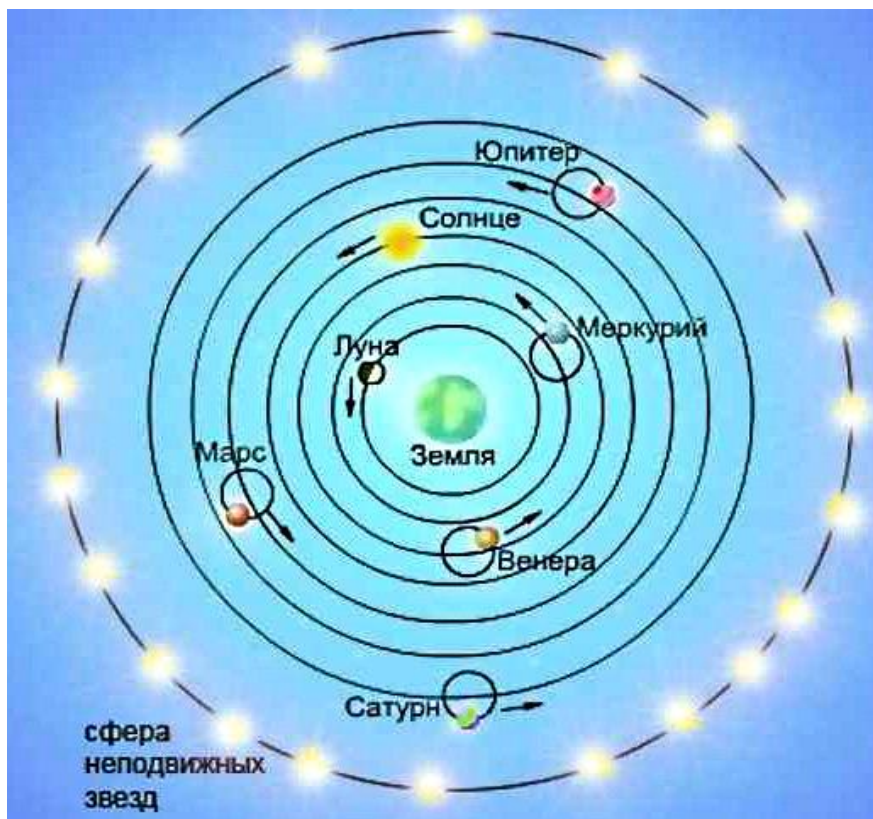


Рис. 1. Схема геоцентрической системы мира

Астроном Клавдий Птолемей, работавший в Александрии во II веке, подвел итоги работ древнегреческих астрономов, а также собственных наблюдений и построил более сложную теорию движения планет. Для достижения соответствия расчетов и наблюдений Птолемей отказался от концентрических сфер. Простая схема движения по окружностям усложнялась введением эпициклов. Птолемей предположил, что планета вращается по малой окружности (эпициклу) с постоянной скоростью, а центр эпицикла равномерно движется по большой окружности – деференту, в центре которого находится Земля (рис. 1). Но все эти усовершенствования все равно не давали необходимого соответствия с наблюдениями, и Птолемею пришлось придумывать новые способы расчета движения планет. Не изменяя системе эпициклов, состоящей в сложении круговых движений, он разработал хитроумную схему выбора нового центра деферента (экванта), который теперь уже не совпадал с Землей. Как следствие, движение по большой окружности (смещенному деференту) становилось неравномерным относительно земного наблюдателя. Для описания вновь открываемых неравномерностей в движениях Луны или планет вводились новые дополнительные эпициклы: вторые, третьи и т. д. Система Птолемея разлагала сложные элементы движений на простые и правильные (о чем мечтал еще Платон) и позволяла вычислять сложные петлеобразные пути планет, их ускорения и замедления, стояния и попятные движения, т.е. их положение на небесной сфере в любой момент времени. Для этого Птолемей составил впервые в истории астрономии планетные таблицы, по которым можно было заранее определять положение планет с весьма высокой

по тем временам точно: до 10 угловых минут. Преимущество системы Птолемея было в том, что она давала очень точное соответствие с наблюдениями. Однако такая система в целом стала настолько громоздкой, что ее концепция фактически противоречила идеализированному представлению о равномерном движении по окружности как исходному посылу самой философии о геометрическом совершенстве Вселенной. Поэтому многие мыслители, философы и астрономы время от времени высказывали сомнения в справедливости системы Птолемея.

Все математические проблемы античной астрономии проистекали из постулата о центральном месте нашей планеты во Вселенной. В противовес этой геоцентрической точке зрения гелиоцентрическая система мира исходит из представления о том, что Солнце является центральным небесным телом, вокруг которого вращается Земля и другие планеты. Впервые ее предложил в начале III века до н.э. Аристарх Самосский. Он пришел к гелиоцентризму, исходя из установленного им факта, что Солнце по размерам много больше Земли. Естественно было предположить, что меньшее тело обращается вокруг большего, а не наоборот. Идея центрального положения Солнца, однако, была слишком революционной для того времени. В Средние века гелиоцентрическая система мира была практически забыта и получила широкое распространение только в XVI–XVII веках.

Рождение гелиоцентризма связывают с выходом в 1543 году книги Николая Коперника “О вращении небесных сфер”. Как гласит легенда, автор получил первую копию своей первой и единственной книги, лежа на смертном одре. Коперник откладывал издание книги столь долго, сколько это было возможно, но причиной тому были не гонения со стороны католической церкви, которая была его единственным работодателем на протяжении всей жизни и поддерживала в подвижничестве. Сам папа Римский проявлял интерес к его новым идеям. Более вероятно, что Коперник просто боялся спровоцировать полемику и публичное осмеяние своих взглядов, которые шли вразрез как со здравым смыслом, так и с устоявшимися научными знаниями. Люди, далекие от науки, наивно верят, что все без исключения ученые заинтересованы в новых идеях и теориях, способствующих прогрессу понимания. Это утопия, не имеющая ничего общего с реальностью. Можно быть уверенным, что астроном был бы еще более нетороплив, если бы знал, к какому решительному перевороту в науке приведет его книга. Ведь, не считая перемены ролей между Солнцем и Землей, большинство шагов, которые привели к сдвигам в понимании Вселенной, не были даже упомянуты в его книге. Смерть избавила его от изрядного потока критических стрел, ибо для гениев, разрушающих сложившуюся картину науки, нет более нетерпимых критиков, чем сами ученые.

Дэвид Вуттон в книге “Изобретение науки” пишет по этому поводу: “Астрономы всей Европы с большим интересом отнеслись к идеям Коперника, но почти все, за редким исключением, считали очевидным, что теория движущейся Земли неверна. Если бы Земля двигалась, мы бы это чувствовали; мы же чувствуем ветер, дующий в лицо. Предмет, падающий с высокой башни, отклонялся бы к западу. Ядро, выпущенное из пушки на запад, пролетело бы дальше, чем выпущенное на восток. Поскольку ничего такого не наблюдалось, ведущие астрономы – Эразм Рейнгольд (1511–1553), Михаэль Местлин (1550–1631), Тихо Браге (1546–1601), Христофор Клавдий (1538–1612) и Джованни Маджини (1555–1617) – были уверены, что Коперник ошибается. Тем не менее, они восхищались простотой его метода вычислений и вдохновлялись мыслью о возможности отказа от эквантов. Все сохранившиеся экземпляры первого (1543) и второго (1566) изданий трактата “О вращении небесных сфер” в настоящее время тщательно изучены, чтобы выявить все комментарии на полях, оставленные первыми читателями. В результате мы с большой достоверностью можем сказать, что им нравилось, а что нет, что они считали правдоподобным, а что невероятным. Им нравился математический аппарат Коперника, но они не рассматривали его в качестве научной истины. Они читали трактат, следуя рекомендациям вступительного письма (теперь мы знаем, что оно было написано

Озиандером и включено в книгу без разрешения Коперника), то есть как чисто гипотетическую конструкцию. Насколько нам известно, в 1583 году во всей Европе нашлось только три прославленных астронома, которые согласились с утверждением Коперника, что Земля вращается вокруг Солнца: в Германии Христоф Ротман (он не публиковал своих работ и в конечном итоге отказался от теории Коперника), в Италии Джованни Бенедетти (в 1585 году он опубликовал несколько фраз, посвященных этому вопросу), а в Англии Томас Диггес (который в 1576 году опубликовал работу, поддерживавшую работу Коперника)”. Копернику надо было бы прожить еще 33 года, чтобы дождаться выхода книги Диггеса – первой ласточки его будущего триумфа.



Рис. 2. Джордано Бруно

Уровень травли, которой подвергнулся бы творец теории гелиоцентризма, проживи он дольше, можно представить, проследив судьбу Джордано Бруно (1548–1600). Преподаватели Оксфорда изгнали его после трех лекций под предлогом заимствования им идей у Фичино, философа эпохи Возрождения, последователя Платона (который обожествлял Солнце). Но основная причина запрета, конечно же, состояла в проповедуемых им идеях, а они опирались на учение Коперника. Бруно пронес восхищение великим польским астрономом через всю жизнь. В работе “О безмерном и неисчислимых” он писал: “Взываю к тебе, прославленный своим достойным изумления умом, гениальности которого не коснулся позор невежественного века и чей голос не был заглушен шумным ропотом глупцов, о благородный Коперник”. После бегства в Лондон Бруно за полтора года опубликовал шесть книг. Все они написаны на итальянском языке. Это крайне важный момент, уже отмечавшийся в авторском вступлении. Бруно обращается не к маститым профессорам и научным авторитетам: для этого следовало использовать латынь. Бруно пишет для образованных англичан. “Выбирая итальянский, Бруно подавал сигнал, что обращается к поэтам и придворным, а не к профессорам математики и философии” (Д. Вуттон).

Помимо пропаганды гелиоцентризма, Бруно проповедовал бесконечность Вселенной и числа миров в ней, отождествление звезд с далекими солнцами и материальное единство мира. Во время суда над Бруно космологические вопросы широко

обсуждались на финальной стадии трибунала. Ему было предложено отречься от идеи о множественности миров, но он ответил отказом. Взглядом гения Бруно разглядел, что для новой астрономии необходимо напрямую отказаться от концепции замкнутого и конечного мира. Это включает в себя отказ от аристотелевских понятий “естественных” мест и движений как противоположных неестественным, насильственным. В бесконечной Вселенной Бруно все места эквивалентны, и потому естественны для всех тел.

Тезисом о бесконечности Вселенной Бруно развивал коперниковский гелиоцентризм, в котором все еще фигурировала сфера неподвижных звезд. Вопрос о конечности границ нашего мира активно обсуждается и в наше время. К теории Большого Взрыва он тоже имеет самое непосредственное отношение. Вселенная расширяется, значит, у нее есть и периферия, называемая горизонтом событий. А что находится за этим горизонтом? Пока на этот счет высказываются только гипотетические предположения. И это сегодня, при наличии в арсенале астрономов гигантских телескопов. Что же говорить о временах, когда их еще не было? Утверждая бесконечность Вселенной, Бруно возрождал на гелиоцентрической основе идею атомистов.

Другим активным пропагандистом гелиоцентризма был английский астроном Томас Диггес (1546–1595). В отличие от Николая Коперника, он (вероятно, первым из европейских ученых) предположил, что звёзды располагаются во Вселенной не на одной сфере, а на различных расстояниях от Земли – более того, до бесконечности. В этом он имел предшественников в лице некоторых древнегреческих астрономов, и в этом смысле стоит вспомнить, что все новое – это хорошо забытое старое. Но идея бесконечной Вселенной еще ждала своих героев.

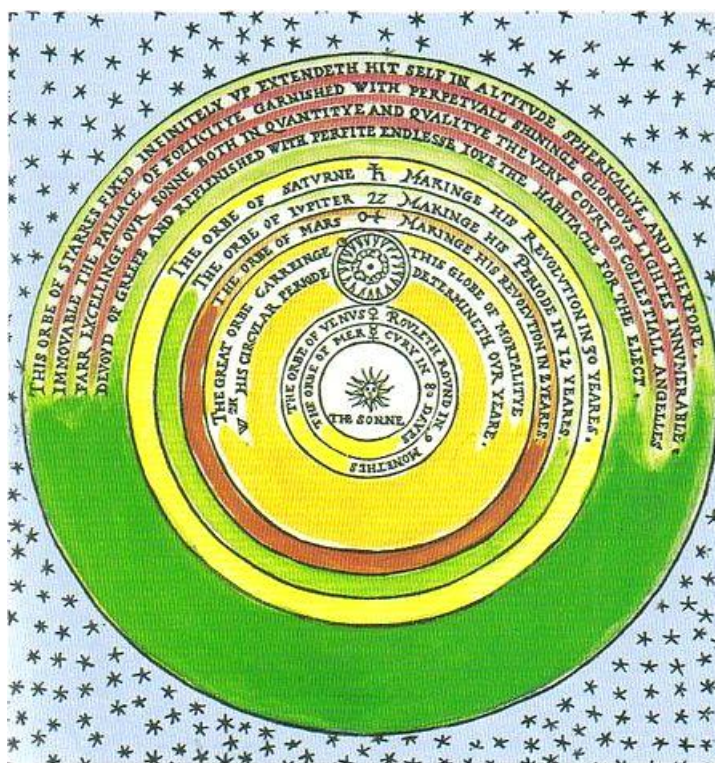


Рис. 3. Строение Вселенной по Томасу Диггесу (из работы “Совершенное описание небесных сфер”)

Вселенная Диггеса – это не замкнутый мир Коперника. Звездное пространство не ограничено сверху. Диггес связал астрономическое небо с теологическими небесами. Исключив границу конечной Вселенной (уничтожив предел небесной сферы), Диггес задумался и о ликвидации границы между звездным небом и потусторонней реальностью.

Если можно пролететь между звезд, которые как наше Солнце, то попадешь прямо в рай. Это ясно видно из составленной Диггесом диаграммы (рис. 3). На ней показана сфера неподвижных звезд, но звезды разбросаны и с внешней стороны сферы, до самого края иллюстрации. В диаграмме Диггеса сообщалось: “Сфера фиксированных звезд простирается бесконечно в высоту сферически, и потому она неподвижна: дворец блаженства, украшенный бесчисленными горящими свечами, превосходящими наше Солнце по количеству и качеству, дом небесных ангелов, в котором нет горя, а только бесконечное счастье, обитель для избранных”. Диггес, в отличие от Бруно, не считал Вселенную за пределами Солнечной системы тождественной по своим физическим свойствам Солнечной системе. Как метко заметил историк науки Александр Койре, Диггес “склонен помещать звезды не на небе астрономов, а на небесах теологов”.

Споры о том, бесконечна ли Вселенная, будут продолжаться и в следующие времена. К примеру, Иоганн Кеплер (1571–1630) убежденно отстаивал конечность Вселенной. Здесь он выступал прежде всего как астроном-практик, и вся его натура экспериментатора и наблюдателя протестовала против признания существования звезд на бесконечном удалении от Земли. К этому важно добавить, что первые измерения расстояний до звезд относятся к первой половине XIX века, и исследователи, жившие ранее и размышлявшие о висящей над нами сфере звезд, могли вволю фантазировать. Кеплер не признавал, что из любой точки Вселенная будет выглядеть одинаково, то есть выступал против тезиса об однородности пространства, и стоит согласиться, что наблюдателю, “привязанному” к Земле, для этого нужна смелость и недюжинная отвага мысли. Рене Декарт (1596–1650) был не так радикален, но и он, выбирая прагматическую позицию, не делает решающего шага в сторону Бруно и ограничивается весьма осторожным заявлением: “Мы никогда не станем вступать в споры о бесконечном, тем более что нелепо было бы нам, существам конечным, пытаться определить что-либо относительно бесконечного и полагать ему границы, стараясь постичь его. Вот почему мы не сочтем нужным отвечать тому, кто спрашивает, бесконечна ли половина бесконечной линии, или бесконечное число четное или нечетное и т. д. О подобных затруднениях, по-видимому, не следует размышлять никому, кроме тех, кто считает свой ум бесконечным. Мы же относительно того, чему в известном смысле не видим пределов, границ, не станем утверждать, что эти границы бесконечны, но будем лишь считать их неопределенными. Так, не будучи в состоянии вообразить столь обширного протяжения, чтобы в то же самое время не мыслить возможности еще большего, мы скажем, что размеры возможных вещей неопределенны”. В отличие от Кеплера Декарт не считает Вселенную конечной, но он называет ее не бесконечной (*infinite*), а только неопределенной (*indefinite*), то есть бесконечной потенциально, не имеющей предела.

На фоне этих мнений становится совершенно ясно, что философия Бруно более мощно и более определенно торила дорогу новому естествознанию. Вселенная Бруно не только бесконечна и безгранична, но и однородна: повсюду действуют одни и те же законы, повсюду находятся объекты одной и той же природы. Это важнейший шаг к центральным понятиям классической механики: абсолютному пространству и принципу относительности. Хотя наука XVI века постепенно отходила от концепции твердых небесных сфер, несущих на себе планеты, именно Бруно первым связал отказ от этой концепции с гелиоцентризмом. У того же Коперника в названии книги еще фигурируют небесные сферы, поэтому философия Бруно воистину была героической. Уже позже Исаак Ньютон, открыв закон всемирного тяготения, объяснит механизм вращения планет в Солнечной системе, но он будет творить уже на почве, расчищенной Бруно и его последователями.

Математическая запись закона всемирного тяготения представлена на рис. 4. Она очень изящна: две материальные точки притягиваются друг к другу с одинаковой силой, которая пропорциональна их массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния

между ними. Коэффициентом пропорциональности выступает величина G , называемая гравитационной постоянной и равная

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2.$$



Рис. 4. Формула и ассоциации, связанные с законом всемирного тяготения

Она является одной из мировых констант и служит мерой притяжения материальных масс. Сформулировав закон всемирного тяготения как универсальный закон природы, справедливый для всей Вселенной, Ньютон рассмотрел (в переписке с английским теологом Ричардом Бентли в 1692–1693 годах) возможную структуру гравитирующей Вселенной для конечной и бесконечной Вселенной. Он пришел к выводу, что лишь во втором случае рассеянная в начальный момент материя могла образовать множество космических объектов, так как только в бесконечной Вселенной могут существовать многочисленные равноправные центры гравитации. В конечном же объеме центр масс выступает выделенной точкой, центром мира, и он рано или поздно притянул бы к себе все остальное вещество. Поэтому фундаментом для последующих гравитационных моделей Вселенной стало представление о бесконечном пространстве, в котором находятся бесчисленные космические объекты, связанные друг с другом силой всемирного тяготения.

Эпоха от Коперника до Ньютона охватывает период формирования классической космологии. Ознаменованный им мировоззренческий переворот получил название научной революции. Американский философ Томас Кун дал ей название “коперниканской”. Не все историки и философы науки согласны отдавать Копернику пальму революционера-первопроходца. К примеру, Дэвид Вуттон предлагает ограничить период революционных изменений в науке от наблюдения сверхновой звезды Тихо Браге в 1572 году до 1704 года – даты выхода “Оптики” Исаака Ньютона, последнего труда великого английского ученого по естественным наукам. Вуттон настаивает, что наука нового времени с ее сплавом экспериментального и теоретического подходов рождалась именно в этот обозначенный отрезок времени (жизнь Коперника в него не укладывается). Для Вуттона принципиален момент, когда ученые-профессионалы перейдут на рельсы

новой теории. Но это весьма спорно, и думается, что отлучать Коперника от его коллег, унаследовавших его гелиоцентрическую идею, было бы неверно. Наука Нового времени, возникшая в результате второй глобальной научной революции, – это также и новый взгляд на устройство мира, а он сформировался в том числе под влиянием коперниковских идей. Не случайно и то, что принцип, утверждающий, что ни один астрономический объект не занимает во Вселенной какое-то особенное привилегированное место, носит имя Коперника.

Вторая научная революция утвердила идею бесконечной и неизменной во времени (стационарной) Вселенной. При таком взгляде вопрос о ее начале не возникает. Эти представления продержались в физике вплоть до первых десятилетий XX века.

* * *

Закон всемирного тяготения – одно из ярчайших достижений теоретической физики. Еще до того, как Ньютон записал его формулу, Иоганн Кеплер эмпирическим путем определил, что все планеты движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце. Это стало важнейшим этапом в понимании движения планет, но закон Кеплера все же оставался только эмпирическим правилом, полученным из астрономических наблюдений. Причину, определяющую эту общую для всех планет закономерность, самому Кеплеру найти не удалось. Она нуждалась в теоретическом обосновании, и данную задачу с блеском решил Ньютон на основе своего универсального закона притяжения.

В системе отсчета, связанной с Солнцем, траектории планет оказываются удивительно простыми. Это эллипсы. С другой стороны, с Земли их движение выглядит крайне запутанным. В этом смысле стоит лишний раз подчеркнуть, какую сложную задачу решали древнегреческие астрономы, находившиеся на позиции геоцентризма. Победа гелиоцентризма дала колоссальный импульс развитию небесной механики. Это преобразование космологии является также прекрасным примером того, что наука может в течение тысячелетий двигаться, мягко говоря, не в самом оптимальном направлении. Представьте, к слову, греческого астронома, рассчитывающего систему из нескольких десятков гомоцентрических сфер, вращающихся вокруг Земли. Такую задачу сегодня осилит компьютер, но считать ее вручную, наверное, мало кто отважится. История науки – это в том числе история ошибок и заблуждений. Другое дело, что принципы, на которых строится научное знание, позволяют эти заблуждения со временем искоренить или обойти на основе альтернативных подходов. В этом как раз и состоит великая сила научного процесса.

Напомнить об этом совсем нелишне, поскольку вместе с достижениями новая космология привнесла и некоторые вопросы, которые трудно было разрешить в рамках принятых представлений об устройстве Вселенной. Речь идет о двух (фотометрическом и гравитационном) парадоксах, всерьез пошатнувших уверенность в безупречности ньютоновской картины мироздания.

Фотометрический парадокс во всей его полноте впервые сформулировал швейцарский астроном Жан-Филипп Луи де Шето в 1744 году. Суть его в следующем. В бесконечной Вселенной, все пространство которой заполнено звездами, всякий луч зрения должен оканчиваться на звезде, аналогично тому, как в густом лесу мы обнаруживаем себя окруженными стеной из удаленных деревьев. Поток энергии излучения, принимаемого от звезды, уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния до нее. Но угловая площадь (телесный угол), занимаемая на небе каждой звездой, также уменьшается обратно пропорционально квадрату расстояния, из чего следует, что поверхностная яркость звезды (равная отношению потока энергии к телесному углу, занимаемому на небе звездой) не зависит от расстояния. В любой точке небосвода должна находиться какая-нибудь звезда. Наше Солнце является типичной звездой, поэтому во

всех точках неба поверхностная яркость должна быть равна поверхностной яркости Солнца. Следовательно, все небо (не только ночью, но и днем) должно быть таким же ярким, как и поверхность Солнца.

Теперь о гравитационном парадоксе. В 1874 году немецкий математик Карл Готфрид Нейман, а немного позже и (независимо) его соотечественник астроном Гуго фон Зелигер применили закон тяготения Ньютона ко всей бесконечной массе небесных тел, заполняющих мир. По их вычислениям получалось, что закон Ньютона, полностью определявший поле тяготения при известном распределении масс в конечном пространстве, приводил к неопределенности, если попытаться распространить его на всю бесконечную Вселенную: в каждой точке на материальное тело действовала равнодействующая сил бесконечной величины. Но разность бесконечностей – всегда неопределенность. Как оказалось, модель ньютоновской Вселенной не дает однозначного значения для величины силы. Чтобы преодолеть эту трудность, требовалось предположить, что плотность распределения массы по объему спадает до нуля на бесконечности, что противоречило представлению о бесконечной и однородной по плотности Вселенной. Более того, такое предположение объявляло Вселенную конечной.

Парадоксы указывают на несправедливость некоторых предположений, которые закладываются в основание физической модели. Физики скрупулезно изучили влияние каждого из них и выяснили все возможные пути разрешения парадоксов. Для каждого рассматривались разные варианты, но для нас важен тот, который в конце концов оказался правильным. Подробное математическое решение фотометрического парадокса было дано Уильямом Томсоном (лордом Кельвином) в 1901 г. Оно основано на конечности возраста Вселенной. Поскольку (по современным данным) около $13,75 \pm 0,11$ миллиардов лет назад во Вселенной не было галактик и квазаров, самые далекие звезды, которые мы можем наблюдать, расположены на расстояниях около 13 с лишним миллиардов световых лет. Это устраняет основную предпосылку фотометрического парадокса – то, что звезды расположены на любых сколь угодно больших расстояниях от нас. Вселенная, наблюдаемая на больших расстояниях, настолько молода, что звезды еще не успели в ней образоваться. Заметим, что это нисколько не противоречит принципу безграничности Вселенной: ограничена не Вселенная, а только та часть ее, где успели за время прихода к нам света родиться первые звезды.

Гравитационный парадокс оказался еще более крепким орешком. Без преувеличения, он стал самым серьезным затруднением теории тяготения Ньютона. Для преодоления этого парадокса высказывались даже предложения изменить формулировку закона всемирного тяготения, несмотря на то что на протяжении многих лет он подтверждался практически во всех экспериментах. Возникла даже идея считать, что ньютоновский закон тяготения справедлив только в небольших, земных масштабах наблюдаемой Вселенной. Зелигер и Нейман, к примеру, предложили домножать ньютоновскую силу взаимодействия двух масс на экспоненциально затухающий множитель. Но такая модификация закона тяготения не давала правильного описания движения планет.

Закон всемирного тяготения имеет ограниченную область применимости. Он записывается для неподвижных точечных масс. В случае распределенных (неточечных) массивных объектов, движущихся с достаточно большими скоростями, вид закона, очевидно, должен меняться. Но, помимо этого, у закона всемирного тяготения есть своя “болевая точка”. Ни Ньютон, ни кто-либо из его последователей так и не смогли указать механизм распространения гравитации. В теории Ньютона гравитационное поле распространяется мгновенно от источника, как бы далеко мы от него ни находились. Скорость гравитации равна бесконечности, и если одно из взаимодействующих тел сместится в сторону, то на него мгновенно начнет действовать другая по величине сила. Это еще одно слабое место ньютоновской теории тяготения.

Высочайший пиетет астрономов к закону всемирного тяготения обуславливался тем, что в течение длительного времени на его основе выводились результаты, неизменно подтверждаемые наблюдениями. Выражение “астрономическая точность” даже стало поговоркой. Но в 1859 году француз Леверье (первооткрыватель Нептуна) сообщил, что обнаружил расхождения теории и эксперимента при вычислении смещения перигелия Меркурия. Как известно, параметры орбит планет Солнечной системы из-за влияния друг на друга со временем претерпевают медленные изменения. В частности, ось орбиты Меркурия постепенно поворачивается (в плоскости орбиты) в сторону орбитального движения. Величина этого смещения, однако, не объясняется в рамках ньютоновской теории. Физики вынуждены были искать пути ее обобщения или модификации. Проблема разрешилась после создания Альбертом Эйнштейном общей теории относительности (ОТО) в 1915 году.

Гравитационный парадокс был также разрешен в рамках ОТО. Одним из ее постулатов стало утверждение, что скорость распространения гравитации равна скорости света в вакууме c и составляет величину

$$c \approx 300\,000 \text{ км/с.}$$

Наряду с гравитационной постоянной G , это еще одна фундаментальная константа физики. Теория Эйнштейна уточняет закон всемирного тяготения для нестационарных и релятивистских (распространяющихся со скоростью света) гравитационных полей. Как и в случае фотометрического парадокса, обнаруживается принципиальная важность учета фактора времени. Действие гравитации ограничено конечной величиной скорости, и в конечной по времени Вселенной на данное тело воздействует не вся “бесконечная” масса вещества, а только та, что успела образоваться и воздействие которой “долетело” до рассматриваемой точки. В реальной нестационарной Вселенной, как показывают расчеты и доказывает опыт, тяготение определяется в основном близкими массами. Гравитационное влияние далеких масс пренебрежимо мало, то есть гравитационный парадокс отсутствует.

ОТО возникла в рамках временного периода (первые три десятилетия XX века), который соотносят с третьей глобальной научной революцией. На этом этапе были выработаны новые представления о структуре пространства и времени. Как это ни покажется удивительным, но физикам пришлось начать переосмысливать не только устройство макромира (космоса, Вселенной), но и законы микромира – “кусочков” пространства, соизмеримых с масштабом атома и его составных частей – элементарных частиц. Механика микромира строится на гипотезе Макса Планка, что для элементарных частиц любая энергия поглощается или испускается только дискретными порциями (квантами). Эти порции состоят из целого числа квантов с такой энергией E , что ее величина пропорциональна частоте излучения ν (см. рис. 5) с коэффициентом пропорциональности, равным

$$h \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с.}$$

Эту константу называют постоянной Планка. Как гравитационная постоянная G и скорость света c , она принадлежит к числу фундаментальных постоянных физики. Если первая из них символизирует классическую гравитацию Ньютона, вторая – релятивистские теории (специальную и общую теории относительности), то постоянная Планка – фирменная эмблема квантовой механики. Всем трем суждено сыграть важнейшую роль в нашем исследовании.

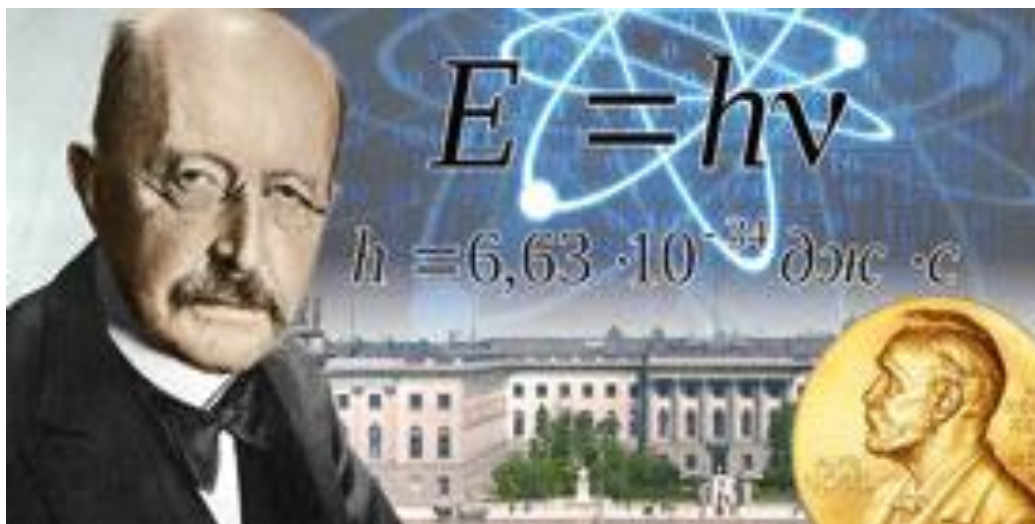


Рис. 5. Макс Планк – основоположник квантовой физики

Квантовая механика, как и эйнштейновская теория тяготения, в корне меняла философские установки ученых. Обе теории развивались независимо, и это вполне понятно в силу несоизмеримости масштабов Вселенной и атомного ядра. Релятивистская космология, впитав дух нестационарной Вселенной, породила теорию Большого Взрыва (рассказ о ней еще впереди), которая прекрасно объясняет новейшие экспериментальные данные. Квантовая механика, дав “отростки” в виде квантовой электродинамики и квантовой хромодинамики (изучающей “жизнь” кварков), позволила физикам объединить три из четырех фундаментальных взаимодействий: электромагнитное, сильное и слабое. Оставалось лишь добавить к ним гравитацию, но тут произошел сбой поступательного развития, и физики-теоретики всерьез забуксовали. Проблема квантовой гравитации в последней четверти XX века была объявлена ими главной и приоритетной задачей, но она так и не решена до сих пор.

С другой стороны, грянул гром в космологии. В 1998–1999 годах астрофизики совершили открытие, значение которого со временем будет только расти. После тщательной проверки и многократных повторных измерений сразу две группы американских экспериментаторов объявили о том, что наша Вселенная расширяется с ускорением. Говорить о том, что это сообщение шокировало научную общественность, значит ничего не сказать. Для физиков серьезнейшей загадкой был и остается механизм расширения Вселенной, а тут еще вдруг выяснилось, что это расширение вблизи горизонта событий (на границе наблюдаемого мира) не замедляется из-за действия сил тяготения, а, наоборот, ускоряется. Согласно этому открытию все происходит таким образом, как будто на периферии космоса начинают доминировать силы антигравитации. Их очевидное присутствие как раз и стало полнейшей неожиданностью для физиков. Образно говоря, они нежданно-негаданно обнаружили себя стоящими перед бездонной пропастью незнания. Субстанцию, обладающую свойством антигравитации, назвали темной энергией. Ее природу чаще всего связывают с вакуумом. Наличие в мире темной энергии не противоречит ОТО, однако для этого открытая субстанция должна обладать особым свойством – отрицательным давлением. Это резко отличает ее от обычных форм материи. Академик В.А. Рубаков заявил, что природа темной энергии – это главная загадка фундаментальной физики XXI века.

Итак, еще одна главная загадка. Не многовато ли? Не означает ли это, что в теоретической физике назрел серьезный кризис? А может, обе эти загадки – лишь оборотные стороны одной медали. Ведь и там, и там ключевым словом является “гравитация”, правда, во втором случае с приставкой “анти”. А если пойти еще дальше и

глубже, то обе проблемы связаны с устройством вакуума. Но это как раз и есть путь постижения природы Большого Взрыва и механизма рождения Вселенной! ОТО – теория классическая, она формально объясняет свойства темной энергии. Если искать ее действительную природу, то не обойтись без погружения в мир квантовых явлений, а это как раз соответствует пониманию квантовых основ гравитации. Пути эволюции физики микромира и космологии прочно переплетаются. Гипотетическую теорию, объединяющую квантовую механику и гравитацию, иногда называют еще *cGh* теорией, соединяя в этом названии обозначения трех фундаментальных физических констант – *c*, *G*, *h*, символизирующих соответственно релятивизм, гравитацию и квантовый подход.

Мы убеждены, что физика находится на пороге новой глобальной научной революции, в ходе которой будет решена проблема квантовой гравитации и в качественно новом ключе осмыслена природа вакуума.

* * *

В октябре 2008 года мне довелось участвовать в конференции по темной энергии, организованной Институтом Макса Планка в Мюнхене. Это было незабываемое событие. Каждый день университетский зал заседаний заполнялся до предела, а это не менее 300 мест. В воздухе царил чрезвычайно приподнятое, торжественное настроение, поскольку обсуждалась одна из важнейших проблем физики. Это был настоящий фестиваль науки, в постсоветской России ничего подобного видеть мне не приходилось. Но со временем, прокрутив в голове содержание докладов, я осознал, что вопрос о природе темной энергии рассматривался с позиций имевшихся, старых теорий. Сплошь и рядом доминировал формальный подход, когда исследователь оперировал понятиями гипотетического поля, дающего описание определенных наблюдений, но разговора о природе новой субстанции никто не инициировал. Вполне понятно, что это обязательно связано с какими-то новыми философскими установками, чего современные физики крайне не любят, но ведь наука столкнулась с качественно новой реальностью – антигравитацией, которая в нашем (земном) мире отсутствует. Уже в то время я твердо полагал, что открытие темной энергии обозначает новый период развития естествознания, когда основания физики должны быть серьезно пересмотрены. Я ждал, хотя бы в единичном количестве, революционных концепций. Однако их не было. Так рабочий, привыкший орудовать знакомым ему инструментом, отказывается осваивать новые станки.

Сейчас, по прошествии более чем десяти лет, я понимаю, что такое поведение ученого сообщества совершенно естественно. Выйти за рамки привычных, общепринятых разработок – удел немногих. Нужны новые коперники, бруно и галилеи, готовые пожертвовать своей карьерой. В то же время мир ученых – чрезвычайно консервативное образование, он и остается устойчивым в течение веков только потому, что чтит традиции. А для их изменения необходимы и время, и критическая масса новаторов.

Историки науки обратили внимание на интереснейшую деталь: научные революции происходят незаметно для самих ученых. Перемена общепринятых оснований происходит как бы сама собой, а личные трагедии носителей революционных идей остаются не слишком интересным примечанием, любопытным разве что для их биографов. Похоже, это устойчивая черта интеллигенции. Главное для нее носить одежды, модные в настоящее время, а уж о причудах моды она думает в последнюю очередь, считая их эффектами десятого порядка.

В апреле 1900 года лорд Кельвин прочел знаменитую лекцию в Королевском институте в Лондоне, на которой заявил, что физика как наука в целом уже выглядит законченным знанием, ее ясное небо омрачают лишь две “тучки”. Как выяснилось чуть позже, за ними скрывались теория относительности и квантовая механика – две фундаментальные теории нашего времени. Писатель Чарльз Сноу в знаменитой статье “Две культуры” обратил внимание, что западная интеллигенция не заметила ни

промышленной революции XIX века, ни научной революции, последовавшей за ней в следующем веке.

Поделюсь своим опытом. Полтора десятка лет я рассказываю свою концепцию первичного вакуума, причем делал это на самых разных уровнях, включая научные семинары, конференции и написание статей. Но ни один из слушателей, читателей или корреспондентов, а среди них были все уважаемые мной знакомые физики, не откликнулся, пусть критическим, отзывом. Пишу это, разумеется, не с целью высказать обиду. Та же история повторится, если вместо физики обратиться к любой другой науке. Просто констатирую факт: ученая интеллигенция не озадачивает себя глобальными вопросами, даже когда они, как в случае с темной энергией, стучатся в дверь. Но всякое правило имеет исключения.

12 мая 2006 года в Москве в концертном зале “Академический” состоялась лекция лауреата Нобелевской премии по физике 2004 года американского физика Дэвида Гросса. Лекция называлась “Трядущие революции в фундаментальной физике”. На тот момент физику было 75 лет – возраст более чем подходящий для пророчеств. Один из крупнейших специалистов по теории струн, Гросс обрисовал перспективы ее развития и предсказал, что она станет основой революционных перемен в физике.

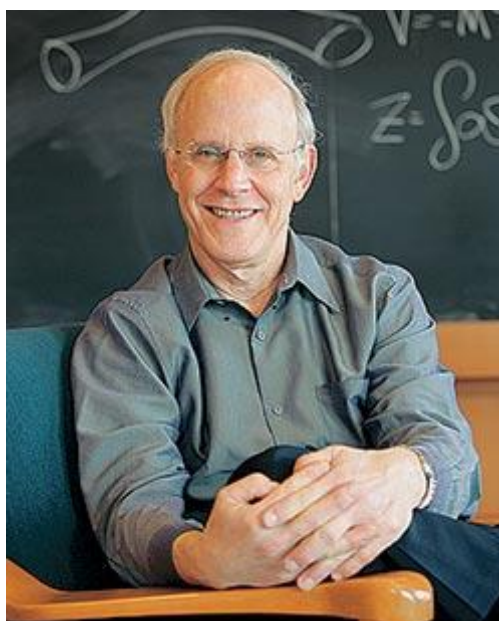


Рис. 6. Дэвид Гросс

Концепция струн – теория нового типа, олицетворяющая разрыв физики со своей прошлой историей. Традиционно прогресс в фундаментальной физике осуществлялся за счет изучения строения материи на все меньших расстояниях и обнаружения там все более фундаментальных ее составляющих. Вначале люди узнали, что материя состоит из атомов, а атомы из плотных ядер, окруженных электронами, которые представляются нам неделимыми точечными частицами. Однако само ядро тоже имеет структуру. Заглянув внутрь него, физики выяснили, что оно состоит из нуклонов – протонов и нейтронов. В прошлом столетии исследователи продвинулись еще дальше. При зондировании протона и нейтрона было открыто, что они состоят из кварков – казалось бы, по-настоящему точечных частиц. Современная модель элементарных частиц (Стандартная модель) как раз и основана на кварках и лептонах (более легких частицах: электроны, мюоны, тау-лептоне и соответствующих каждому из них нейтрино) в качестве точечных элементарных частиц. Казалось бы, следующая стадия объединения будет связана с выявлением еще более мелких точечных частиц, неких субкварков и сублептонов. Однако на этот счет теория струн однозначно отвечает “нет”. Физики выделяют

пространственный масштаб, служащий пределом для приложения современных физических теорий. Он называется планковской длиной. По утверждению сторонников теории струн, если бы у нас был идеальный микроскоп с разрешением до самых предельных микроскопических длин, то вместо точечных частиц наблюдатель увидел бы протяженные струны. Согласно теории струн базовыми составляющими материи являются не точечные частицы, а протяженные одномерные струны. Это важный разрыв с исторической традицией, складывавшейся в течение двух тысячелетий.

Планковская длина, или планковский масштаб длины, названы так в честь Макса Планка, который ввел это понятие более века тому назад. В классической механике мы измеряем все наблюдаемые величины тремя характеристиками: единицами длины, времени и массы. Все другие количественные физические характеристики могут быть выражены через эти единицы (за исключением температуры). Но фундаментальными константами размерности в природе являются отнюдь не метры, секунды и килограммы. Эти единицы изобретены человеком. В теории струн принимается, что Природа использует единицы измерения, в основе которых лежат фундаментальные размерные константы: скорость света, постоянная Планка и гравитационная постоянная Ньютона. Макс Планк понял, что эти постоянные можно использовать в качестве трех базовых единиц, необходимых для описания всех физических явлений. Он дал определения длины Планка l_{pl} , времени Планка t_{pl} и массы Планка m_{pl} в этих фундаментальных единицах. Формулы для них имеют следующий вид:

$$l_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1,6 \cdot 10^{-33} \text{ см}; \quad t_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 5,4 \cdot 10^{-44} \text{ с}; \quad m_{pl} = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2,2 \cdot 10^{-5} \text{ г}, \quad (0.1)$$

здесь в качестве постоянной Планка фигурирует величина $\hbar = h/2\pi$ (ею удобнее пользоваться в квантовой теории). “Любой физик согласится, что это – фундаментальные размерные параметры Природы, и нам действительно следует выражать все физические величины в этих единицах” (Дэвид Гросс).

В теории струн не может идти речи о произвольно малых расстояниях. Бессмысленно говорить о плавном переходе масштабов пространства-времени к бесконечно малым расстояниям. Минимальное расстояние, которое можно прозондировать, составляет порядка планковской длины. Поэтому нет никакого смысла говорить о линейных размерах короче планковских. Планковское время равно частному от деления планковской длины на скорость света. Учитывая, что скорость света в нашем мире является предельно большой, делаем вывод, что минимальное время, которое можно измерить, составляет порядка планковского времени. Планковские масштабы длины и времени выступают в теории струн квантами длины и времени. В нашей модели физического вакуума это положение также принимается в качестве аксиомы (вопрос о фундаментальном значении планковской массы будет обсуждаться в дальнейшем).

Идея, что все частицы на самом деле представляют собой струны, обладает хорошим потенциалом стать объединяющей, поскольку струна может принимать множество различных конфигураций и представляет собой значительно более усложненный объект, нежели точка. Может статься, заявляет Дэвид Гросс, что все наблюдаемые частицы – суть различные гармоники, различные волновые колебания одной и той же струны. Именно такой подход постулируется теорией струн. Струна может вибрировать бесконечным числом образов, и каждая из мод ее вибрации представляется нам на большом удалении точечной частицей.

Однако здесь пора обозначить и слабые места теории. Самая большая проблема в теории струн заключается в том, что ее творцы по-прежнему не знают, что такое сама теория струн. Есть множество различных вариантов ее развития, но у исследователей нет никакой ясности относительно ее полной структуры. Такая свобода теоретических

фантазий проистекает, в первую очередь, из-за того что струнные теории не могут не включать дополнительных пространственных измерений. Варьируя их число, можно получать различные результаты, и это крайне удручающий факт. Не секрет, что переход к числу пространственных измерений, большему трех, катастрофически усложняет понимание и практически исключает какую-либо наглядность в изложении. Есть в этом и философски труднообъяснимый момент. Изначальное состояние мира должно мыслиться в достаточно простых образах. Процесс эволюции, и это не будет отрицать ни один разумный человек, идет от простого к сложному. Разумеется, это “простое” (читай, вакуум) – весьма необычный “объект” физики. Но стоит ли мыслить его многомерным? В теории струн господствует принцип, что пространство-время обречено. Но нам так не кажется, и предлагаемая в книге теория вакуума строится в традиционном пространстве-времени с тремя пространственными и одной временной координатами.

Дэвид Гросс предельно откровенно формулирует некоторые горизонты теории: “Мы надеемся, что теория струн поможет разрешить парадокс космологической сингулярности, которую мы наблюдаем, экстраполируя историю Вселенной вспять до точки Большого Взрыва. Возможно, нам удастся сформулировать принцип, предопределяющий историю Вселенной и объясняющий Большой Взрыв. Может быть, теория струн позволит как-то сгладить сингулярность точки Большого Взрыва и зафиксировать начальные условия в ней или, как предвидят некоторые, рассуждая о возможных сценариях развития теории струн, показать, что Вселенная вечно пульсирует. На самом деле, по моему мнению, в самом начале Вселенной времени не существовало, то есть фактически время – понятие привходящее. Пока что теория струн не преуспела в решении проблемы космологических сингулярностей. <...> В этом плане потребуется еще очень много работы”.

Теория струн – умозрительный стратегический проект, продолжающий направление геометризации физики. Оттого она (при всех своих достоинствах) представляется не слишком революционной. В сущности, у теории струн еще нет ни одного конкретного достижения. К тому же увеличение числа измерений не принесет глубинного понимания явлений. Автор книги предлагает принципиально иной путь решения проблем, заявленных Гроссом в своей лекции. Мы ограничимся пространством из трех измерений, и вместо одномерных струн в многомерном пространстве введем частицу с планковской массой, планковским масштабом длины и планковским временем жизни. В силу предельности планковских масштабов длины и времени такие частицы будут принципиально ненаблюдаемыми (виртуальными). “Газ” из них – наша модель вакуума. На ее основе мы дадим физическое толкование космологической сингулярности.

ГЛАВА 1

Что же было в начале начал?

Природа – темный храм, где строй столпов живых
Роняет иногда невнятные реченья;
В ней лесом символов, наполненных значенья,
Мы бродим, на себе не видя взоров их.

Ш. Бодлер

Вопрос о начале мира занимал умы поэтов, мыслителей и ученых во все времена. Так, древнейшие жители Греции, ее первопоселенцы-пеласги, говорили, что изначально в мире царил хаос, правительницей которого была богиня ночи Никта, и не было более в

мире никого, кроме ее божественного супруга – северного ветра Борея. Плодом их любви стало Космическое яйцо, символизировавшее раннюю Вселенную. Внутри него находился бог света, будущий создатель мира Эрос. Расколов “скорлупу”, бог-творец выбрался наружу и сотворил материальный мир.

Как это ни покажется удивительным, но этот древнегреческий миф, сложившийся в IV–III тысячелетиях до н.э., в общих чертах воспроизводит картину Большого Взрыва, которую предложили современные физики. Создатели мифа мыслили, что наша Вселенная имеет начало, а значит, является нестационарной. Моментом ее зарождения считался момент появления зародыша Космического яйца. Этот зародыш естественно сопоставить с точкой сингулярности современной теории гравитации (общей теории относительности). Сам механизм ее возникновения для физиков пока неясен. Традиционно принято говорить о квантовой флуктуации плотности, но это не более чем подмена одной вывески другой. Греческие жрецы в этом смысле были изобретательнее. Рождение нашего мира они представили как упорядочивание хаоса, примирение двух стихий, “оплодотворение” Тьмы. Им были неведомы законы рождения элементарных частиц и их взаимодействия между собой, причины появления в Природе первых искр света (образования первых фотонов), но для них было очевидно наличие “стрелы времени” и направление эволюции мира от простого к сложному. Эти два принципа, наряду с истинно поэтическим мировидением древнегреческих мыслителей, и породили миф, пропитанный естественнонаучным содержанием. И если еще в начале второй половины прошлого столетия теоретики спорили, был Большой Взрыв холодным или горячим, то для древних греков этот вопрос был давно решенным: локализованный поначалу вселенский “огонь” стал причиной возникновения нашего мира.

Образ Космического яйца, символизирующего нашу юную Вселенную, известен во многих мифопоэтических традициях. В индуистской мифологии Вселенная возникает из Космического яйца, плавающего в первозданных водах. Высшее божество и творец мира Брахма в виде золотого зародыша живет в нем год, после чего силой мысли разделяет яйцо на две части и начинает созидать мир. Брахма подобен “тысяче солнц”, такое сравнение вполне подходит для Большого Взрыва. У орфиков известен миф о возникновении из Мирового яйца, плавающего в водах, божественного творца Фанеса, сияющего, как солнце. В египетском мифе солнце рождается из Космического яйца, снесенного божественной птицей посреди первичного океана. Согласно “Калевале” части мира рождаются из яйца, тот же сюжет присутствует в китайской традиции. В финском мифе утка сносит яйцо, из которого возникает мир, на колено Вяйнямейнена, единственного обитателя океана, или на холм среди океана. Образ Мирового яйца присутствует и в русских сказках о Кошце Бессмертном и Курочке Рябе. Добавим к этому, что и раскрашенные яйца, которыми христиане одаривают друг друга на Пасху, также символизируют нашу юную Вселенную. Разбивая пасхальное яйцо, мы символически воспроизводим акт рождения Вселенной и вхождение в нее бога: “Христос воскрес...”

Связь Космического яйца с явлением Большого Взрыва наиболее явно прослеживается у пеласгов и древних ариев. У остальных народов она не так заметна, но общие истоки мифов творения и их общее сходство видны невооруженным глазом. Даже в скандинавской мифологии, где образ Мирового яйца отсутствует, мир создается в результате встречи царства инея и царства огня. Но и там первична была бездонная бездна (“Старшая Эдда”):

В начале времен
не было в мире
ни песка, ни моря,
ни волн холодных,
земли еще не было
и небосвода,

бездна зияла,
трава не росла.

Вселенная родилась, когда ручьи темного северного мира соприкоснулись с жаром, пришедшим с юга, то есть и древние скандинавы предполагали существование эпохи доминирования тьмы, предшествующей непосредственной фазе творения (Большому Взрыву).

В эпоху античности пеласгический миф приобрел новые краски и уточняющие дополнения. Римский поэт-мыслитель Овидий писал в “Метаморфозах”:

Не было моря, земли и над всем распростертого неба, -
Лик был природы един на всей широте мирозданья, -
Хаосом звали его. Нечлененным и грубой громадой,
Бременем косным он был, - и только, - где собраны были
Связанных слабо вещей семена разносущные вкупе.
Миру Титан никакой не давал еще света...
Там, где суша была, пребывали и море и воздух.
И ни на суше стоять, ни по водам нельзя было плавать.
Воздух был света лишен, и форм ничто не хранило.
Все еще было в борьбе, затем что в массе единой
Холод сражался с теплом, сражалась с влажностью сухость,
Битву с весомым вело невесомое, твердое с мягким.

Хаосу – первичной субстанции, изначально заполнявшей все мировое пространство, – приписывались свойства всеобъемлющей темноты, беспредельности и отсутствия каких-либо упорядоченных структур. Возникновение материального мира мыслилось как процесс рождения порядка из всеобщего первозданного Хаоса. Он, в силу своей первичной простоты, “нечлененности”, бесформенности и полнейшего отсутствия света, должен был обладать нулевой начальной температурой (по абсолютной шкале Кельвина). Это опять-таки оригинальное, но совершенно естественное (с точки зрения здравого смысла) умозаключение.

Нобелевский лауреат по физике Стивен Вайнберг в книге “Мечты об окончательной теории” признается: “Согласно стандартной теории Большого Взрыва Вселенная возникла в состоянии бесконечно большой температуры около десяти – пятнадцати миллиардов лет тому назад. Каждый раз, когда я рассказывал о теории Большого Взрыва и дело доходило до вопросов и ответов, кто-нибудь в аудитории обязательно начинал доказывать, что идея начала абсурдна: какой бы момент времени мы ни назвали началом, всегда должен быть момент перед этим. Я всегда пытался объяснять, что это необязательно должно быть так. Например, мы знаем из нашего повседневного опыта, что, как бы холодно ни было, всегда может быть еще холоднее, но все-таки существует такое понятие, как абсолютный нуль температуры. Мы не можем достичь абсолютного нуля не потому, что недостаточно умны, а потому, что температура ниже абсолютного нуля просто не имеет смысла”. В нашем мире абсолютный температурный нуль недостижим (следствие третьего начала термодинамики). Естественно предположить, что изначально Космический вакуум обладал как раз нулевой температурой. В самом деле, какой другой температурой должен был обладать мир, когда в нем еще ничего не было? Только нулевой. Только ее можно приписать начальному состоянию Вселенной.

Вот и Овидий сообщает, что внутри Хаоса “холод сражался с теплом”, а невесомое “битву с весомым вело”. Поэт изображает Хаос в виде некоей сплошной среды – смешанной консистенции воды и воздуха, пребывающей в непрерывной борьбе. Другие античные авторы разделяли эти стихии и мыслили Хаос либо заполненным

исключительно водой, либо разлитым повсюду воздухом. Эти представления разделяли и первые ученые древности. Так, Фалес полагал, что в основе всего сущего лежит вода, а другой милетский мыслитель Анаксимен считал, что мир возник из воздуха. Но с победой атомистической концепции идея Космоса-океана перешла в мир художественных образов. Ее гениально обыграл Федор Иванович Тютчев в стихотворении “Сны”:

Как океан объемлет шар земной,
Земная жизнь кругом объята снами...
Настанет ночь – и звучными волнами
Стихия бьет о берег свой.

То глас ее: он нудит нас и просит...
Уж в пристани волшебный ожил челн;
Прилив растет и быстро нас уносит
В неизмеримость темных волн.

Небесный свод, горящий славой звездной,
Таинственно глядит из глубины, -
И мы плывем, пылающею бездной
Со всех сторон окружены.

Поэт создал художественный образ космического океана, окружающего нашу Землю. Это стихия тьмы, куда человек может проникнуть только в своих снах. Мир этот мы не можем ощущать чувствами, однако он такая же реальность, как и земная жизнь.

Подавляющее большинство физиков относится к художественным и чисто логическим (философским) формам постижения мира предельно иронично. Вот и параллель с греческим мифом, быть может, кому-то покажется забавным совпадением, не более. Но это не так. Настрой ученого рассматривать природное явление через призму профессиональных терминов, формул и чисел зачастую препятствует пониманию его истинной сути. Наше обращение к греческому мифу в этом смысле чрезвычайно показательно, ибо он ярко высвечивает основную “язву” теории Большого Взрыва. Из глубины тысячелетий греки доносят до нас мысль, что Вселенная рождалась не из абсолютной пустоты. Была эпоха вселенской Тьмы, мирового хаоса. Это первичное состояние Вселенной естественно соотнести с изначальным вакуумом. Согласно мифологической традиции он олицетворяет хаос (полный беспорядок), а его абсолютная температура равна нулю. Момент Большого Взрыва означает упорядочивание (структурирование) пространства и сильный разогрев первичного вещества.

1.1. Теория Большого Взрыва

Открылась бездна звезд полна;
Звездам числа нет, бездне дна.

М.В. Ломоносов

Первыми достижениями космология обязана западноевропейским ученым. Российским физикам и математикам, проигравшим на старте, приходилось учиться у западных коллег. Но в XX веке наши соотечественники уже соперничали с ними на равных и отметились рядом достижений мирового уровня. Двое из них – Александр Фридман и Георгий Гамов – непосредственно причастны к созданию теории Большого Взрыва.

Эта теория основывается на ряде идей, которые бросают вызов здравому смыслу и поначалу казались самим же физикам надуманными и даже фантастическими. Знаменитый афоризм Нильса Бора: “Ваша идея, конечно, безумна. Весь вопрос в том, достаточно ли она безумна, чтобы оказаться верной”, – можно с полным правом отнести и на счет этих идей. Но они нашли экспериментальное подтверждение и обрели статус научно обоснованных фактов. Теория Большого Взрыва опирается ныне на более, чем фундаментальные основания, и ее творцов следует признать гениальными провидцами.

1.1.1. Нестационарные миры Александра Фридмана

Величие открытия Фридмана заключается, может быть, не столько в применении общей теории относительности, сколько в отказе от предвзятого представления о стационарности Вселенной.

Я.Б. Зельдович

Александр Александрович Фридман родился в 1888 году в Санкт-Петербурге. Его отец был композитором, а мать – преподавателем игры на фортепиано. Когда Саше было девять лет, родители расстались, и он воспитывался в новой семье отца, а также в семьях деда и тети. С матерью Александр возобновил отношения лишь незадолго до смерти. Семейные неурядицы, однако, не отразились на его учебе. Фридман окончил гимназию (с золотой медалью), а затем и математическое отделение Санкт-Петербургского университета (1906–1910). Отработав три года преподавателем математики, Фридман поступил на работу в Аэрологическую обсерваторию в Павловске под Санкт-Петербургом, где начал заниматься динамической метеорологией (геофизической гидродинамикой). С началом Первой мировой войны молодой ученый добровольцем вступил в авиационный отряд. Фридман принимал участие в организации аэронавигационной и аэрологической службы на фронте, был летчиком-испытателем, бомбил Перемышль и проводил авиаразведку. За мужество и героизм Александр Александрович был награжден Георгиевским крестом 4-й степени, золотым оружием и орденом Святого Владимира с мечами и бантом. Удивительно, но и на передовой он не оставлял занятия наукой. Под статьей “О вихрях с меняющейся температурой” написано: “Действующая армия, 10 сентября 1915 г.”. После войны Фридман был основателем и директором завода “Авиаприбор” (1917 г., Москва), а также профессором Пермского (1918–1920) и затем Петроградского университетов. Пик его научной деятельности приходится на 1922–1924 годы. Умер Александр Александрович от брюшного тифа в 1925 году.

Имя Фридмана обессмертили две его статьи, посвященные решению уравнений общей теории относительности (ОТО). Ее в 1915–1916 годах предложил Альберт Эйнштейн. ОТО рассматривает мир как четырехмерную реальность: к трем пространственным измерениям добавляется время. Все четыре измерения неразрывны, поэтому речь идет уже не о пространственном расстоянии между двумя объектами, как это имеет место в трехмерном мире, а о пространственно-временных интервалах между событиями, которые фиксируют их удаленность друг от друга – как по времени, так и в пространстве. Пространство и время рассматриваются как четырехмерный пространственно-временной континуум, или пространство-время. Согласно Эйнштейну тела, обладающие массой, деформируют (искривляют) его определенным образом. Как результат, кривизна пространства-времени меняется от точки к точке. Математически кривизна пространства записывается с помощью симметрического 4–тензора, называемого метрическим тензором пространства. Из 16 его компонент в силу симметрии

независимыми являются только 10 величин. Эти 10 чисел образуют метрику пространства. Она определяет “расстояние” между двумя бесконечно близкими точками пространства-времени в различных направлениях. Наглядно представить четырехмерный мир ОТО крайне сложно (читай, невозможно), поэтому обычно понятие кривизны объясняют на примере двумерных поверхностей (см. рис. 8). В случае плоскости кривизна равна нулю, это свойство выражается в том, что сумма углов любого треугольника на ней равна 180 градусам. Для поверхности в виде седла кривизна отрицательна, а сумма углов треугольника уже меньше 180 градусов. Наконец, для сферической поверхности кривизна положительна, и сумма углов треугольника больше 180 градусов. Соответственно первый случай характеризует плоский мир (или мир на плоскости), второй – открытый мир (неограниченная поверхность), а третий – замкнутый мир. Знак кривизны характеризует определенный тип мира. К аналогиям рис. 8 обычно прибегают при обсуждении решений уравнений ОТО. Но вначале о принципе построения этих уравнений.



Рис. 7. Александр Александрович Фридман

В классической (ньютоновской) механике существует два понятия массы: первое относится ко второму закону Ньютона, а второе – к закону всемирного тяготения. Первая масса – инертная (или инерционная) – есть отношение негравитационной силы, действующей на тело, к его ускорению. Вторая масса – гравитационная – определяет силу притяжения тела другими телами и его собственную силу притяжения. Эти две массы измеряются в различных экспериментах, поэтому совершенно не обязаны быть связанными, а тем более равными друг другу. Однако эксперименты с очень высокой точностью устанавливают их строгое равенство.

Кривизна пространства

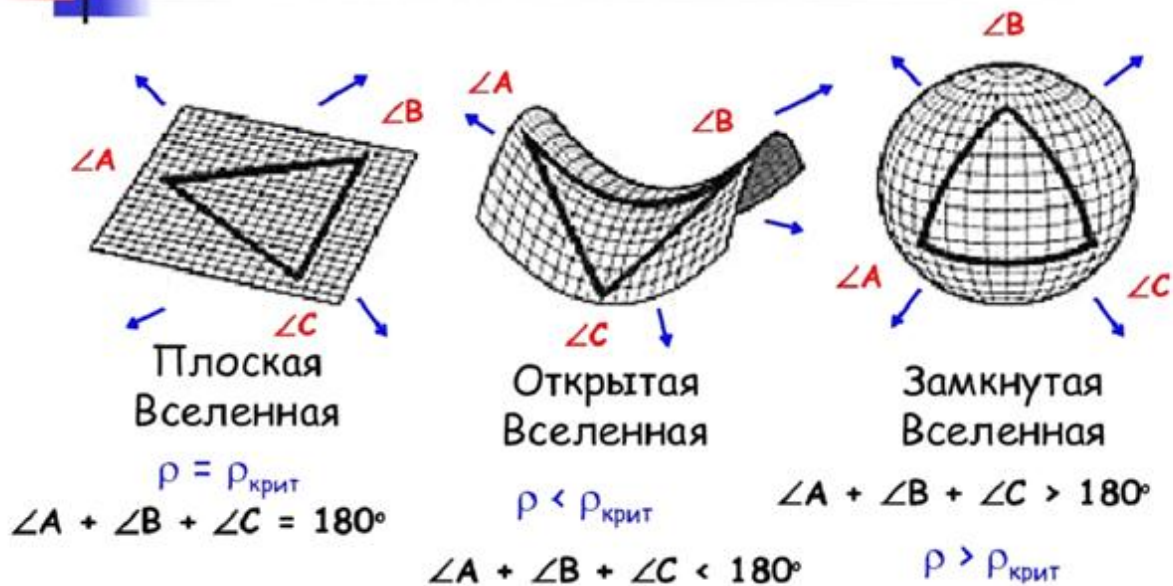


Рис. 8. Типы двумерных поверхностей с нулевой (слева), отрицательной (в центре) и положительной (справа) кривизной

Если гравитационная масса точно равна инерционной, то в выражении для ускорения тела, на которое действуют лишь гравитационные силы, обе массы сокращаются. Поэтому ускорение тела, а следовательно и его траектория, не зависит от массы и внутреннего строения тела. Если же все тела в одной и той же точке пространства получают одинаковое ускорение, то это ускорение можно связать не со свойствами тел, а со свойствами самого пространства в этой точке. Таким образом, описание гравитационного взаимодействия между телами можно свести к описанию пространства-времени, в котором движутся тела, то есть к определению 10 независимых компонент метрического тензора по известному распределению материи и энергии. Уравнения ОТО содержат скорость света и гравитационную постоянную, но не включают постоянную Планка. Тем самым, общая теория относительности является релятивистской некантовой теорией гравитации.

В общем случае уравнения, сформулированные Эйнштейном, представляют систему 10 уравнений в частных производных, которые очень сложны для решения. К счастью, применительно к проблеме эволюции их можно существенно упростить и изучать аналитически. Как известно, для решения дифференциальных уравнений недостаточно знать только их вид. Необходимо также задать и начальные условия для этих решений, их математическое представление в некоторый начальный момент времени. Мы, разумеется, не можем доподлинно знать о них. Но можно сформулировать их из соображений простоты. Именно таким путем и пошел Эйнштейн, когда предположил, что все доступное для исследования человека пространство Вселенной (физики называют его Метагалактикой) является однородным и изотропным. Это два основных космологических постулата. Что подразумевается под ними? На малых расстояниях – в пределах Солнечной системы, ближайших к нам звездных скоплений и даже галактик – они не выполняются. Но в объемах, содержащих достаточно большое количество галактик, об этом сегодня следует говорить как о твердо установленном факте. Доказательство изотропии Метагалактики проводится, например, путем подсчета числа галактик и их скоплений в одинаковых телесных углах, но в разных направлениях. Постулат об однородности метагалактического пространства выполняется также в рамках

больших пространственных объемов. Самые большие образования в Метагалактике – сверхскопления галактик – имеют размеры порядка одной тысячной от размера наблюдаемой области в современную эпоху. Он составляет 10^{28} см, и его отождествляют с размером Метагалактики. Если считать вещество равномерно размазанным в пространстве, то на масштабах сверхскоплений галактик свойства пространства будут уже в достаточной степени (с точностью одна тысячная) изотропны. Утверждая свойства однородности и изотропности пространства, Эйнштейн (в мировоззренческом плане) воплощал на космологическом уровне идею Бруно об отсутствии центра у Вселенной. Любое место во Вселенной (в достаточно больших масштабах) должно обладать одинаковыми свойствами.

Космологические постулаты накладывают сильные требования на метрические свойства пространства-времени и значительно упрощают уравнения Эйнштейна. Вместо 10 компонент метрического тензора в них остается только одна величина. Она называется масштабным фактором и характеризует расстояние между двумя точками. Например, между двумя галактиками (среда, заполняющая Метагалактику, считается сплошной). Масштабный фактор связан с плотностью материи, равномерно распределенной в пространстве. Но Эйнштейн столкнулся со странной математической проблемой. Из уравнений вытекало, что такая Вселенная не могла оставаться статичной. Допустить возможность такого сценария ученый никак не мог. Эйнштейну, как и всем физикам начала XX века, Космос представлялся “в среднем” неизменным. Астрономы того времени наблюдали небольшие перемещения звезд, но они не походили на организованное крупномасштабное движение. Никаких доказательств сжатия или расширения Вселенной у ученых на тот момент не было. И тогда Эйнштейн решился ввести в свои уравнения дополнительную постоянную. Ее назвали космологической постоянной, а новый член уравнений Эйнштейна (в силу обозначения этой постоянной греческой буквой) – лямбда-членом.

Присутствие в уравнениях космологической постоянной эквивалентно наличию в пространстве сил отталкивания, она описывает антигравитацию. Появление лямбда-члена в этом смысле совершенно закономерно. Поскольку гравитация характеризуется только притяжением, то статическое решение для системы гравитирующих тел невозможно. Гравитационное взаимодействие, в отличие от электродинамики, где есть как притяжение, так и отталкивание, не позволяет космическому веществу находиться в покое. Космологическая постоянная стабилизировала состояние Вселенной. Если энергия и материя пытались затянуть в себя пространство-время, то космологическая постоянная выталкивала его, препятствуя коллапсу. Баланс между силами сжатия и расширения допускал статичное состояние Вселенной, как того и хотелось Эйнштейну. Он вводил величину, природа которой была ему абсолютно неясна. В земных условиях мы не встречаемся с проявлениями антигравитации, поэтому для введения ее в уравнения требовалось огромное мужество. Это был смелый шаг ученого. И дело, конечно же, не в математике и физике, хотя появление новой мировой постоянной – явление исключительно неординарное. На первый план тут выходит уже философский аспект. Из одних теоретических предпосылок ученый выводил глобальное свойство Вселенной, аналогов которому на Земле не существует. Самое время вспомнить фразу Нильсу Бора о безумных теориях, тем более что Эйнштейн даже признался Паулю Эренфесту, что эта постоянная “сделала с теорией гравитации нечто, угрожавшее привести его в сумасшедший дом”.

Одним из первых (осенью 1917 г.) на результат Эйнштейна откликнулся профессор астрономии из Лейденского университета Виллем де Ситтер (1872–1934), с которым тот состоял в переписке. Он обратил внимание, что в рамках уравнений с космологической постоянной можно построить еще одно статичное решение, отличное от эйнштейновского. Де Ситтер предложил реалистичную модель Вселенной, включающую в себя звезды, галактики и другую материю, но в настолько малом количестве, что они

никак не влияли на пространство-время. В результате геометрия мира де Ситтера полностью определялась этой постоянной. Вселенные Эйнштейна и де Ситтера были статичными и не расширялись, в точности соответствуя предвзятым представлениям Эйнштейна. Но модель де Ситтера обладала странным свойством. Кривизна пространства в ней в каждой точке со временем не менялась. Но стоило поместить туда несколько звезд и галактик, как они начинали согласованно отодвигаться от центра. Несмотря на совершенно статичную, не меняющуюся со временем геометрию Вселенной де Ситтера, населяющие ее объекты уже не являлись неподвижными.

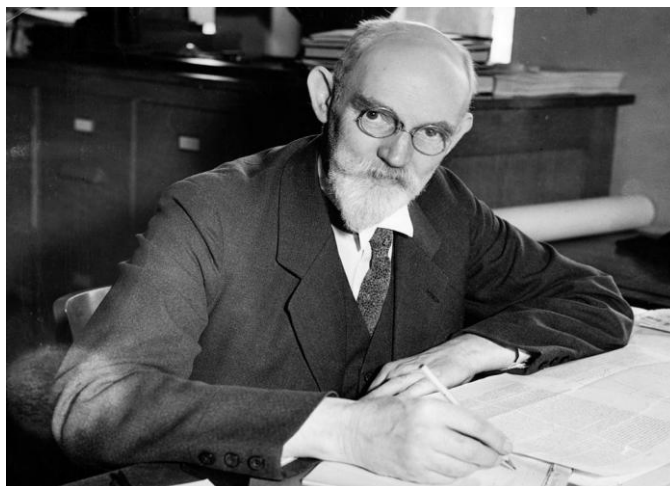


Рис. 9. Голландский астроном Виллем де Ситтер

На Эйнштейна модель де Ситтера впечатления не произвела. Ему не понравилось полное отсутствие планет и звезд. Только наблюдение за материальным объектом, с которыми связывается определенная система отсчета, позволяет понять, движутся ли они и по какому закону. Рассматривая свое положение относительно небесных светил, можно определить собственное ускорение, замедление или вращение. Они дают опорную точку для применения всех законов физики. Мир без материи казался Эйнштейну надуманным. Известна его фраза Эренфесту: “Допускать такую возможность не имеет смысла”. Тем не менее модель де Ситтера отражала развитие идеи о космологической постоянной, и ее появление, вслед за статьей Эйнштейна, ознаменовало возникновение современной космологии.

Дискуссии о правомерности введения лямбда-члена будут продолжаться на протяжении всего XX века. В какой-то момент сам Эйнштейн повинно заявит, что это была самая большая его научная ошибка. Но открытие темной энергии перевернет ситуацию и окончательно подтвердит оправданность введения космологической постоянной. Между тем маятнику космологической истории в начале 1920-х годов было суждено качнуться в направлении, которое отодвигало проблему лямбда-члена на задний план. В космологии наступала “золотая пора” Александра Фридмана.

В 1966 году в издательстве “Наука” вышел сборник избранных трудов ученого, где впервые были собраны его основные работы. Изучая их, можно проследить за развитием его научных интересов и ходом научной мысли. Поначалу Фридман занимался динамической метеорологией. Это были по преимуществу задачи прикладного характера, аналитическое решение которых представляло определенные сложности. Но ученый выделял в уравнениях “зерно” эффекта, отбрасывал несущественные члены и получал формулы, позволяющие эффективно вычислять необходимые величины. С одинаковым энтузиазмом он брался за любые задачи, от предсказаний погоды до поведения циклонов, от течения жидкостей до траекторий падающих бомб. В рамках занятий геофизической гидродинамикой Фридмана привлекли проблемы динамики сжимаемой жидкости. В

начале 1920-х годов это направление гидромеханики только набирало силу, и Фридман остро почувствовал его важность и перспективность. Смена вектора исследований – необходимая сторона творчества великих ученых, но для Александра Александровича это стало поворотным моментом. Интерес к течениям жидкости с переменной плотностью предопределил его гениальные достижения в релятивистской космологии.

Историки науки каждый раз пытаются угадать, как родилось то или иное открытие, откуда ученые улавливают искры вдохновения. Конечно, тайна творчества никогда не сможет быть высвечена полностью, в полной палитре красок. Но в случае с математиком Фридманом ее объяснение напрашивается само собой.

Представим человека, занимающегося вопросами движения сжимаемой жидкости и одновременно с этим знакомящегося с общей теорией относительности. Академик Владимир Александрович Фок (1898–1974) вспоминал, что профессора Петроградского университета Фридман и Фредерикс были первыми, познакомившими русских физиков с ОТО. В начале 1920-х годов в Физическом институте университета собирался семинар, на котором они рассказывали о теории Эйнштейна. “Стиль их докладов был различный. Фредерикс глубоко понимал физическую сторону, но не любил математических выкладок. Фридман же делал упор не на физику, а на математику. Он стремился к математической строгости и придавал большое значение полной и точной формулировке исходных предпосылок”. Тут мы, отталкиваясь от этого свидетельства Фока, решимся угадать путь первооткрывателя. Фридман взглянул на уравнения Эйнштейна как математик. Проблема стационарности, которой Эйнштейн придавал первостепенное значение, не ставилась Фридманом во главу угла. Он искал все возможные решения уравнений Эйнштейна. Причем, его поиски приходится на период написания статей по динамике сжимаемой жидкости, когда идея сплошной среды с переменной плотностью господствовала в его научном сознании. Задача об однородной и изотропной Вселенной, плотность которой изменяется со временем, напоминала о рассмотренных им гидродинамических примерах. Различие было только в том, что роль уравнений гидродинамики теперь должны были сыграть уравнения Эйнштейна. Путь Фридмана к необыкновенному открытию, таким образом, получился необыкновенно коротким, но везет сильнейшим. Более того, надо было еще не испугаться обнародовать свое поразительное открытие.

Как и Эйнштейн, Фридман предположил, что в большом масштабе материя Вселенной распределена равномерно, а геометрия пространства может быть описана всего одним числом – масштабным фактором (определяющим кривизну пространства-времени). Эйнштейн утверждал, что это число раз и навсегда зафиксировано, обеспечивая тонкую грань между введенной им космологической постоянной и плотностью распределенной в пространстве материи в виде звезд и планет. Фридман, однако, нашел решения с масштабным фактором, зависящим от времени. Плотность вещества при этом в общем случае тоже менялась со временем. В 1922 году статья Фридмана “О кривизне пространства” при посредстве Пауля Эренфеста была опубликована в центральном немецком “Физическом журнале” (*Zeitschrift für Physik*). В ней было показано, что уравнения общей теории относительности допускают не только статические, но и динамические решения. Фридман указал на три возможных сценария развития Вселенной. Согласно им Вселенная может сжиматься, расширяться, схлопываться и даже возникать из точки сингулярности. Статические Вселенные Эйнштейна и де Ситтера являлись частными случаями фридмановских решений. Кроме того, результаты Фридмана “обесценивали” космологическую постоянную. В отличие от исходной модели Эйнштейна, она не обеспечивала статичность Вселенной, и ее уже нельзя было связать с каким-либо определенным значением. Фридман особо отмечал, что теперь это произвольная константа.

На статью, вышедшую в свет в июле 1922 года, обратил внимание сам Эйнштейн, что, впрочем, неудивительно: Эренфест был его близким другом. Первая оценка Эйнштейном теории Фридмана была крайне негативной. В сентябре 1922 года он послал в

редакцию журнала короткую заметку, где констатировал, что Фридман допустил математическую ошибку. В ответном письме, датированном декабрем 1922 года, Фридман приводит свои выкладки более подробно. Однако это письмо попало в руки адресата только в мае следующего года, когда Эйнштейн возвратился из своего лекционного турне вокруг света. Месяцем позже коллега Фридмана советский физик Юрий Александрович Крутков встретился с Эйнштейном в доме Эренфеста в Лейдене и дал необходимые разъяснения. Сразу же после этой встречи Эйнштейн опубликовал в *Zeitschrift für Physik* еще одно сообщение, где была такая фраза: “Я считаю результаты г. Фридмана правильными и проливающими новый свет”.

Творец ОТО признал математическую безупречность работы советского физика, но нестационарность Вселенной по-прежнему казалась ему абсурдом. Как и любому здравомыслящему физика, фридмановская идея казалась ему безумной. Здесь его упорство вполне понятно. Представить, чтобы плотность изменялась синхронно, оставаясь одинаковой, во всем объеме Вселенной, – дорогого стоило. И Фридман сделал этот отчаянно смелый шаг.

В книге “Мир как пространство и время” он так представляет основной результат своих исследований: “Можно прийти прежде всего к двум типам Вселенной: 1) стационарный тип — кривизна пространства не меняется с течением времени и 2) переменный тип — кривизна пространства меняется с течением времени. Иллюстрацией первого типа Вселенной может служить шар, радиус которого не меняется с течением времени; двумерная поверхность этого шара будет как раз двумерным пространством постоянной кривизны. Наоборот, второй тип Вселенной может быть изображен меняющимся все время шаром, то раздувающимся, то уменьшающим свой радиус и как бы сжимающимся. Стационарный тип Вселенной дает лишь два случая Вселенной, которые были рассмотрены Эйнштейном и де Ситтером. <...> Переменный тип Вселенной представляет большое разнообразие случаев. Для этого типа возможны случаи, когда радиус кривизны мира <...> постоянно возрастает с течением времени. Возможны далее случаи, когда радиус кривизны меняется периодически: Вселенная сжимается в точку (в ничто), затем снова из точки доводит радиус свой до некоторого значения, далее опять, уменьшая радиус своей кривизны, обращается в точку и т. д. Невольно вспоминается сказание индусской мифологии о периодах жизни, является возможность также говорить о “сотворении мира из ничего”, но все это пока должно рассматривать как курьезные факты, не могущие быть солидно подтвержденными достаточным астрономическим экспериментальным материалом”.

В приведенном фрагменте каждое слово выглядит весомо и солидно. Фридман блестяще формулирует результаты своих исследований и четко подчеркивает, что результаты, полученные для его математической модели, следует верифицировать дальнейшими экспериментами. Его обмолвка относительно индусской мифологии часто используется для утверждений, будто бы Александр Александрович отдавал предпочтение сценарию периодической (пульсирующей) Вселенной, но для этого нет оснований. Циклические рождения и исчезновения Вселенной напоминали ему философские идеи о реинкарнации, идущие из Индии, не более того. Точно так же “сотворение мира из ничего” он называет курьезным фактом. Фридман не выделяет ни один из возможных сценариев, а лишь утверждает факт нестационарности Вселенной. Нельзя не отметить предельную корректность исследователя при формулировке своих результатов. Он выжимает максимум из математики, но окончательный выбор оставляет за физиками-экспериментаторами. При этом Фридман прекрасно осознает, что расширение мира из “точки” или сжатие до ее пределов означает взаимосвязь макро и микрофизики, включающей теорию элементарных частиц. Все авторы, пишущие о гениальном русском физике, признают, что только преждевременная смерть в 1925 году не позволила ему сопоставить свои представления с набиравшими в то время силу астрофизическими исследованиями.

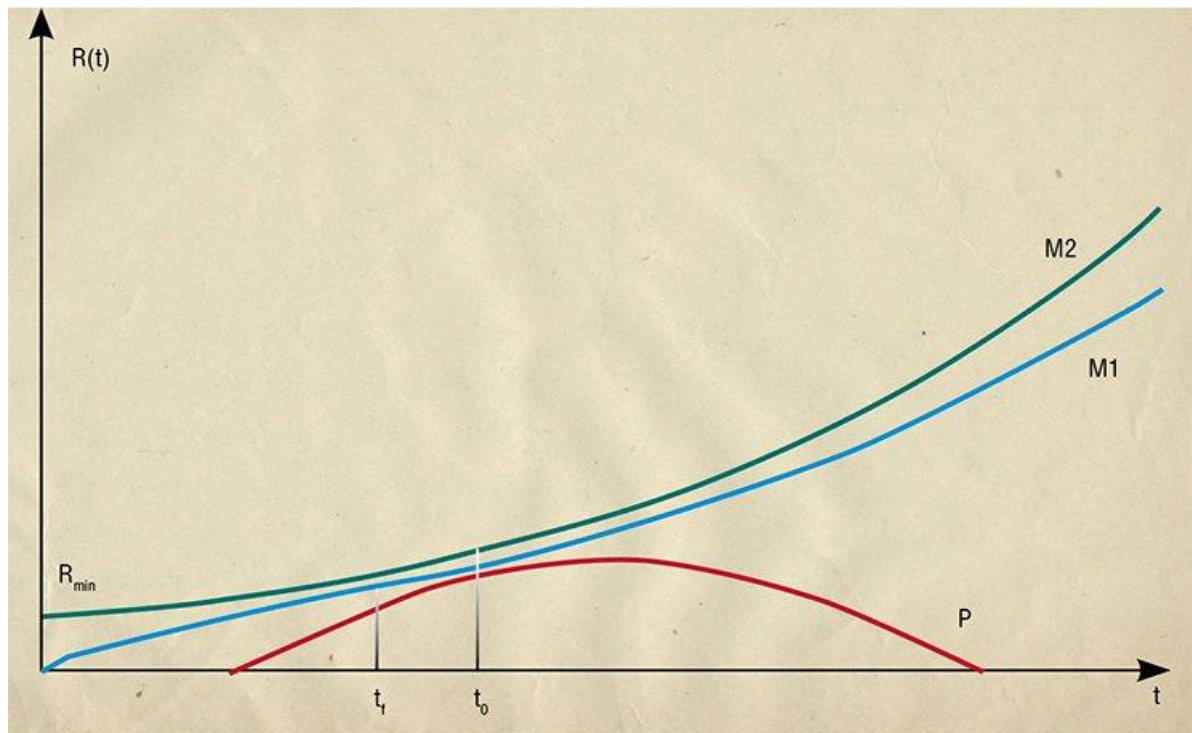


Рис. 10. Три возможных главных сценария эволюции космоса, предложенных Фридманом в 1922 г., изображены в виде зависимости космического радиуса от времени. В первом монотонном сценарии, M1, Вселенная расширяется из сингулярности с уменьшающейся скоростью до некоторого момента t_f , затем скорость расширения увеличивается. Настоящее время отмечено на графике линией, проходящей через t_0 . Сценарий M1 наилучшим образом согласуется с современными астрофизическими наблюдениями. Кривая M2 соответствует сценарию, когда Вселенная начинает расширяться из состояния с ненулевым начальным радиусом R_{min} . Периодический сценарий P соответствует расширению из точки и сжатию обратно в точку. (Physics Today. October 2012. P. 38)

“Иногда говорят, – писал академик Капица, – что Фридман не очень-то верил в свою собственную теорию и относился к ней лишь как к математическому курьезу. Он будто бы говорил, что его дело – решать уравнения, а разбираться в физическом смысле решений должны другие специалисты – физики. Это ироническое высказывание о своих трудах остроумного человека не может изменить нашу высокую оценку его открытия. Даже если Фридман не был уверен в том, что расширение Вселенной, вытекающее из его математических выкладок, существует в природе, это никоим образом не умаляет его научной заслуги. Вспомним, например, теоретическое предсказание Дираком позитрона. Дирак тоже не верил в реальное существование позитрона и относился к своим расчетам как к чисто математическому достижению, удобному для описания некоторых процессов. Но позитрон был открыт, и Дирак, сам того не предполагая, оказался пророком. Никто не пытается преуменьшить его вклад в науку, из-за того что он сам не верил в свое пророчество”. Мнение великого физика о своем гениальном собрате – дорогого стоит. Капица ставит Фридмана в один ряд с Дираком. Нобелевский лауреат Абдус Салам (1926–1996), получивший премию за объединение электромагнитного и слабого взаимодействий, так охарактеризовал его: “Поль Адриен Морис Дирак, без сомнения, один из величайших физиков этого, да и любого другого столетия. В течение трех решающих лет – 1925, 1926 и 1927 – своими тремя работами он заложил основы, во-первых, квантовой физики в целом, во-вторых, квантовой теории поля, и в-третьих, теории элементарных частиц. Ни один человек, за исключением Эйнштейна, не оказал столь определяющего влияния за столь короткий период времени на развитие физики в этом столетии”. В этой характеристике в полной мере раскрывается вся глубина сопоставления Капицы. Фридман и Дирак не только сделали свои эпохальные открытия примерно в одни и те же годы, но и

задали выбранным направлениям исследований запредельный уровень проницательности. Фридман впервые заявил о нестационарности Вселенной, а Дирак – о существовании антиматерии.

В подкрепление слов Капицы стоит указать на работы Фридмана по динамической метеорологии. Александр Александрович не ограничивается в них теоретическими расчетами, а сопоставляет их с экспериментальными данными. Необходимо признать это одним из свойств его научной работы. Нет никаких сомнений, что, проживи ученый чуть дольше, он стал бы искать астрономические доказательства в пользу своих идей. Что же касается веры в теоретические модели, то Фридман, как вспоминала его (первая) жена Екатерина Петровна, часто цитировал строку из Данте: “Воды, в которые я вступаю, не пересекал еще никто”. Это дантовское выражение, думается, в первую очередь относилось к работам по космологии, и все иронические высказывания о своих результатах следует признать одной из мер защиты от консервативно настроенного большинства. Как автор статьи, он отвечал не только за правильность математических вычислений, но и за выбор направления исследований. В самом деле, станет ли публиковать ученый принципиально новую по содержанию статью, если не верит в ее выводы? Именно первооткрыватель пересекает “воды”, в которые не входил еще никто. Все это позволяет говорить о Фридмане не только как о выдающемся математике, но и физике, ставшем основоположником теории нестационарной Вселенной.

1.1.2. Закон Хаббла–Леметра

В 2018 году Международный астрономический союз рекомендовал добавить в название закона Хаббла фамилию Леметра.

Александр Фридман был не единственным, кто в 20-х годах XX века стал исповедовать идею нестационарной Вселенной. В истории науки есть множество примеров, когда ученые, проживая в разных уголках планеты, открывали один и тот же закон. Ранее русского математика Лобачевского к идее неевклидовой геометрии пришел немец, “король математики” Карл Фридрих Гаусс. Одновременно с англичанином Чарльзом Дарвином идею эволюции сформулировал новозеландец Альфред Уотсон. Не счесть разного рода законов, в названии которых присутствует сразу две, а то и три фамилии: уравнение Навье–Стокса, неустойчивость Кельвина–Гельмгольца, закон Био–Савара–Лапласа и т. д. Новые идеи в силу неведомых нам закономерностей приходят в умы разных людей, не знакомых друг с другом. Так произошло и в нашей истории.

Как и Россия первой четверти XX века, Бельгия не входила в число ведущих центров физической мысли. Тем знаменательнее, что она подарила миру Жоржа Леметра, подхватившего эстафету у Александра Фридмана. Леметр родился в Шарлеруа 17 июля 1894 года. Завершая высшее образование в иезуитском колледже этого города, он почувствовал в себе одновременно два призвания: к священнической жизни и к науке. Поскольку отец посоветовал ему отложить поступление в семинарию, Жорж начал изучать инженерное дело в католическом университете Лёвена. Но после трёх лет учебы его занятия были прерваны Первой мировой войной. В армии Леметр прошел путь от простого артиллериста до офицера. Как и Фридман, он воевал на передовой, применял на фронте математические способности для решения сложных задач баллистики и был награжден орденом за храбрость. В конце войны Леметр отказался от инженерных изысканий и поступил в Высший институт философии, основанный кардиналом Мерсье. В 1919 году он получает то, что мы сегодня назвали бы степенью магистра в области математики и физики, а также степень бакалавра в области томистской философии (направления схоластической философии и теологии католицизма, порожденного влиянием Фомы Аквинского). В 1920 году, верный своему призванию, Леметр стал

студентом духовной семинарии. Распознав в Жорже исключительный ум, кардинал Мерсье разрешил ему продолжать научные исследования во время духовной учёбы. Обзорный труд “Физика Эйнштейна” принес ему стипендию для продолжения учебы в Англии. В 1923 году, после того как кардинал Мерсье рукоположил Жоржа Леметра в сан священника, молодой ученый отправился на годичную стажировку в Кембриджский университет, а затем переехал океан и занимался астрономией в обсерватории Гарвардского колледжа и в Массачусетском технологическом институте, где получил степень доктора наук. Вернувшись на родину в 1925 году, Леметр стал профессором университета в Лёвене. В следующие несколько лет он написал три статьи по релятивистской космологии, которые принесли ему заслуженную славу.

В Кембридже Леметр работал под руководством выдающегося физика сэра Артура Эддингтона (1882—1944), знатока и пропагандиста ОТО. В 1919 году британский ученый наблюдал гравитационное отклонение лучей света вблизи Солнца, что стало первым экспериментальным доказательством теории Эйнштейна. В 1923 году он выпустил книгу “Теория относительности в математическом изложении”, изучение которой стало важной вехой в формировании научных взглядов Леметра. Ни Эддингтон, ни Леметр в то время еще не знали об основополагающей работе Фридмана, поэтому их внимание в области космологии было сосредоточено на статичных моделях Эйнштейна и де Ситтера.

Первая из знаменитой тройки космологических статей Леметра называлась “Замечание о Вселенной де Ситтера” (1925). Жоржа Леметра заинтересовала внутренняя динамика, скрытая в неподвижном мире де Ситтера. Голландский физик рассматривал модель мира без вещества. Такое “пустое” пространство (вакуум) характеризуется определяющим влиянием космологической константы и обладает свойством антигравитации. Пробные “частицы” (звезды, галактики или их скопления), помещенные в такую среду, под действием сил отталкивания получают ускорение и приходят в движение. Горсть частиц сразу начинает рассыпаться, так что все расстояния между ними растут со временем. Если, однако, частицы с самого начала равномерно рассыпать по какой-то области пространства или по всему пространству мира, то и во все последующие моменты времени они будут равномерно, однородно распределены по занятому ими объему. А этот объем будет расти и “раздуваться” с течением времени. Сами частицы считаются при этом пробными, т. е. их обратным воздействием на исходное пространство-время и друг на друга в данном рассмотрении пренебрегается. Вещество не влияет на свойства пространства-времени, а отдельные его составляющие (частицы) не взаимодействуют между собой. Физики еще называют такие решения несамосогласованными. Это, конечно, серьезное физическое ограничение. Оно означает, что свойства пространства-времени не зависят от присутствия или отсутствия в нем вещества, а пространство-время выступает как некая раз и навсегда установленная четырехмерная структура, не подверженная никаким внешним воздействиям или внутренним изменениям. Введение в рассмотрение пробных частиц не может само по себе привнести ничего нового в физическое существо космологической модели как таковой. Однако анализ поведения пробных частиц в такой кинематической постановке – первый шаг к рассмотрению динамических сценариев развития Вселенной.

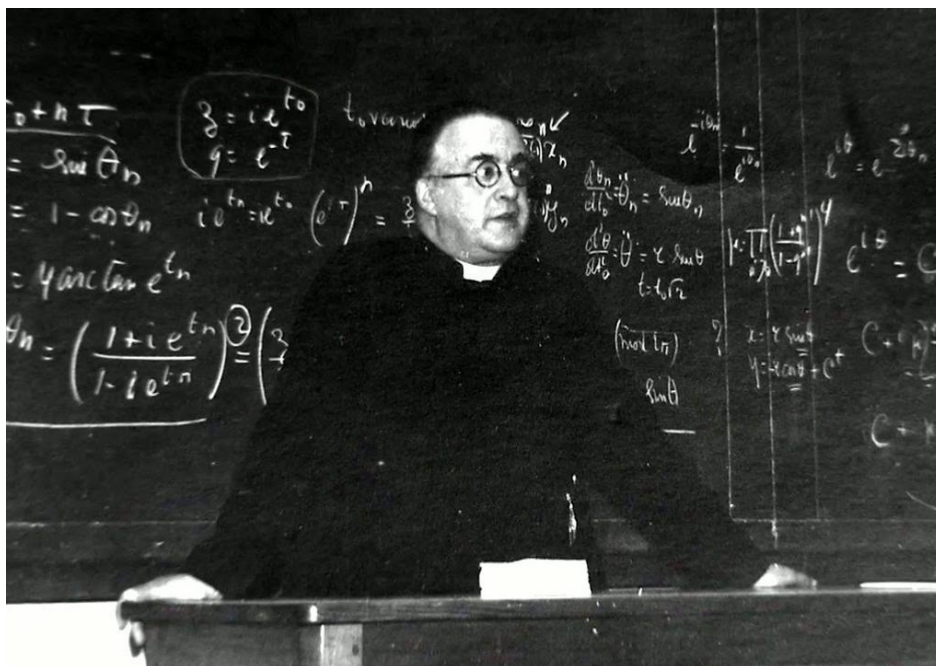


Рис. 11. Жорж Леметр – бельгийский космолог и священник (1894–1966)

Леметр построил математическую теорию, описывающую мир де Ситтера в системе отсчета, связанной с отдельной пробной частицей. “Наблюдаемый” из этой системы, он представляется расширяющимся. Все пространственные расстояния, измеряемые с точки зрения этой системы отсчета, возрастают со временем. Расстояния увеличиваются по тому закону, по которому возрастают расстояния между разбегающимися частицами. В леметровской системе отсчета метрический тензор оказывается уже зависящим от времени. Но это не означает, что модифицированная модель де Ситтера должна теперь считаться нестатической. Свойство быть статической или нестатической определяется для космологических моделей простым правилом: если существует хотя бы одна система отсчета, в которой метрический тензор не зависит от времени, модель является статической. Другое дело, что Леметр в рамках своей приближенной теории усматривал новый физический эффект, и это настраивало его искать самосогласованные решения ОТО (которые к тому времени уже открыл и исследовал Фридман). Статья Леметра была посвящена изучению статической космологической модели, но по самому духу была нацелена на нестатичность и эволюционность. Почему Леметр так “потянулся” к сценариям, описывающим расширение материального мира?

Здесь самое время вспомнить об американском астрономе Весто Слайфере (1875–1969), сотруднике Лоуэлловской обсерватории в городе Флагстаффе, штат Аризона. Одним из главных направлений его исследований была спектроскопия туманностей. Элементы светящегося объекта, будь то раскаленный кусок угля, звезда или туманность, излучают электромагнитные волны разной длины. При прохождении через спектрограф они дают набор линий (спектр объекта), напоминающий штрих-код. Слайфер измерял спектры туманностей, а затем сопоставлял их со спектрами, которые получились бы при измерении свечения объектов, состоящих из аналогичных химических элементов, если бы они располагались непосредственно в лаборатории. (Спектры элементов, составляющих туманность, к тому времени были хорошо известны.) Как оказалось, каждый штрих-код демонстрировал смещение влево или вправо относительно своего стандартного лабораторного вида. Сдвиг спектра указывал на факт движения наблюдаемых туманностей. Это явление аналогично эффекту Доплера в акустике. При удалении источника волн от наблюдателя их частота уменьшается, а длина волны увеличивается.

При приближении источника звука частота излучаемых им волн увеличивается, а длина уменьшается. Соответственно для электромагнитных волн при удалении источника света от наблюдателя длины волн увеличиваются, спектр становится “более красным”. И наоборот, если источник света движется на наблюдателя, его спектр сдвигается в сторону более коротких волн, и он выглядит “более фиолетовым”. Это правило позволяло Слайферу определять, как именно перемещаются объекты во Вселенной. Сдвиг спектра в фиолетовую область означал, что туманность приближается к нам, а сдвиг в красную – удаляется от нас.

Слайфер проделал титанический труд. Для снятия спектрограммы требовалось время экспозиции в 12–14 часов, что означало наблюдение в течение нескольких ночей. Если не менять положение телескопа, то выбранные звезда или туманность быстро покидают поле его зрения. У современных телескопов есть точные электрические моторы, которые медленно поворачивают инструмент вслед за наблюдаемым объектом, компенсируя вращение Земли. Старые телескопы, включая тот, что был в Лоуэлловской обсерватории, имели только ручное управление. Слайфер не мог отойти от телескопа и спектрографа ни на шаг, все время вручную подкручивая колесики и рукоятки и меняя направление инструмента.

- Как вы смогли так долго стоять у телескопа? – пораженно спрашивали Слайфера другие астрономы, и слышали в ответ:

- Я прислонился к нему.

С сентября 1912 года до лета 1914 года астроном измерил спектры 15 туманностей. Это был настоящий научный подвиг. Слайфер не любил публичности, но в августе 1914 года он выступил на собрании американского Астрономического общества с докладом о своих исследованиях скоростей туманностей. Результат потряс всех: только три туманности, включая Андромеду, приближались к Млечному Пути; двенадцать остальных отдалялись от Солнца, то есть разбегались в разные стороны! После окончания доклада весь зал встал и устроил Слайферу овацию. Все поздравляли Слайфера с важным достижением, открывавшим новое видение мира. Стало понятно, что туманности – такие же галактики, как и наш Млечный Путь. Но оставалось непонятным, что заставляет их разбегаться в разные стороны.



Рис. 12. Весто Слайфер – американский астрофизик

В апреле 1917 года Слайфер выступил на конференции в Филадельфии. К тому времени он измерил скорости 25 галактик, и только четыре из них двигались к Солнцу, остальные разбегались. Слайфер сказал, что это выглядит так, словно галактики отчего-то рассеиваются в пространстве. К 1923 году он измерил скорости уже для 41 галактики, и только пять из них двигались к Солнцу. Эта несимметричная статистика не прошла мимо внимания Артура Эддингтона, и тот в своей книге связал теорию де Ситтера с наблюдениями Слайфера. При этом он вместе с немецким математиком Германом Вейлем пришел к заключению, что скорость движения галактик должна возрастать с увеличением расстояния до них. Справедливости ради следует сказать, что и сам де Ситтер в статье написал, что наблюдение красного смещения достаточно удаленных астрофизических объектов будет свидетельствовать в пользу достоверности его модели. Но голландец не упоминал о результатах Слайфера.

В 1924 году молодой шведский астроном Кнут Лундмарк, используя данные Слайфера, сделал приблизительный подсчет расстояний до различных туманностей. Определить их точные значения ему не удалось, но вполне отчетливо прослеживалось, что чем дальше располагалась туманность, тем быстрее она двигалась. Все эти результаты были хорошо известны Леметру. Ему абсолютно ясно было также, что модель де Ситтера не годится для описания результатов Слайфера: туманности никак нельзя было считать пробными частицами. Поэтому Леметр нацелился на поиск нестационарных решений уравнений ОТО. Если Александр Фридман опирался прежде всего на опыт изучения движений сжимаемой жидкости, то Жоржа Леметра в большей степени вдохновляли новейшие астрофизические наблюдения.

В 1927 году Леметр написал статью “Однородная Вселенная постоянной массы и возрастающего радиуса, объясняющая радиальные скорости внегалактических туманностей”, где переоткрыл решения Фридмана. Из всех решений, допускаемых уравнением эволюции, Леметр выбрал и специально изучил то, которое Фридман обозначил M_2 (см. рис. 10). Расширение начинается с некоторого конечного радиуса мира, отвечающего, как в решении Эйнштейна, равновесию между гравитацией вещества и антигравитацией вакуума, и продолжается неограниченно во времени к сколь угодно большим значениям радиуса мира. Эта модель является промежуточной между решениями Эйнштейна и де Ситтера и описывает эволюцию от начального мира Эйнштейна к миру де Ситтера. Эти два статических состояния Вселенной являются асимптотиками в пределах соответственно бесконечно далекого прошлого и бесконечно далекого будущего. Фридман не выделял какой-либо отдельный сценарий эволюции, предоставляя решающее право выбора эксперименту. Леметр, в свою очередь, не хотел ждать и жаждал определенности. Во вступительном параграфе своей работы он писал: “Представляется желательным найти промежуточное решение, которое могло бы скомбинировать преимущества обоих решений <...>, рассмотреть Вселенную Эйнштейна, в которой радиусу пространства, или радиусу Вселенной, было бы позволено изменяться некоторым произвольным образом”. В данном случае интуиция подвела ученого, он не угадал закон, по которому развивается Вселенная. Но зато, опираясь на имеющиеся экспериментальные данные, он внес в проблему дополнительное физическое понимание и теоретически обосновал закон разбегания галактик.

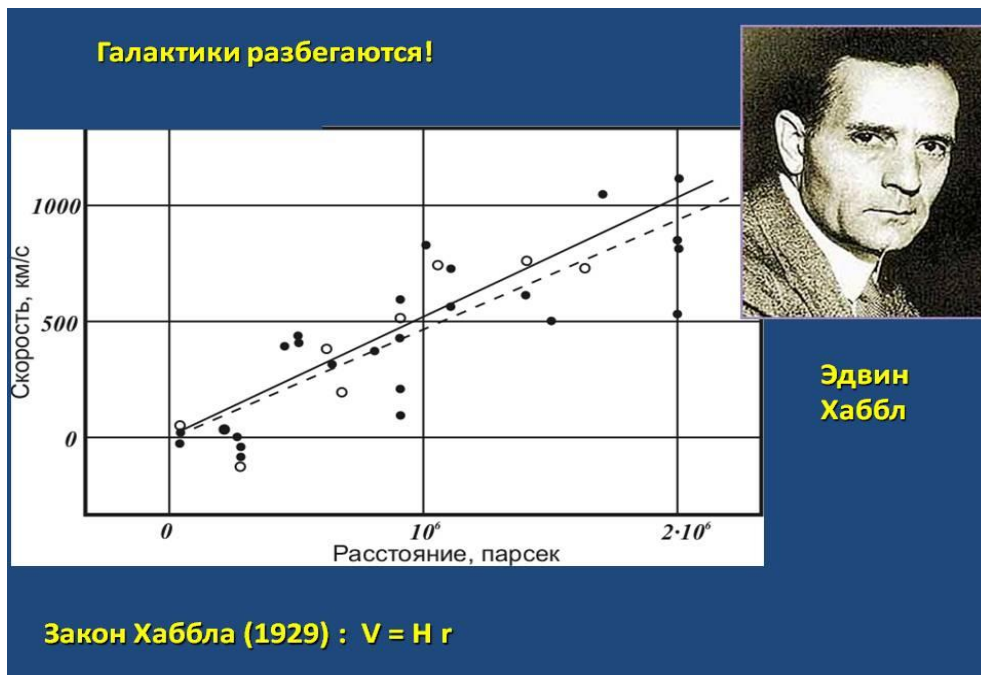


Рис. 13. Американский астроном Эдвин Хаббл и его закон

Важно уточнить тот смысл, который вкладывается в понятие “расширение Вселенной”. Этот эффект не имеет отношения ни к земным процессам, ни к планетам или звездам, ни даже к системе нескольких галактик. Тот же Слайфер наблюдал галактики, расположенные достаточно близко и приближающиеся к нам вследствие гравитационного притяжения, одна из них – туманность Андромеды. Эффект расширения проявляется на масштабах, где плотность вещества можно считать однородной на характерном масштабе Вселенной. Этот масштаб сопоставим с размером скоплений (или сверхскоплений) галактик. Леметр говорил о внегалактических туманностях (галактиках). Разбегание характерно для усредненных объемов, охватывающих достаточное их количество. Такого рода конкретики не было ни у Эйнштейна, ни у Фридмана. Их модели содержали среднюю плотность вещества, рассматриваемого в виде некоей сплошной среды. Они не уточняли, какие элементарные структуры составляют ее. Фридман всего за три-четыре года до появления работы Леметра даже полагал, что этот вопрос еще долго будет оставаться открытым “ввиду скудости наших знаний об астрономической Вселенной”. Но Леметр вполне определенно называл главных действующих лиц своего сценария – внегалактические спиральные туманности. В качестве иллюстрации закона расширения обычно предлагается следующая аналогия: неизменная в своих свойствах галактика находится на поверхности раздувающейся сферы. Галактика в такой интерпретации схожа с пробными частицами в модели де Ситтера, но геометрия расширяющегося мира описывается решениями Фридмана–Леметра.

Не ограничившись этим общим заключением, Леметр нашел теоретически закон наблюдаемого расширения мира – прямо пропорциональную зависимость скорости удаления галактик V от расстояния до них r . Леметр сравнил скорости 42 спиральных галактик, вычисленных Слайфером, с расстояниями до них, вычисленными Эдвином Хабблом (1889–1953), и получил коэффициент пропорциональности H , равный $625 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ (Мпк – мегапарсек, или миллион парсеков, $1 \text{ пк} \approx 3,1 \cdot 10^{16} \text{ м}$; расстояние до туманности Андромеды – $0,77 \text{ Мпк}$). Этот же закон разбегания получил независимо и опубликовал в 1929 году и сам Эдвин Хаббл. По его вычислениям коэффициент пропорциональности был меньше и равнялся $500 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$.

Ситуация с приоритетом открытия закона Хаббла–Леметра напоминает историю с фридмановскими решениями. Статья Леметра вышла в 1927 году, на пять лет позже

работы Фридмана, но в ней отсутствовало упоминание о результатах русского ученого. Первая ссылка на Фридмана появилась у Леметра в английском переиздании статьи в 1931 году. Авторы книги “У истоков космологии: Фридман и Леметр” М. Хеллер и А. Чернин пишут по этому поводу: “Как могло случиться, что он (Леметр. – А.А.) не заметил до 1931 г. ни публикаций Фридмана в международном журнале, ни даже посвященных работам Фридмана двух заметок Эйнштейна в том же журнале, наверняка доступном везде в Европе? Неужели они прошли мимо Эддингтона и его окружения, когда Леметр был на стажировке в Кембридже? Признаться, эти вопросы оставляют нас в недоумении, мы не знаем ответа на них”. Единственное, что приходит в голову, – языковой барьер. Англичанин Эддингтон и Леметр, разговаривавший по-французски, пропустили публикацию Фридмана в немецком журнале. Впрочем, когда в том же 1927 году Леметр на одной из конференций встретил Эйнштейна, тот любезно указал, что работа бельгийского физика всего лишь воспроизводит открытие Александра Фридмана.

Хаббл точно так же проглядел статью Леметра, и в данном случае в качестве пострадавшей стороны выступает уже бельгийский физик. Но и здесь определенная степень “вины” опять-таки лежит на нем. Статья Леметра на французском языке в малоизвестном журнале имела минимальные шансы попасться на глаза американским астрономам. На нее в течение трех лет не обращали внимания даже Эддингтон и де Ситтер. Наконец, Леметр использовал данные, полученные Хабблом, и логично было бы направить ему свою статью.

Международный астрономический союз рекомендовал установить для закона “разбегающихся галактик” двойное авторство. Леметр, несомненно, был причастен к его теоретическому объяснению, а Хаббл внес решающий вклад в его экспериментальное подтверждение. Оба ученых причастны к открытию закона, но шли разными путями, поэтому мнение членов астрономического союза представляется справедливым. При этом коэффициент пропорциональности H (постоянную Хаббла), похоже, никто переименовывать не собирается. Заслуга американского астронома состоит прежде всего в вычислении расстояний до удаленных галактик. Для этого им использовались цефеиды – звезды переменной яркости.

Метод, примененный Хабблом для определения расстояний, был предложен в 1912 году американским астрономом Генриеттой Ливитт (1868–1921). Он основан на зависимости периода изменения яркости переменных звезд цефеид от их средней светимости. Получая из наблюдений период, мы можем определить светимость и, сравнивая ее с наблюдаемой яркостью (она обратно пропорциональна квадрату расстояния), вычислить его. Применение этого метода к определению расстояний до галактик предполагает, что, во-первых, известна зависимость светимость – период для переменных звезд, а во-вторых, наблюдаемая в другой галактике звезда действительно цефеида. Выделить цефеиды можно лишь в сравнительно близких к нам галактиках, поэтому результаты Хаббла охватывали лишь ближний их круг.

Cepheid Variables

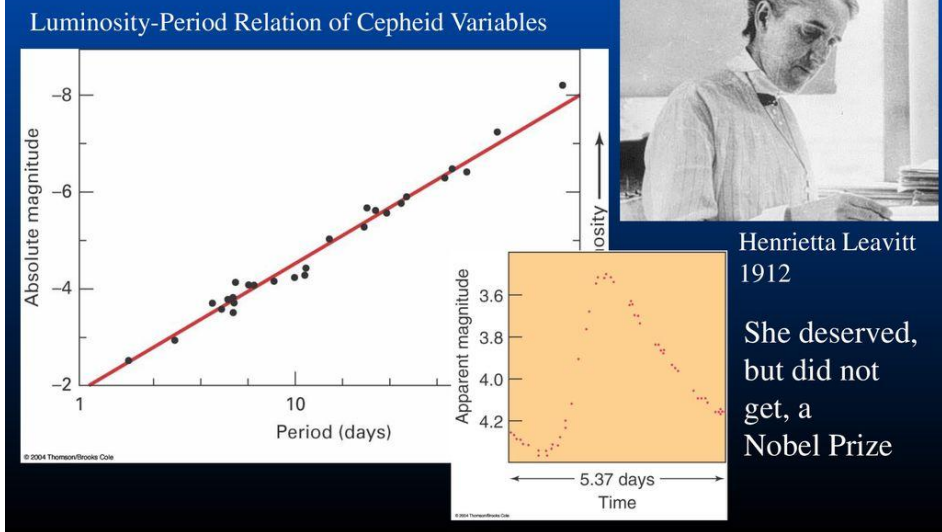


Рис. 14. Левый график – зависимость “светимость - период”, центральный – пример изменения яркости цефеиды в течение 5,37 дня. На фото Генриетта Ливитт. В Шведской королевской академии наук, не зная о смерти Ливитт, готовили документы на награждение ее Нобелевской премией в 1924 году

На измерения Хаббла существенно повлияла космическая пыль, и расстояния до галактик были существенно занижены. Как результат, Хаббл завысил значение H в семь с небольшим раз. Но формулировка закона расширения Вселенной имела огромное мировоззренческое значение. Постоянная Хаббла не зависит от направления на галактику. Это отражает факт высокой симметрии мира, изотропию его пространства и изотропию его динамики.

В дальнейшем открытая Хабблом связь расстояния до галактики от наблюдателя со скоростью ее удаления от него позволила составить полноценную картину крупномасштабной структуры Вселенной. Оказалось, галактики являются лишь ничтожной ее частью. Они связываются в скопления, а скопления – в сверхскопления. В свою очередь, сверхскопления складываются в самые большие из известных структур во Вселенной – нити и стены. Эти структуры, соседствуя с огромными сверхпустотами (войдами), и образуют крупномасштабную структуру известной на данный момент Вселенной.

В законе Хаббла–Леметра имеется “двойное дно”, неожиданный момент, который очень скоро и очень остро почувствовал Леметр. Перепишем закон в таком виде:

$$r = V \cdot \frac{1}{H}$$

Величина, обратная постоянной Хаббла, имеет размерность времени. Если допустить, что галактика двигалась равномерно, то это время, за которое она пролетела от точки наблюдения до теперешнего положения, то есть $1/H$ лет назад она была в точке наблюдения. Но так можно сказать о любой галактике. Каждая из них $1/H$ лет назад была в точке наблюдения. Все они изначально были сосредоточены в ее окрестности, а потом стали разлетаться. Значение $1/H$ - это и время их жизни, и время существования Вселенной, родившейся “из точки”. Подставляя современное значение $70 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$, получаем возраст Вселенной приблизительно равным 13,8 млрд. лет. У Леметра и Хаббла

дата рождения получалась существенно ниже (1–2 млрд. лет). Это время было меньше вычисленного на тот момент (по геологическим данным) возраста Земли и общепринятой оценки возраста звезд, поэтому космологический сценарий с рождением Вселенной “из точки” никем из авторитетных физиков не рассматривался всерьез. Сегодня известно, что в сценарий с сингулярной точкой не верил и сам Эдвин Хаббл.

Совсем другое дело – Жорж Леметр. Он возвращается к переосмыслению фридмановских решений, содержащих особые точки. Периодический сценарий, предполагающий рождение Вселенной “из ничего” с последующим сжатием вновь в точку, он называет “феникс-моделью” (кривая Р на рис. 10), а монотонный режим расширения из сингулярности – моделью “космического яйца” (кривая М1 на рис. 10). Свои симпатии в конечном итоге он отдал второй из них, и ее стали называть моделью Леметра. Она описывает эволюцию, начинающуюся с космологической сингулярности и продолжающуюся неограниченно во времени. Отличительной чертой модели является существование трех этапов эволюции. На первом из них происходит расширение, сопровождающееся постепенным замедлением из-за действия собственной гравитации вещества. При этом плотность вещества, которая в самом начале была неограниченно большой, постепенно уменьшается и в определенный момент времени оказывается сравнимой с плотностью антигравитирующего вакуума. С этого момента начинается второй этап эволюции, на котором возникает приблизительное равновесие между гравитацией вещества и антигравитацией вакуума, расширение протекает очень медленно, так что создается состояние, похожее на статический мир Эйнштейна. Но расширение все же продолжается, и потому происходит дальнейшее падение плотности вещества на фоне неизменной, как всегда, плотности вакуума. В результате равновесие рано или поздно смещается в пользу антигравитации и наступает третий этап эволюции, который продолжается затем неограниченно долго. На этом “вакуумном” этапе расширение происходит в возрастающем темпе из-за ускорения, создаваемого антигравитирующим вакуумом.

Сами названия космологических сценариев с сингулярными начальными условиями говорят о глубоком знакомстве Леметра с мировой мифологической традицией. В пользу особого пристрастия к ним должно было подталкивать и его христианское мировоззрение с безусловным пиететом к библейской картине творения. Но наряду с этими гуманитарными пристрастиями были еще и естественнонаучные, связанные уже непосредственно с интуицией его как ученого. Во-первых, Леметр, в отличие от того же Эйнштейна, не исключал из уравнений антигравитацию. Во-вторых, он почувствовал, что будущая теория должна будет включать новейшие открытия в микромире. Ставшая знаменитой статья Леметра в журнале Nature называлась “Начало мира с точки зрения квантовой теории”. В ней Леметр в концентрированном виде изложил свою “теорию первоатома”, лишенную какой бы то ни было мифологии или религиозности. По существу он призывал к поиску элементарных первочастиц. Леметр писал: “Если мир начался с одного кванта, понятия пространства и времени вначале должны быть лишены какого-либо смысла; они должны начаться только в момент, когда первоначальный квант разделяется на достаточное количество квантов. Если это предположение корректно, начало мира произошло немного раньше возникновения пространства и времени”. Такая постановка проблемы предполагает поиск первичных “следов” Вселенной в осколках “первичного атома”, и, как сегодня ясно, это было правильной программой исследований. Ее принял и гениально развил Георгий Антонович Гамов.

1.1.3. Георгий Гамов: физик от бога

Я есмь Альфа и Омега, начало и конец,

говорит Господь, Который есть и был и грядет,
Вседержитель.

Откровение (1: 8)

За Георгием Антоновичем Гамовым (1904–1968) закрепилось определение: физик от бога. Это мнение разделяли самые разные гении физической науки. Признаемся, на ум не приходит никакой другой выдающийся физик, к которому его коллеги столь единодушно применяли бы подобную характеристику. Как правило, физик-теоретик подобен автомату, выплескивающему безостановочно “километры” математических формул. В настоящее время это проявляется особенно явственно. Техника вычислений затмевает все остальное, включая зачастую и идеи, на которых они выросли. Но Гамов прославился как раз умением выдвигать новые, неожиданные мысли, кардинально менявшие взгляд на исследуемое явление.

Георгий Антонович родился в Одессе. Он был потомственным дворянином из древнего (по отцу) рода, о котором найдены архивные документы XVII века. По матери его предки принадлежали к южнорусскому духовенству. Дед Георгия Гамова по отцу был полковником царской армии, командующим Кишиневским военным округом; дед по матери - митрополитом, настоятелем Одесского собора; его отец Антон Михайлович Гамов - статским советником, преподавателем русского языка и литературы в одесских гимназиях и реальных училищах; мать Александра Арсеньевна Лебединцева преподавала историю и географию в одесской женской гимназии. Отец Георгия был чрезвычайно доволен, что сын увлекается биологией, физикой и астрономией. Для своего образования тот поначалу выбрал физико-математический факультет Одесского университета, но уже через год, в 1922 году, переехал в Петроград, где поступил на аналогичный факультет местного университета. Для осуществления замысла сына отец продал фамильное серебро, благословляя тем самым сына на занятие наукой. И Георгий с лихвой оправдал ожидания родителей. Достаточно сказать, что уже в марте 1932 года Георгий Гамов был избран членом-корреспондентом АН СССР, став самым молодым из ученых, имевших тогда это звание. Среди множества его научных результатов три имеют ранг нобелевских, и мало кто из других ученых, если таковые вообще существуют, может похвастаться тем же (увы, Гамов так и не стал лауреатом, но это уже зигзаги судьбы и плоды несправедливости).

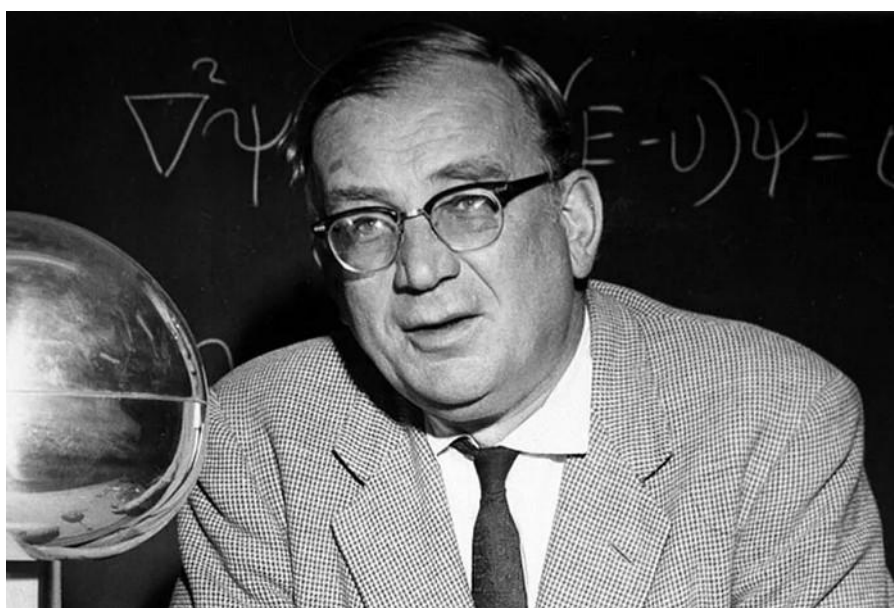


Рис. 15. Георгий Антонович Гамов.

Назовем три этих открытия:

- теория альфа-распада (1928 г.), объясняющая явление радиоактивности;
- модель “Горячей Вселенной” (1947 г.), в которой эволюция Вселенной начинается с состояния плотной горячей плазмы, состоящей из элементарных частиц, и протекает при космологическом расширении;
- предсказание генетического кода молекулы ДНК (1954 г.).

Первое из них Гамов сделал во время зарубежной командировки в Европу в 1928–1931 гг. (Геттинген, Копенгаген, Кембридж). Молодой ученый на удивление легко вписался в круг ведущих исследователей, занимавшихся новомодной тогда квантовой механикой, и “с хода” открыл способность микрочастиц проходить через потенциальные барьеры (туннельный эффект). Эта работа буквально мгновенно прославила Гамова, и на родине его встречали как героя. Демьян Бедный посвятил ему стихотворение “До атомов добрались”:

СССР зовут страной убийц и хамов.
Недаром. Вот пример: советский парень Гамов,
– Чего хотите вы от этаких людей?! –
Уже до атомов добрался, лиходей!
Милыоны атомов на острие иголки!
А он – ведь до чего механика хитра! –
В отдельном атоме добрался до ядра!
Раз! Раз! И от ядра остались осколки!
Советский тип – (Сигнал для всех Европ!) –
Кошунственно решил загадку из загадок!
Ведь это что ж? прямой подкоп
Под установленный порядок?
Подкоп иль не подкоп, а, правду говоря,
В науке пахнет тож кануном Октября.

О художественных достоинствах этого поэтического произведения говорить не приходится, но его напечатали в газете “Правда” за 25 ноября 1928 года, а самому “шедевру” был предпослан эпиграф, взятый из газетной новости: “Командированный полгода назад в Копенгаген для работы в институте одного из крупнейших физиков современности – Нильса Бора – 24-летний аспирант ленинградского университета Г. А. Гамов сделал открытие, произведшее огромное впечатление в международной физике. Молодой ученый разрешил проблему атомного ядра. Известно значение атомного ядра как области, где сокрыты гигантские запасы энергии и возможности искусственного превращения элементов. Каждый новый шаг в раскрытии его строения представляет, следовательно, совершенно исключительный научный интерес”.

Статья и стихи появились в том же году, что и научная работа Гамова. В этом смысле мгновенная реакция советских властей воистину впечатляет (хотя заставляет и призадуматься). Молодого гения оценили не только в научных кругах, только интеллектual с огромным кругозором на “советского парня” и “советского типа” явно не тянул. И тут проявлялась даже не столько дворянская порода, сколько нежелание мыслить в ограниченных рамках. В общем, из второй заграничной командировки Гамов уже не вернулся на родину, и с 1934 года жил в США. Местом его работы стал столичный Университет Джорджа Вашингтона, где он занимал должность профессора. Разлука с Родиной терзала сердце Гамова (чтобы чувствовать себя по-настоящему русским, он со временем пристрастился к крепким напиткам), но мощь его научных прозрений со временем только нарастала.

В середине 1940-х годов лучшие физики ведущих держав работали над созданием ядерной бомбы. Гамов не привлекли к Манхэттенскому проекту, хотя с 1940 года он уже был гражданином США. Виной тому, по-видимому, стало его русское происхождение. Но, по иронии судьбы, он тоже стал думать над “бомбой”, только совсем другой – той, которая породила Вселенную.

Гамову было суждено наполнить реальным физическим содержанием идею Фридмана о нестационарной Вселенной и дать жизнь теории Большого Взрыва. В этом внешне, казалось бы, случайном факте таится, как нам кажется, глубокая закономерность, жившая где-то “за кадром”, призывавшая Гамова обратиться к космологии и довести до логического конца идею Фридмана (немцы говорят “закрывать гештальт”). Дело в том, что Гамов слушал лекции Фридмана по космологии в Ленинградском университете. Выдающийся советский физик Дмитрий Дмитриевич Иваненко свидетельствует в своих “Воспоминаниях”: “Прямое и косвенное влияние Фридмана на Гамова и на всех нас было огромным”. Георгий намеревался, если бы не смерть 37-летнего профессора, работать под его началом. Правда, представить, во что бы вылилось их сотрудничество, весьма непросто. Космологические работы были для Фридмана отвлечением, главное внимание в своих научных занятиях он всё-таки уделял гидромеханике и динамической метеорологии. Как это обычно и происходит в науке, он наверняка попытался бы вовлечь молодого ученика в круг гидродинамических проблем, не столь модных, как ядерная физика. Но захотел бы Гамов изучать вихри в атмосфере? Судя по всей его дальнейшей деятельности, вряд ли. С другой стороны, в космологии на тот момент все “сливки” (в виде решений общей теории относительности) уже были сняты, да и не любил Гамов “зубодробительную” математику. Как эстета и эрудита, его интересовали оригинальные подходы и несложные вычисления. Став учеником Фридмана, Гамов вряд ли бы так “выстрелил” в науке. Во всяком случае статьи в “Правде” через два года после окончания университета уж точно не было бы.

Вскоре после переезда в США Гамов пишет статью “Ядерные превращения и происхождение химических элементов” (1935 год), где ставится вопрос о космическом происхождении элементов таблицы Менделеева. Это уже был шаг в сторону космогонии и астрофизики. На необходимость соединения космологической схемы нестационарной Вселенной с теориями микромира указывал еще Фридман. Шедший тем же путем Леметр проговорил это более явственно. Он пришел к выводу, что Вселенная возникла из особого начального состояния с очень высокой плотностью материи. Развивая эту мысль, бельгийский ученый в одностороннем письме в редакцию журнала *Nature* интерпретировал рождение Мироздания как распад первичного суператома, чья масса равнялась суммарной массе всех будущих частиц Вселенной. При этом он подчеркивал, что его природу должна прояснить в будущем квантовая теория. Нельзя не признать, что это формулировка нового направления исследований, программа соединения физики макро и микромира. Такого рода проблемы как раз и интриговали Георгия Гамова.

Но он, как и физики-ядерщики того времени, прекрасно видел слабые места гипотезы Леметра. Взрыв первоатома должен был порождать нестабильные фрагменты, которые должны были вновь делиться. В процессе множественных делений в конце концов должны были возникать устойчивые ядра. А поскольку титул абсолютного чемпиона ядерной стабильности принадлежит железу, то в космических масштабах оно и должно было бы оказаться самым распространенным элементом. Однако в тридцатые годы астрономы уже знали, что Вселенная почти полностью состоит из водорода и гелия, что никак не согласовывалось с теорией первичного атома. Другая слабость (на тот момент) модели Леметра проистекала из ее безусловного достоинства: она позволяла определить возраст Вселенной. Но поскольку для постоянной Хаббла принимались завышенные значения, то на существование нашего мира отводилось всего около двух миллиардов лет. Это вступало в противоречие с данными других наук. Геологи прекрасно знали, что Земля много старше, да и астрономы не сомневались, что в космосе

множество звезд имеют более почтенный возраст. У астрофизиков тоже были основания для недоверия. Все их попытки прояснить процентный состав распределения химических элементов во Вселенной на основе Леметровской модели были неудачными.

Все было против идеи рождения Вселенной из “точки”. Но недостатки модели подсказывали и путь их преодоления. Достаточно было допустить, что со временем величина постоянной Хаббла будет откорректирована в сторону меньших значений (что и произошло во второй половине века), а также пересмотреть состав субстанции, лежавшей в основе мира. И сделать это следовало на базе достижений физики ядра и элементарных частиц, которые стали накапливаться вскоре после публикации Леметра. В 1932 году были открыты нейтрон и позитрон, а чуть позже построены теория бета-распада (тип радиоактивного распада, изменяющий заряд ядра на единицу без изменения массового числа) и мезонная теория ядерных сил. При этом у специалистов совершенно естественно возникло предположение, что образование элементов в космосе шло не путем распада массивного суператома, а наоборот, за счет синтеза элементарных частиц. Теперь физики могли задавать компоненты “первичного бульона” и изучать, что с ним будет происходить при разных уровнях нагрева.

К числу наиболее интересных результатов в этом направлении относится работа Субраманьяна Чандрасекара и Луиса Генриха (1942 г.). Они выбрали смесь из протонов, нейтронов, электронов, позитронов и альфа-частиц при плотностях порядка 10^6 г/см³ и температурах порядка 10 миллиардов кельвинов (при более высоких температурах альфа-частицы разрушаются). Это была усеченная модель первичного нуклеосинтеза, поскольку наличие альфа-частиц, то есть ядер гелия-4, принималось там за исходную данность. “Хотя выход к сверхвысоким плотностям и температурам был несомненным прорывом на пути к пониманию первичного нуклеосинтеза, усилия Чандрасекара и Генриха не привели к получению результатов, согласующихся с данными астрономов. Как сейчас понятно, главная слабость их подхода состояла в том, что они рассматривали процессы рождения элементов в условиях термодинамического равновесия. <...> Их горячая модель предсказала огромный избыток легких элементов лития, бериллия и бора и столь же непомерный дефицит железа и других элементов с массивными ядрами. В результате соавторы сами заключили, что весь набор химических элементов невозможно синтезировать при одной и той же плотности и температуре первичной материи. Они также отметили, что для понимания рождения многонуклонных ядер надо рассматривать неравновесные процессы” (А. Левин. Джордж и его команда: к 70-летию горячей модели Вселенной).

Первая астрофизическая работа Гамова “Расширение Вселенной и происхождение элементов” вышла в сентябре 1946 года. В отличие от Чандрасекара и Генриха ученый сделал попытку заглянуть в еще более ранние моменты рождения мира. Исходную среду “творения” он выбрал в виде нейтронной жидкости. Шаг этот вполне понятный, поскольку нейтрон – простейшая нейтральная элементарная частица. Логично предположить, что она должна была присутствовать (и даже доминировать) в ранней Вселенной. Кроме того, нейтроны как составные части атомного ядра неминуемо участвовали в процессах его рождения. Период полураспада свободных нейтронов исчисляется десятком минут, поэтому процесс нуклеосинтеза по Гамову протекал исключительно скоротечно (в течение секунд) при сверхвысокой плотности вещества. В начале расширения Вселенная содержала много нейтронов, но со временем плотность и температура ее вещества должны были упасть ниже предела осуществимости реакций ядерного синтеза – задолго до того, как эти нейтроны успели бы претерпеть бета-распад и превратиться в протоны. “Мы можем предположить, - пишет Гамов, - что нейтроны из этого относительно холодного облака постепенно объединялись во все более крупные нейтральные комплексы, которые затем посредством процессов бета-распада превращались в различные виды атомов”. Схема Гамова пока “относительно холодная”, о горячем нуклеосинтезе еще нет речи, но в нее уже включена неравновесность. Плотность

и температура нейтронного сгустка изменяются в соответствии с формулой для расширения пространства (для масштабного фактора), вытекающей из моделей Фридмана и Леметра, и это важнейший момент исследования.

Гамов, по существу, связал между собой ядерную и космологическую составляющие задачи. В конце 1920-х годов было совершенно неясно, в каком направлении следует развивать космологический подход Фридмана. Идея Леметра о первоатоме Вселенной мало кого пленила, но Гамов, безусловно, отнесся к ней очень серьезно, поскольку она обозначала путь поиска. Со временем Гамову стало ясно, что леметровский распадный механизм не годится на роль “творца” и следует строить теорию синтеза химических элементов. На счастье, тогда же подоспели и новейшие открытия в ядерной физике, подсказав возможные варианты решения проблемы. Можно сказать, что Гамов закрыл гештальт по отношению к Фридману, и произошло это, потому что он в течение двадцати лет размышлял над возможностью физических приложений фридмановских решений и проверки их действительности.

Холодная модель требовала усложнения. Первичный нейтронный газ следовало задать более плотным и нагретым. В результате расширения Вселенной, когда давление этого газа падало ниже определенной величины, нейтроны начинали распадаться на протоны и электроны. Захват новорожденными протонами еще не распавшихся нейтронов приводил сначала к рождению ядер дейтерия, а затем и более тяжелых ядер. Всю эту цепочку взаимодействий следовало детально рассчитать, и здесь Гамову чрезвычайно помог его аспирант Ральф Альфер (Ильферович), проделавший львиную долю вычислений. Их итоговая работа “Происхождение химических элементов” вышла в 1948 году. Правда, ее публикация ознаменовалась гамовским “озорством”. В число соавторов он собственноручно добавил своего друга Ганса Бете, который не принимал участия в работе. Склонный к разного рода выдумкам и розыгрышам, Георгий Антонович посчитал, что подпись “Альфер – Бете – Гамов”, фонетически близкая к последовательности трех первых букв греческого алфавита, станет оригинальной меткой работы (ее действительно стали называть *αβγ* статья).

Еще в докторской диссертации (1948 г.) Альфер отмечал, что частицы юной Вселенной были погружены в море фотонов, чья суммарная энергия очень сильно превосходит энергию частиц. Позже к Альферу присоединился его коллега по лаборатории Роберт Герман. Под руководством Гамова они развили исходную модель. Альфер и Герман использовали стандартное уравнение, описывающее эволюцию масштабного фактора Вселенной, для сравнения плотности частиц и плотности энергии фотонов в разные эпохи. При расширении Вселенной первая падает в обратной пропорции к кубу масштабного фактора, в то время как вторая из-за космологического красного смещения уменьшается обратно пропорционально его четвертой степени. Отсюда следует, что, хотя энергия излучения в начале расширения Вселенной неизмеримо превосходила энергию частиц, со временем они сравнялись, после чего разница между ними стала расти в пользу материи. Температура фотонов, имевших планковский спектр, согласно расчетам к современной эпохе должна была упасть до $5^{\circ}K$. В итоге Гамов, Альфер и Герман заключили, что космическое пространство заполнено изотропным микроволновым излучением, чей спектр должен совпадать со спектром абсолютно черного тела, нагретого до $5^{\circ}K$. Данное предсказание полностью оправдалось, за исключением поправки на температуру излучения. Гамов позже снизил температуру до “почти” правильного значения – $3^{\circ}K$ (современное значение $\approx 2,7^{\circ}K$).

Фоновое излучение, равномерно заполняющее космос (оно было названо реликтовым), было следствием гамовской теории горячей Вселенной. Но физики отнеслись к ней весьма прохладно. Немногие из них принимали гамовскую модель, и никто из радиоастрономов не желал тратить силы и время на ее подтверждение. Это в значительной степени охладило исследовательский пыл первооткрывателей реликтового излучения. В начале 1950-х годов Георгий Гамов увлекся расшифровкой генетического

кода, совершив и там грандиозный прорыв. В своих занятиях он практически отошел от астрофизики. Тогда же Альфер и Герман перешли на работу в промышленные корпорации и оставили фундаментальную физику. В эти же годы в космологии в полном блеске засверкала звезда английского астрофизика Фреда Хойла (1915–2001), выдвинувшего вместе с Германом Бонди и Томасом Голдом (его коллегами по Кембриджскому университету) концепцию стационарной Вселенной.

Хойл, Голд и Бонд сдружились, когда работали в Британском адмиралтействе во время Второй мировой войны. Толчком к созданию теории послужил результат Голда, что в вечной, постоянно создающей новую материю Вселенной существует эффект разбегания далеких галактик, который обнаружил Хаббл. Сама по себе идея стационарного мира была не нова. Новым же было то, что непрерывное образование новой материи происходило по всему космическому пространству. Непрерывное рождение небольшого количества материи обеспечивало постоянную плотность космического пространства. Такое образование материи, считали авторы модели, гораздо правдоподобнее, чем возникновение Вселенной из бесконечно малой точки в ходе единичного события. В стационарной Вселенной, по образному выражению Хойла, должен был рождаться “один атом в столетие в объеме, равном Эмпайр-стейт-билдинг” (знаменитый небоскреб в Нью-Йорке). Такое количество невозможно обнаружить экспериментальным путем, что надежно защищает модель от опровержения путем наблюдений. Новая материя материализуется из пустого пространства и конденсируется, формируя звезды в ходе ядерного синтеза. Таким образом, расширяющаяся Вселенная постоянно рождает новые галактики.

Хойл, Голд и Бонд опубликовали свою модель в 1948 году, практически одновременно с моделью горячей Вселенной, которую Фред Хойл в научно-популярной программе Би-би-си однажды назвал Big Bang (Большой Взрыв). Название оказалось очень удачным и прочно прилепилось к гамовской теории. Хойл хотел посмеяться над моделью оппонентов, но, по иронии судьбы, стал ее крестным отцом.

У Хойла, с одной стороны, и Голда и Бонди – с другой были некоторые разногласия, но в вопросе вечного существования неизменного по своим свойствам мира они были едины. Модель стационарного состояния Вселенной была полной противоположностью модели Большого Взрыва. Если Большой Взрыв предполагал некое начало, то стационарная модель в таковом не нуждалась. В первой модели для Вселенной существовало понятие возраста, во второй она была вечной. И если Большой Взрыв подразумевал происхождение космоса из “первичного атома”, то в стационарной модели такой “бессмыслицы” не было.

Многие физики и философы не хотели принимать идею о рождении Вселенной, поскольку при этом неизбежно вставал вопрос: “А что было до того?”. Кроме этой мировоззренческой проблемы, имелся и чисто “технический” запрет: до 1950-х годов расстояния до галактик занижались, что приводило к завышенному значению постоянной Хаббла и слишком малому возрасту Вселенной, меньшему возрасту Земли (согласно геологическим оценкам). В рамках модели Большого Взрыва это противоречие казалось неразрешимым. Хойл с коллегами предложил выход из этого тупика, заявив, что расширение происходит вечно, а в пустоте постоянно происходит самопроизвольное рождение вещества со скоростью, оставляющей среднюю плотность Вселенной неизменной. Из родившегося разреженного вещества постепенно формируются новые звезды и галактики, которые заполняют промежутки между разлетающимися старыми. Это очень красивая теория, полностью отвечающая принципу Коперника: положение человека не только в пространстве, но и во времени не является исключительным.

Модель стационарной Вселенной доминировала над теорией Большого Взрыва вплоть до середины 1960-х годов, когда американцы Пензиас и Вильсон обнаружили реликтовое излучение. В действительности, у них были предшественники из Канады, Франции и СССР (смотри таблицу), но Нобелевская премия досталась именно

американцам, которые, зная о работах своих соотечественников Дикке и Пибблса, еще и правильно объяснили наблюдаемое явление.

Авторы	Год	Страна	Метод получения результата	Температура
Э. Маккеллар	1941	Канада	Эксперимент: расщепление межзвездной линии поглощения, соответствующей молекуле циана (CN)	$2,3^{\circ} K$
Гамов, Альфер, Герман	1948	США	Теория	$\sim 5^{\circ} K$
Гамов	1950	США	Теория: полупопулярная статья	$3^{\circ} K$
Эмиль Ле Ру	1955	Франция	Эксперимент: длина волны 33 см	$3^{\circ} K$
Шмаонов	1957	СССР	Эксперимент: длина волны 3,2 см	$3,5^{\circ} \pm 3^{\circ} K$
Дорошкевич, Новиков	1964	СССР	Теория	$1^{\circ} \div 10 K$
Пензиас, Вилсон	1965	США	Эксперимент: длина волны 7,35 см	$2,725^{\circ} K$
Дикке, Пибблс	1965	США	Теория	$\sim 10^{\circ} K$

Табл. 1. Физики, предсказывавшие и наблюдавшие реликтовое излучение.

Правомерно задаться вопросом, почему в списке лауреатов не оказалось Георгия Гамова или кого-либо из его команды. И здесь самое время сказать, что джентльмены из Нобелевского комитета должны были крайне негативно воспринять историю с $\alpha\beta\gamma$ статьей. Розыгрыши такого рода ими явно не приветствуются, так что не слишком уместная шутка, как ее обычно представляют историки науки, стоила ученому премии. Но нам хочется взглянуть на поступок Георгия Антоновича с философско-мировоззренческой точки зрения. Очевидно, что, придумывая состав авторов статьи, Гамов держал в голове фрагмент из “Откровения Иоанна Богослова” (смотри эпиграф), который предлагает символически мыслить Творца мира в виде полного набора букв греческого алфавита. Разобравшись с проблемой первичного нуклеосинтеза, Гамов с учениками проник (разумеется, частично) в тайну рождения Вселенной, стал на голову выше остальных ученых, думавших над этой проблемой на протяжении веков и даже тысячелетий. В 1948 году его теорию еще не признавали, но он был убежден в своей правоте и, подобно Иоанну, в символической форме сообщал об этом во всеуслышание. В поступке Гамова был глубокий смысл. Физик от бога, он посылал миру знак о своем гениальном прозрении...

1.2. Инфляционная космология: путь к истине?

Где-то кони пляшут в такт,
 Нехотя и плавно.
 Вдоль дороги все не так,
 А в конце – подавно.

И ни церковь, ни кабак -
Ничего не свято!
Нет, ребята, все не так!
Все не так, ребята...

В. Высоцкий

Модель горячей Вселенной ничего не говорит о том, как произошел Большой Взрыв и что ему предшествовало. Сверхсжатое состояние первичной “смеси” предполагается заданным и выступает в качестве начального условия. То, что ему предшествовало, до сих пор является предметом дискуссий. Наряду с идеей первичной сингулярности обсуждается также и циклическая модель. Ее сторонником, в частности, был Георгий Гамов. В книге “Создание Вселенной” он писал: “Большое сжатие, которое имело место в ранней истории нашей Вселенной, было результатом коллапса, который случился в еще более раннюю эру. Нынешнее расширение есть просто “упругий отскок”, который начался, как только была достигнута максимальная плотность”.

Циклическая модель выступает альтернативой Большому Взрыву, предлагая считать, что до нашей Вселенной существовала другая. Мир как бы постоянно воспроизводит себя. По этой теории Большой Взрыв не являлся точкой начала времени и пространства, а стал результатом коллапса другой Вселенной. В момент предельного сжатия Вселенная обладает максимальной энергией, заключенной в минимальный объем. Как результат, происходит так называемый “большой отскок”, когда Вселенная начинает расширяться. Этот переход от сжатия к расширению интерпретируется как рождение нашего мира.

В основе этой модели лежит теория петлевой квантовой гравитации (ТПКГ), объединяющая в себе общую теорию относительности и уравнения квантовой механики. ТПКГ принимает, что пространство и время дискретны, то есть состоят из отдельных частей – квантовых ячеек с планковскими масштабами. На малых масштабах длин и продолжительностей ячейки создают прерывистую структуру, а на больших образуют гладкое и непрерывное пространство-время. Экстремальные условия, в которых происходило рождение нового мира, заставляли квантовые ячейки отделяться друг от друга. Сокращающаяся в таких условиях Вселенная не переходит в состояние сингулярности, а квантовым образом переходит из состояния до рождения (сжатие) в состояние после рождения (расширение). В силу законов квантовой механики нельзя говорить, где “крошечная” Вселенная находится в конкретный момент. Эта неопределенность в ее положении и позволяет проходить через сингулярное (с точки зрения математики ОТО) состояние.

ТПКГ – относительно молодое научное направление, возникшее в начале 2000-х годов. Несравненно большей популярностью у космологов пользуется теория инфляции, которая была разработана для объяснения проблем стандартной модели горячей Вселенной, возникших при сопоставлении ее следствий с экспериментальными наблюдениями.

Теория Большого Взрыва общепринята в физическом сообществе, но у нее есть недостатки. Основные из них получили названия “проблема горизонта” и “проблема плоскостности”.

Первая проблема основана на осознании экспериментально доказанного факта, что излучение ночного неба в высокой степени однородно, какую бы его точку мы ни выбрали. Поворотом головы на 180° мы устремляем взор на другой сегмент Вселенной, однако мощнейшие телескопы и спутники не могут обнаружить заметной разницы в излучении этих участков неба. В какую бы точку космоса мы ни проникли, температура космического фонового излучения меняется не более чем на одну тысячную градуса. Но расширение пространства способствовало тому, что те точки на противоположных частях

неба, от которых принимается излучение, отделены огромным расстоянием. Оно настолько значительное по величине, что свет или информация не смогли бы преодолеть его за все время существования Вселенной. Как может Вселенная казаться настолько однородной, когда у света просто-напросто не было достаточно времени, чтобы перенести и распространить информацию из одной части Вселенной в другую? Принстонский физик Роберт Дикке (1916–1997) назвал эту проблему “проблемой горизонта”, поскольку горизонт – самая отдаленная точка, которую мы можем видеть.

Проблема плоскостности связана с неотличимой от нуля (на уровне точности современных экспериментов) глобальной кривизной пространства. Проще говоря, на больших масштабах пространство Вселенной плоское, а из теории горячего Большого Взрыва не следует, что плоское пространство более предпочтительно, чем другие виды пространств. Близость кривизны к нулю как минимум неочевидна.

Наиболее успешно эти проблемы разрешает теория инфляционного расширения Вселенной (или теория инфляции, от латинского *inflatio* – “вздутие”). Инфляционная модель Вселенной предполагает, что до горячей стадии (то, что в обычной теории Большого Взрыва считается началом времени) существовала другая эпоха с совсем иными свойствами. В то время пространство расширялось экспоненциально быстро благодаря заполнявшему его специфическому квантовому полю. За крохотные доли секунды пространство растянулось в невероятное количество раз. Это решило обе вышеупомянутые проблемы: Вселенная оказалась в целом однородной, а все геометрические неоднородности, если они в ней и были, разгладились во время инфляционного расширения.

Психологически принять теорию инфляции крайне непросто. Да, она уже не содержит страшное для объяснения слово “сингулярность”. Но вместо него вводится новое понятие – “скалярное поле” (или “поле инфлатона”). Какова его природа, какими характеристиками оно обладает и откуда появилось – создатели теории не поясняют, это в принципе вопрос “закрытый”. Логика здесь такая. Будем считать, что такое поле есть, и посмотрим, к каким следствиям приведет его влияние. Теоретические выводы впоследствии будут сопоставлены с экспериментом, это и станет тестом на правильность теории. Человеку, не привыкшему мыслить абстрактными сущностями, такой подход кажется странным, но для современных физиков это обычный технический прием. В данном случае они не идут от первых принципов, не постулируют структуру первичного вакуума. Их путь другой: подогнать математику под наблюдаемую картину излучения космоса. Если одного скалярного поля будет мало, они введут еще одно или увеличат число измерений и т. д. Глубинную природу явления это не прояснит, но положительный результат (совпадение с экспериментом) будет достигнут. Это магистральный путь развития фундаментальной физики. Но даст ли он понимание устройства вакуума и Космоса в целом, приведет ли он к истине?..

Первые модели инфляции независимо друг от друга предложили Алан Гут в США и Алексей Старобинский в СССР в 1979-1980 годах. Их способы рассуждений несколько различались, но в итоге они пришли к схожим выводам. В основе механизма, предложенного Старобинским, лежала модификация уравнений ОТО Эйнштейна. Она заключалась в добавлении в уравнения члена, пропорционального квадрату кривизны пространства-времени. Дополнительный член был существенным только при большой кривизне пространства, а в остальных случаях им можно было пренебречь. Введение нового нелинейного слагаемого приводило к возникновению поля, которое давало гравитационное расталкивание пространства. Малый объем ранней Вселенной в таких условиях экспоненциально расширялся. Этот эффект эквивалентен действию лямбда-члена Эйнштейна, только в данном случае он не постоянен, а становится ничтожным, когда ускоренное расширение Вселенной прекращается. На языке классических сценариев динамики однородного мира можно сказать, что схожий с вариантом де Ситтера изначальный сценарий сменялся потом фридмановским. На экспоненциальной стадии

расширение шло со скоростью, во много раз превышающей скорость света, поэтому области причинного влияния распространились гораздо дальше горизонта их наблюдения, а кривизна пространства уменьшилась практически до нуля. Таким образом, обе проблемы теории горячей Вселенной оказываются решенными.

Гут, со своей стороны, опирался на известную в квантовой теории поля идею ложного вакуума. Так называют состояние, отвечающее локальному минимуму энергии. Ложный вакуум может “туннелировать” в состояние истинного вакуума, обладающее более низкой энергией и соответствующее ее глобальному минимуму. Гут предположил, что в некоторый момент эволюции ранняя Вселенная, уже несколько поостывшая, но все еще горячая, попадает в состояние ложного вакуума. Свойства его, диктуемые общей теорией относительности, крайне необычны. Во-первых, ему соответствует отрицательное давление. Во-вторых, если абсолютная величина давления превысит некоторый “предел” (равный одной трети плотности энергии горячей фазы), то в нем возникает отталкивающая гравитация, которая способствует стремительному расширению частей пространства. Для этого как раз и следует подождать, чтобы Вселенная в достаточной степени охладилась и заработал механизм инфляции. А действует он впечатляющим образом. Космологическая инфляция за малую долю секунды раздувает крошечную область с поперечником меньше атома до размеров, превышающих наблюдаемую сегодня часть Вселенной.

Вместе с тем, и это еще одно его свойство, ложный вакуум неустойчив и очень быстро переходит в состояние с меньшей энергией (истинный вакуум). Высвобожденная энергия идет на порождение огненного сгустка элементарных частиц. Сценарий Гута предполагает появление внутри ложного вакуума пузырей (общепринятый термин) истинного вакуума, их увеличение, слияние в результате столкновений и, как результат, заполнение истинным вакуумом всего пространства и его разогрев до температур, при которых рождаются элементарные частицы. Однако детальный анализ показал, что стенки различных пузырей, вместо того чтобы сближаться, удаляются друг от друга из-за экспоненциального расширения Вселенной. Столкновений между стенками в действительности не происходит, и Вселенная не разогревается. Таким образом, модель Гута (старая инфляция) не работает: переход случается либо слишком быстро, и тогда инфляционного расширения не хватает, либо слишком медленно, и тогда инфляция никогда не заканчивается.

Вскоре после публикации статьи Гута, однако, российский физик Андрей Линде и на три месяца позже американцы Андреас Альбрехт и Пол Стейнхардт придумали, как можно исправить ситуацию. Взглянем на рис. 16. В левом нижнем углу приведен график зависимости плотности энергии поля инфлатона от его величины. У Гута на нем вблизи нуля была небольшая “ямка”, соответствовавшая ложному вакууму. Его последователи, однако, предположили, что инфляция не застряла во “впадине” ложного вакуума, а начинается на возвышенном плато — длинном и почти плоском. Поле медленно “катится” вниз по плато (каждый шарик отражает изменение величин со временем), сохраняя почти постоянную энергию. Уравнения для эволюции поля такие же, как уравнения движения шарика, скатывающегося по склону в ямку; профиль склона - кривая потенциальной энергии. Потенциальная энергия поля инфлатона - возможная причина ускоренного расширения нашей Вселенной. В процессе такого расширения неоднородности распределения вещества Вселенной сглаживаются, она становится плоской. За время, равное 10^{-33} с, поле сохраняет постоянное значение, и Вселенная успевает “раздуться” в 10^{25} раз по всем направлениям. Стадия инфляционного расширения заканчивается, когда величина поля инфлатона переходит с горизонтального участка кривой к наклонному. При “скатывании” потенциальная энергия поля инфлатона уменьшается, и в нижней точке переходит в знакомые нам формы энергии: в обычную материю с большой кинетической энергией и в излучение, заполняющие современную нам Вселенную, которая переходит в

стадию расширения по инерции. Эта модель называется новой инфляцией. Модель Старобинского эквивалентна как раз такой модели.

Следующий важный шаг сделал Андрей Линде в 1983 году уже без других претендентов на приоритет. На самом деле все может быть еще проще: инфляция может произойти без всяких хитростей типа специального потенциала с плоским максимумом в нуле и без термодинамического равновесия с переохлаждением (движением из состояния ложного вакуума в старой схеме или “медленного скатывания” по кривой потенциала в новой). Выберем поле инфлатона с чашеобразным потенциалом (например, параболическим) и предположим, что вблизи планковского состояния образовался фрагмент пространства-времени, заполненный скалярным полем. “Вблизи” означает удаление от планковских условий, достаточное для того, чтобы данный фрагмент мог рассматриваться в рамках классической теории. Пусть поле будет достаточно однородным, а вклад горячей материи незначительным. Тогда давление в нем может оказаться отрицательным (удовлетворяющим условию инфляции). Начало процесса инфляции определяется наклоном кривой потенциала и величиной отрицательного давления. Если “чаша” потенциала достаточно широка, то вполне реален, как оказывается, запуск процесса инфляции и раздув Вселенной. Из-за того что для этого запуска подходят комбинации из разнообразного множества случайных начальных условий, Андрей Линде назвал этот сценарий хаотической инфляцией (термин “хаотический” относится лишь к старту процесса). В дальнейшем все происходит вполне детерминировано и с предсказуемым исходом. У этого сценария есть очевидное преимущество перед ранее обсуждавшимися схемами. Если у Гута и в сценарии “новой инфляции” цепочка событий выстраивалась в таком порядке:

горячая Вселенная – переохлаждение – инфляция – горячая Вселенная,

то в случае с хаотической инфляцией первые две стадии, каковые, безусловно, являются обузой, отпадают. Не надо больше объяснять, как установилось доинфляционное термодинамическое равновесие (далеко не очевидно, что это возможно), не нужен весьма специфический вид потенциала и т. п. Пожалуй, хаотическая инфляция и есть общепринятая ныне концепция зарождения Вселенной, точнее, ее часть.

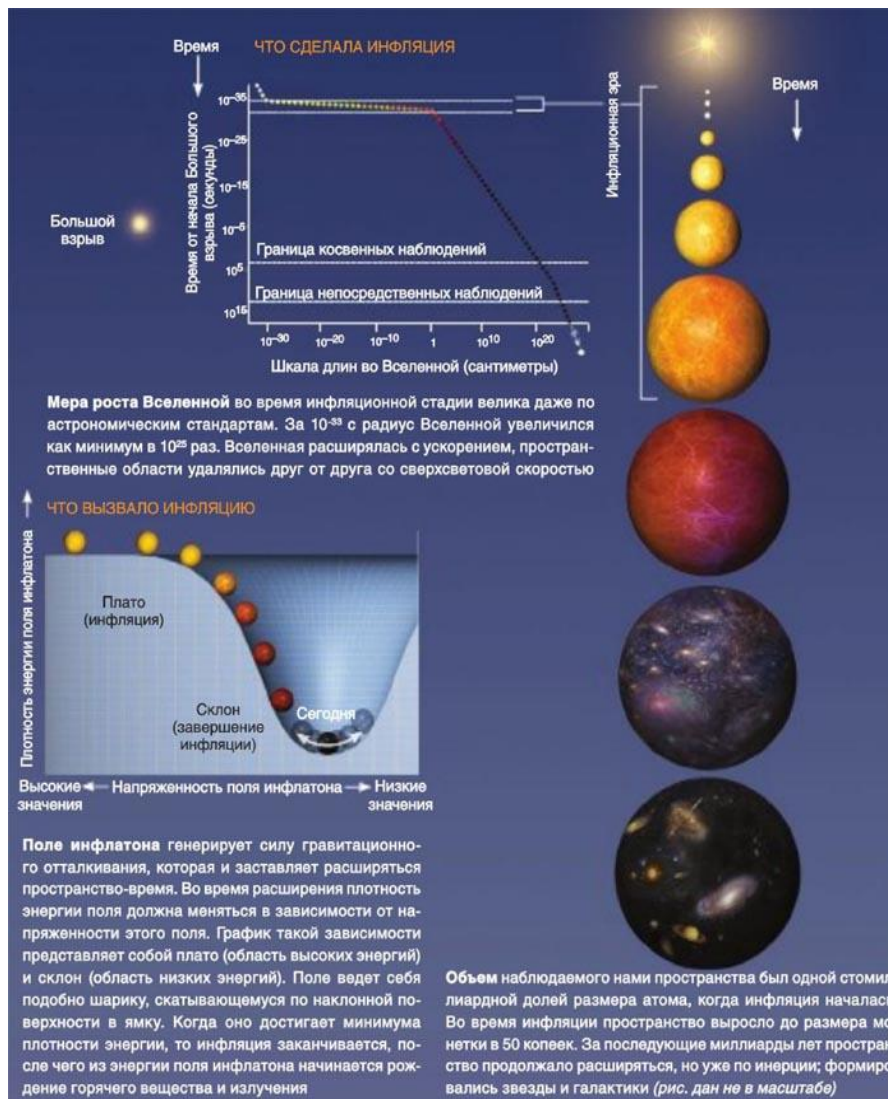


Рис. 16. Схема инфляции в режиме “медленного скатывания”
(Стейнхардт П. За и против космической инфляции // В мире науки. 2011. №6)

Таким образом, существует несколько типов инфляционных моделей, различающихся, в первую очередь, начальными условиями, при которых возникает инфляционная стадия. Они непрерывно совершенствуются, дополняются и усложняются. Идея космологической инфляции настолько глубоко укоренилась в сознании космологов, что уже принимается ими как доказанная. Между тем у нее есть противники. Так, Роджер Пенроуз еще в конце 80-х годов прошлого века указал, что мир вообще без инфляции более вероятен, чем мир с какой бы то ни было инфляцией. Ученый применил термодинамические принципы, используемые для описания конфигураций атомов и молекул газа, для подсчета всех возможных начальных конфигураций поля инфлатона и гравитационных полей. Согласно расчетам некоторые из таких начальных данных ведут к инфляционному расширению с образованием практически однородного распределения вещества в плоском пространстве-времени. Но есть и другие начальные условия, которые приводят к однородной и плоской Вселенной без инфляционного расширения. Оба множества таких начальных условий невелики, так что шансы получить плоскую однородную Вселенную малы в любом случае.

Однако и эти малые шансы не равнозначны. Рождение плоской Вселенной без инфляции гораздо, как следует из вычислений, более вероятно, чем получение плоской Вселенной путем инфляционного расширения.



Рис. 17. Норвежский король Харальд награждает Алана Гута, Андрея Линде и Алексея Старобинского (слева направо) премией Кавли по физике. Осло, сентябрь 2014 года

Это, что называется, взгляд со стороны, попытка осмыслить результаты инфляционной космологии другими методами. Но есть и внутренние слабости, присущие теории. Выбор потенциала для поля инфлатона является феноменологическим, а его параметр (наклон кривой) уточняется путем подгонки. Границы изменения этого параметра, для которых возможна инфляция, крайне узки. Гораздо более вероятны другие значения параметра, когда механизм “не срабатывает”. Почему тогда Природа выбрала менее вероятный путь развития? Для теории инфляции не важна начальная форма зародыша горячей Вселенной, но вид потенциальной кривой инфлантонного поля очень даже существенен. Допуская произвол в начальных условиях, она вводит крайне жесткие ограничения в выборе скалярного поля. Не есть ли это замена шила на мыло?

Наконец, нельзя не указать, что теория инфляции несет в себе и новый мировоззренческий момент. Свойственное ей взрывоподобное пространственное расширение не является единовременным событием. Наоборот, процесс, благодаря которому образовалась наша область Вселенной, – быстрое расширение пространства и следующее за ним обычное, более спокойное расширение, сопровождающееся рождением частиц, – может неоднократно повторяться в толще космоса. “Инфлантологи” даже ввели понятие – “вечная инфляция”. Если, следуя законам ее развития, представить теперь космос в целом, то он будет изобиловать бесчисленным множеством далеко разбросанных областей (вселенных!), каждая из которых несет в себе след произошедшего инфляционного расширения. Наш мир, который мы издавна привыкли считать единственным и неповторимым, является одним из множества таких областей, парящих в неизмеримо большем пространстве и никак не связанных между собой.

Для любого здравомыслящего человека, даже в изрядном подпитии, такая картина космоса выглядит слишком уж экзотической. Конечно, это в духе идей Джордано Бруно о бесчисленности миров (в данном случае вселенных), но ведь, как говорится, надо и меру знать. Кажется, более разумно посчитать, что такое предсказание теории – повод отказаться от нее. Как сказал Алан Гут: “В мире с вечной инфляцией все, что может случиться, случается, причем случается бесконечное число раз”. В общем, все дозволено. И тут хочется спросить, насколько фундаментальны постулаты инфляционной космологии, чтобы следовать их выводам?



Рис. 18. Пол Стейнхардт – американский физик-теоретик, профессор Принстонского университета

Не удивительно, что один из пионеров этой теории, Пол Стейнхардт, публично выступил с ее критикой. Вместе с Анной Ийас и Абрахамом Лёбом они опубликовали статью в февральском номере *Scientific American* (2017). Казалось бы, ничего особенного. Подумаешь, трое ученых, причем не самых именитых, высказались “против”. Но уже в следующем номере того же журнала состоялся коллективный ответ, организованный Аланом Гутом. Вместе с ним письмо подписали еще тридцать два (!) физика, среди которых были четыре нобелевских лауреата, Стивен Хокинг, Алексей Старобинский и Андрей Линде. Вышел скандал, хуже не придумаешь. Тяжелая “артиллерия”, тридцать три топ-физика, выступила против трех коллег, не обремененных их славой и почетом. Не слишком ли несимметричный ответ?..

В сорока километрах от Москвы есть город Троицк. Это один из научных центров Российской академии наук, город, где физики в особом почете. В местной газете “Троицкий вариант” в популярной форме рассказывается о важных научных проблемах, обсуждаются свежие новости науки и ее новейшие достижения. В связи со скандальной историей в мире космологов газета разразилась статьей, опубликованной на первой полосе (см. рис. 19). Она возмутительна! Газета опустила до совершенно недопустимых оскорблений в адрес трех ученых. Использование криминальной лексики для защиты своих научных авторитетов – последнее дело, полная потеря “лица”. Редакция газеты хотела поддержать статус новомодной теории, но названием статьи выставила себя в самом неприглядном свете. Кстати, и сопоставление находящихся в преклонном возрасте космологов с богатырями – не менее серьезный ляп.



Рис. 19. “Привет” группе Стейнхардта из Академгородка

Кто-то, может быть, скажет, что эта статья – случайность, мол, подумаешь, какая ерунда, ведь все равно все решается в научных спорах, на страницах физических журналов. Но реальность такова, что теория инфляции уже стала общепринятой физической теорией, ее (фактически) запрещено оспаривать в научных изданиях! Гута и компания более всего возмутило, что статья Стейнхардта с соавторами была помещена в научно-популярном издании, которое читают и физики-не-космологи. А на их уровне теория еще не принята.

Предлагаем рассмотреть таблицу 2. Из нее следует, что три героя нашего повествования являются обладателями очень престижных премий и медалей в мире физики. Все награды присуждены за работы по инфляции. Для обычного человека это выглядит несколько странно – зачем за одно и то же награждать по многу раз? Ведь как, к примеру, на войне: совершил подвиг – получай награду. А здесь как-то по-другому. А если к этим поощрениям прибавится еще и Нобелевская премия, опять-таки, за инфляцию?..

Космологическая инфляция – очень успешный проект геометризованной физики, поддерживаемый на самом высоком уровне как идейно, так и финансово. К примеру, премия Кавли – это еще и миллион долларов. Программа геометризации физики (создание теорий относительности) вошла в науку в начале прошлого века, и с ней связано множество ярчайших достижений. Но в вопросе рождения Вселенной она забуксовала. И это не удивительно! Эта программа “выбросила” из рассмотрения эфир. Скалярное поле, увы, не может должным образом заменить его. Космологическая инфляция – это наглядное проявление кризиса геометризованной физики, ее агонии. Масса ученых и журналистов поют осанну инфляции и называют ее “крупнейшим за последние 40 лет достижением теоретической физики”. Но Стейнхардт заявляет, что она “ничего не описывает”. И как тут не поверить ее создателю?!

Космологическая инфляция разрабатывалась с целью объяснить природу сингулярного состояния ранней Вселенной, но это ей не удалось. Попытка подобраться к тайнам вакуума на основе общей теории относительности – классической (неквантовой) теории – оказалась провальной. Следует признать это и искать новый, квантовый путь описания вакуума.

Премия/ученый	Алан Гут	Алексей Старобинский	Андрей Линде
Медаль Оскара Клейна	1991	2010	2001
Медаль Эддингтона	1996		
Премия Фридмана		1996	
Медаль Бенджамина Франклина	2001		
Медаль Дирака	2002	2019	2002
Премия Грубера	2004	2013	2004
Медаль Ньютона	2009		
Премия Томалла		2009	
Премия по фундаментальной физике	2012		2012
Медаль Амальди		2012	
Премия Кавли	2014	2014	2014
Медаль Сахарова		2016	
Премия Гамова			2018

Табл. 2. Премии и медали, полученные основоположниками теории инфляции

* * *

В теоретической космологии, как ни в какой другой области физики, чрезвычайно весом вклад ученых российского происхождения. Александр Фридман, Георгий Гамов, Алексей Старобинский, Андрей Линде – все они авторы первоклассных идей, предопределивших развитие космологии. Мы никоим образом не хотим принизить вклад физиков других стран, просто хотим отметить, что в данной области исследований физики с российскими корнями сыграли определяющую роль по части выдвижения новых теорий. В квантовой механике, квантовой теории поля или теории элементарных частиц такого нашего доминирования нет. Что это – случайность? Ведь вот и идея вечной инфляции была предложена Александром Виленкиным, родившимся в Харькове...

Нам представляется, что в данном случае космологические теории наших физиков являются, в том числе, отражением философско-религиозной традиции, живущей в глубинном сознании русского народа и получившей название русского космизма. Константин Эдуардович Циолковский, Владимир Иванович Вернадский, Александр Леонидович Чижевский представлялись своим современникам чудаками-мечтателями, но их представления о связи человека с космосом нашли свое подтверждение. Фридмана и Гамова тоже поначалу считали фантастами. Сейчас проходит апробацию теория инфляции. И почему-то кажется, что новые прозрения о происхождении Вселенной опять-таки произрастут на русской почве...

ГЛАВА 2

История эфира

2.1. Пятая сущность

Среди великих вещей, которые находятся

вне нас, существование “ничто” – величайшее.

Леонардо да Винчи

Для физиков пустота – понятие священное, не побоимся сказать, табуированное. Ее существование доказывали многие поколения ученых и философов, начиная с Демокрита (V век до н.э.) – создателя атомистической концепции. Его атомы (от греческого “атомос” - “неделимый”) - это плотные изначальные и вечные тела с индивидуальной “физиономией”. Они различны по своему внешнему виду и форме и движутся непрерывно и хаотично в пустоте, которая является обязательным элементом теории (иначе атомам некуда было бы двигаться). Вот только (внимание!) пустоту Демокрит называл такой же материальной, как и атомы. Да-да, за этим нечто, которое в его текстах обозначается как “небытие”, философ признавал материальность, и его атомы могли взаимодействовать с пустотой. Правда, развить такого рода представления в математическом плане было весьма затруднительно, и последователи Демокрита предпочли видеть в пустоте лишь не заполненное ничем пространство.

В наше время Демокрита объявили своим предтечей создатели атомной физики и квантовой механики. Американский физик-теоретик Ричард Фейнман (1918–1988) в знаменитых лекциях писал: “Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это - атомная гипотеза (можете называть ее не гипотезой, а фактом, но это ничего не меняет): все тела состоят из атомов - маленьких телец, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому. В одной этой фразе, как вы убедитесь, содержится невероятное количество информации о мире, стоит лишь приложить к ней немного воображения и чуть соображения”.

Фейнман не упоминает здесь про пустоту, важнейший элемент концепции, и с этим стоит разобраться. С античных времен антагонистом пустоты выступал эфир – первичная мировая среда, заполняющая космическое пространство и пронизывающая все тела. Понятие эфира пришло из мифологии. В научный оборот его ввел Аристотель (IV век до н.э.), назвав наряду с землей, водой, огнем и воздухом одним из элементов природы (пятым началом, или пятой сущностью). Аристотель отвергал существование пустоты, а эфир соотносил с праматерией, сущностью всех вещей и основой для всех остальных элементов природы. При этом, в полном соответствии с мифологическими установками, он называл эфир бессмертным и божественным, а имя его расшифровывал как составное и означающее “всегда бегущий”. Ученые античности и Средневековья по преимуществу принимали эту концепцию, но пытались скорее опоэтизировать и оживить эфир, нежели указать какие-то конкретные его физические свойства. Так, римский поэт Лукреций Кар (I в. до н.э.) указывал на присутствие в эфире тонкой душевной материи, а Джордано Бруно соотносил эфир в живых существах с жизненным духом.

Принципиально новое содержание в проблему пятого начала привнес Рене Декарт, предложив механическую концепцию эфира, просуществовавшую в общих чертах вплоть до начала XX века. Невидимый эфир Декарта заполнял все свободное от материи пространство, однако не оказывал сопротивления при движению в нем вещественных тел. Частицы эфира у него находятся в постоянном движении. Поскольку пустоты не существует, они постоянно занимают места, освобожденные для них другими частицами, так что коллективное движение множества эфирных частиц образует вихри, непосредственно воздействующие на материальные тела. Материя, утверждал Декарт, состоит из трех видов частиц – элементов огня, воздуха и земли. Частицы огня самые маленькие и обладают самой большой скоростью. Они делятся при столкновении с

другими телами и заполняют все промежутки между ними. Из частиц огня состоят звезды и Солнце. Частицы воздуха более крупные. Благодаря осевому вращению они могут сохранять форму даже в состоянии покоя. Из этих частиц состоит космос, не занятый звездами и планетами, и они образуют, собственно, светоносный (переносящий свет) эфир. Элементы земли – самые крупные частицы первоматерии, движения в которых либо очень мало, либо вообще отсутствует. Из этих частиц состоят планеты. Изложенную систему мира Декарт применил для объяснения тяжести (которую считал присущей только земным предметам), а также электрических и магнитных явлений. Он построил также оригинальную теорию цвета, по которой разные цвета получаются из-за разных скоростей вращения частиц жидкости.

Теория Декарта завораживает своей продуманностью и интеллектуальной красотой. Многие поколения исследователей, взяв на вооружение подход Декарта, впоследствии искали пути описания эфира в рамках континуальных моделей, механические аналоги электрических и магнитных полей и выдвигали гипотезы о вихревой структуре элементарных частиц. Трактаты Декарта – “Мир, или Трактат о свете” (1634) и “Первоначала философии” (1644) – обозначили новое направление исследований, противоположное демокритовской “программе”. Сама по себе декартова модель эфира довольно быстро перестала интересовать ученых, но поиски ее модификаций при этом не прекратились. Правда, роль и значение эфира в новейших физических теориях стали постепенно снижаться.

Так, механика Исаака Ньютона (1643–1727) предполагала, что все тела погружены в абсолютную пустоту, которая всюду одинакова и в которой отсутствуют различия. Это предположение прекрасно оправдывало себя при сопоставлении теории с экспериментом. Пустота “работала” на механику! Закон всемирного тяготения давал математическое описание движения планет, и это было бесспорным триумфом науки. Но сам механизм гравитации оставался абсолютно непонятным. Христиан Гюйгенс (1629–1695) считал идею тяготения абсурдной, поскольку оно передавалось через пустое пространство и исключало хоть какое-то физическое объяснение. Вильгельм Готфрид Лейбниц (1646–1716) считал знаменитую формулу для силы тяготения не более чем вычислительным правилом, не заслуживающим названия закона природы. Понятное дело, что они ждали упоминаний (в духе Декарта) об эфирной среде, способствующей передаче взаимодействия. Но Ньютон ничего подобного не написал. И это при всем при том, что сам великий ученый верил в существование некоего “агента” взаимодействия. В письме от 25 февраля 1692 года он писал английскому богослову и филологу Ричарду Бентли:

“Неразумно считать, что неживая, грубая материя будет действовать (без посредства чего-либо еще, что не материально) и влиять на другую материю без взаимного контакта <...> То, что гравитация должна быть внутренним и существенным качеством материи, так что одно тело может действовать на другое на расстоянии, через пустоту, без посредства чего-то еще, через что и посредством чего действие или сила может быть передана от одного тела к другому, - является для меня столь великим абсурдом, что я думаю, ни один человек, хоть немного компетентный в философских вопросах, никогда такую точку зрения не примет. Гравитация должна быть вызвана агентом, действующим постоянно согласно определенным законам, но является ли этот агент материальным или нематериальным – это вопрос, который я должен оставить на рассмотрение моих читателей”.

В первом издании “Математических начал натуральной философии” (1687 г.) Ньютон, в соответствии с приписываемым ему правилом, гипотез не выдвигал. Не имея сколько-нибудь содержательного объяснения механизма гравитации, он вообще отказался от упоминаний об эфире. Но во втором издании (1713 г.) он уже отреагировал на критику оппонентов и добавил в концовке следующий абзац:

“Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем во все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями

частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувство, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но этого не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими действия этого эфира были бы точно определены и показаны”.

Конечно, в содержательном плане это примечание ничего не меняло, но Ньютон предельно честно изложил состояние проблемы на тот момент: да, эфир существует, но как он устроен – неясно. Примечательно, что в данном фрагменте сэра Исаак не касается гравитационных свойств эфира и предпочитает обсуждать его электромагнитные проявления. Это не случайно. В 1690 году швейцарский математик Никола Фатио предложил кинетическую теорию гравитации, которая давала механическое объяснение ньютоновской силы тяготения. Фатио предположил, что мировое пространство заполнено крошечными частицами, двигающимися на высокой скорости во всех направлениях Вселенной. Обыкновенное вещество пронизано для потоков таких корпускул, которые своим давлением и заставляют тела притягиваться. Ньютон был знаком с теорией Фатио (в 1690–1693 годах ученые много общались), но его высказывания о ней сильно различаются. В 1692 году он, к примеру, записал: “Уникальная гипотеза, которая может объяснить гравитацию, была разработана самым гениальным геометром мистером Н. Фатио”. С другой стороны, сам Фатио заявлял, что, хотя Ньютон лично прокомментировал, что теория Фатио является самым лучшим возможным механическим объяснением гравитации, он также признавал, что Ньютон склонялся к идее, что настоящее объяснение гравитации не является механическим. Думается, это и есть та причина, по которой Ньютон не стал комментировать кинетическую теорию гравитации в своих “Началах”. Похоже, он ясно осознавал ее недостатки, а это в первую очередь природа незатухающего движения частиц, и предпочел вообще не упоминать об этой модели эфира. Вместе с тем в 1756 году эту теорию переоткрыл и развил Жорж-Луи Лесаж. Эта теория была крайне популярна еще в XIX веке, пока не подверглась уничтожающей критике, в особенности Максвеллом (1831–1879), и сегодня рассматривается как представляющая лишь исторический интерес. В этом смысле стоит лишний раз восхититься прозорливостью Ньютона, который просто уклонился от обсуждения неправильной теории.

Заметим, что приведенный ньютоновский фрагмент из второго издания его “Начал”, в сущности, схож с вышеприведенной цитатой из фейнмановских лекций. Оба текста в целом отражают современные представления об устройстве веществ. Но великий американец не упоминает ни про пустоту, ни про эфирную среду. Гюйгенс и Лейбниц, доживи они до XX века, несомненно, негодовали бы по этому поводу. Фейнман, как и Ньютон в первом издании своих “Начал”, ограничился констатацией математически понятных свойств природы и отнюдь не захотел обозначить меру своего незнания о ней. Именно так поступали и последователи Ньютона при изложении теории гравитации.

Более того, приняв формализованную Ньютоном механику, они “выкинули” эфир за борт современности. Колебания Учителя и гениальные оговорки были вынесены за скобки и забыты. Линию развития передовой (академической) науки четко обозначил английский математик Роджер Котс (1682–1716) в предисловии ко второму изданию “Начал”, где он осудил введение субстанций, свободно проникающих в поры тел, поскольку они ведут к химерам и пренебрежению к правильному устройству тел. Согласно Котсу есть три лагеря:

- ньютонианцы, которые признают существование пустоты и действие на расстоянии;
- аристотелевцы и схоласты, с которыми вести научные споры вообще не стоит;

- картезианцы (последователи Декарта), которые заполняют пустоту вихрями и тонкой материей во вред истинной научной философии.

Все истинные ученые пребывают в первом лагере, и их задача – не плодить эфирные сущности. Закон всемирного тяготения “работал” исправно. Разговоры об эфире и его роли в объяснении гравитации (через близкодействие) только отвлекали внимание, поскольку относительно конкретной “начинки” этого переносчика взаимодействия не было ясных предположений. Ньютонианцы исключали обсуждение эфира из научных обсуждений. К тому же еще один великий англичанин Дальтон (1766–1844) в начале XIX века на основе теории атомов впервые рассчитал атомные массы ряда элементов и составил таблицу их относительных атомных масс. Это стало триумфом атомистической концепции, утверждающей, как мы помним, существование пустоты. Но о полной победе над картезианцами не могло быть и речи.

Здесь следует сказать об одной важной перемене во взглядах на эфир, зафиксированной, в частности, тем же Ньютоном. Перечитаем вышеприведенный отрывок из второго издания его “Начал”. О гравитационных свойствах эфира там даже не упоминается. Ньютон приписывает этой тончайшей среде участие в электризации, притяжении частиц тел и распространении света. Ньютон, не отрицая участия промежуточной среды в передаче гравитации (письмо к Бентли), отделяет это его свойство и не упоминает про него, характеризуя эфир в “Началах”. Налицо разделение эфира на две “половинки”. Ньютон не говорит об этом явно, но тенденция к качественному усложнению структуры эфира уже очевидна. Одним из последних исследователей, пытавшихся соединить в одной модели разные свойства тончайшей среды, был Леонард Эйлер (1707–1783). Исключительная сложность такой задачи была очевидна и в те времена, поэтому возобладала упрощенная точка зрения. Гравитационные свойства эфира “выносились за скобки” и не обсуждались. Точно так же и понятие “гравитационный эфир” со временем сошло с подмостков науки. А вот электромагнитные свойства тончайшей среды выдвинулись на первый план. После работ Гюйгенса за этим типом эфира в научных трудах утвердился эпитет “светоносный”, или “световой”. Впоследствии, уже в XIX веке, под словом “эфир” физики разумели уже только его.

В вопросе о природе света картезианцы дали последователям Ньютона самый настоящий бой. Если ньютонианцы представляли свет в виде потока мельчайших корпускул (частиц), то приверженцы эфира исповедовали волновую теорию света, предложенную Гюйгенсом. Их трудами к концу XIX века эфир был снова вознесен на научный Олимп...

2.2. В ореоле света и величия

А есть ли вообще *sui generis* (единственная в своем роде. – А.А.) электрическая жидкость, отличная от эфира?

Дж. Пристли – британский естествоиспытатель,
первооткрыватель кислорода

Ни в школе, ни в университете нам не рассказывали, что основоположники оптики и электродинамики верили в существование эфира, строили его модели и пытались объяснить на их основе результаты экспериментов. Преподаватели даже не заикались на этот счет. Это свидетельство напряженных идейных баталий, которыми жил мир физиков последние сто с лишним лет. Но исключать роль представлений об эфире в развитии

теории распространения света (в узком смысле) и теории поля (в широком) заведомо неправильно.

На первых порах (XVII–XVIII века) физики представляли эфир в виде очень легких, практически невесомых жидкостей, пропитывающих весомые тела. До середины XVIII века все модели эфиров носили философско-описательный характер и никакой математикой не дополнялись. Но в 1755 году Эйлером было предложено уравнение движения идеальной жидкости. Оно стало применяться к изучению разного рода течений жидкостей и газов, и выявленные при этом закономерности проецировались на эфир. В частности, британец Томас Юнг (1773–1829) в рассуждениях о свете исходил из аналогии распространения света со звуком.

Волны бывают поперечными и продольными. В поперечных волнах колебания происходят в плоскости, перпендикулярной направлению распространения, а в продольных – в направлении распространения. Продольные волны связаны с объемной деформацией упругой среды, и поэтому могут распространяться как в твердых телах, так и в жидкостях и газах. Примером таких волн являются звуковые колебания. Поперечные волны могут возникнуть лишь в среде, сопротивляющейся изменению формы (деформации сдвига), т. е. в твердых телах. Флюидные теории, таким образом, предопределяли продольный тип световой волны. На самом деле электромагнитная волна является поперечной. Это, однако, не помешало Юнгу открыть принцип интерференции света (сам термин принадлежит ему) и успешно применять его для исследования свойств света. В 1817 году, размышляя над явлением поляризации света, он пришел к выводу о поперечности световых колебаний, хотя сам тут же признал трудность такой гипотезы, ведь для этого эфир должен быть “абсолютно твердым”. В 1672 году идею поперечности световых волн впервые высказал Роберт Гук, ее разделял Ньютон, но она не получила широкого распространения, так что физикам следующих поколений пришлось ее переоткрывать. Практически сразу же вслед за Юнгом о поперечности света объявил и Огюст Френель во Франции (1788–1827), также придерживавшийся волновой теории света и концепции эфира.

Признание факта, что колебания в световой волне происходят перпендикулярно направлению распространения, требовало отказа от жидкостных моделей эфира. Между тем еще в 1736 году Иоганн Бернулли–младший (1710–1790) на чисто описательном уровне сформулировал модель, которая, как сегодня ясно, решает проблему механической интерпретации светоносного эфира. “Все пространство, по теории Бернулли–младшего, пронизано жидким эфиром, который содержит огромное количество чрезвычайно маленьких вихрей. Упругость, которой, видимо, обладает эфир и благодаря которой могут распространяться колебания, на самом деле является следствием существования этих вихрей; поскольку под действием центробежной силы каждый вихрь постоянно стремится к расширению, он давит на соседние вихри. Мы увидим, что по духу Бернулли был истым картезианцем: он не только отрицал действие на расстоянии, но настаивал на том, что даже упругость эфира можно объяснить с помощью материи и движения. Эта совокупность маленьких вихрей, или “мелкозернистое турбулентное движение”, как ее назвали полтора века спустя, содержит твердые корпускулы, размеры которых малы по сравнению с расстояниями между ними. Вихри толкают эти корпускулы при любом возмущении эфира, однако они никогда не удаляются от своего первоначального положения. Источник света сообщает своему окружению возмущение, сгущающее ближайшие вихри, которые под воздействием этого воздействия выводят граничащие с ними корпускулы из состояния равновесия; под воздействием этих корпускул сгущаются следующие за ними вихри, так что колебания распространяются во всех направлениях от светящейся точки. Любопытно, что Бернулли говорит об этих колебаниях как о продольных и фактически сравнивает их с колебаниями натянутого шнура, который “если его слегка оттянуть, а потом отпустить, совершает поперечные колебания в направлении, перпендикулярном направлению шнура”. Если вспомнить, что Ньютон уже ясно

сформулировал несогласие с продольными колебаниями из-за явления поляризации и что эфир Бернулли очень похож на эфир, который в 1861–1862 годах выдумал Максвелл, чтобы подтвердить поперечные колебания, то чувствуешь, что, возможно, еще ни один человек не был столь близок к великому открытию и не сделал его” (Э. Уиттекер. История теории эфира и электричества).

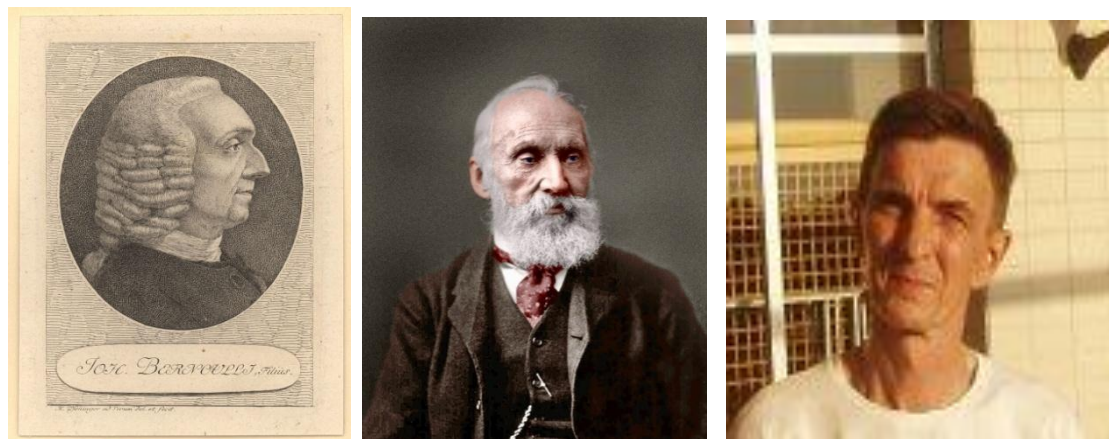


Рис. 20. Иоганн Бернулли младший, Уильям Томсон (лорд Кельвин) и О.В. Трошкин

Иоганн Бернулли–младший высказал гениальную догадку: турбулизованная жидкость приобретает дополнительную упругость, и в ней могут распространяться поперечные волны. Корпускулы в турбулентной среде выступают индикаторами волнового движения. Вследствие того что вихри воздействуют на них со всех сторон, колебания корпускул могут происходить строго в поперечном направлении. Идея Бернулли наполняла жидкостные модели эфира новым содержанием, но она была преждевременной, поскольку пора изучения турбулентных движений жидкости еще не наступила. Начало ей положил своими знаменитыми опытами О. Рейнольдс лишь в 1883 году. Через четыре года Уильям Томсон (1804–1927) обосновал гипотезу Бернулли математически. На удивление, этот его результат не был отмечен физиками как выдающийся и не получил дальнейшего развития. Уже в наше время на возможность турбулентности переносить поперечные колебания указал Олег Валентинович Трошкин – профессор Института автоматизации проектирования РАН (статья “О распространении малых возмущений в идеальной турбулентной среде”). Значение турбулентной модели так и не осознано научным сообществом в полной мере. В дальнейшем, когда будет обсуждаться природа электромагнитного поля (раздел 7.1), мы подробно разберем ее содержание.

Во второй четверти XIX века после работ Юнга и Френеля, объяснивших интерференцию, дифракцию и поляризацию света, волновая теория восторжествовала над своей соперницей (финальным аккордом стал опыт Физо, измерившего скорость света в воде и нашедшего, что она, в противоположность корпускулярной теории, меньше, чем в воздухе). При этом пришлось отказаться от изначального предположения Гюйгенса, что волны света суть продольные волны разрежения и сжатия, аналогичные волнам в газообразных телах. Явления поляризации света могли быть объяснены лишь допущением, что световые волны – поперечные, как те поперечные упругие волны, какие могут распространяться лишь в телах, сопротивляющихся изменению своей формы, т. е. в упругих твердых телах. Так возникла теория “твердого” эфира как чрезвычайно разреженной и вместе с тем необыкновенно упругой твердой среды. Она заполняет все пространство Вселенной и пронизывает все промежутки между атомами тел, но при этом оказывает лишь самое ничтожное (и не поддающееся измерению) сопротивление движению. Возникшая на этих основаниях “механическая теория света” стала одним из

наиболее глубокомысленных созданий человеческого гения, но и она оказалась бессильной справиться с вставшими перед ней трудностями.

Обычные упругие твердые тела сопротивляются не только изменению своей формы, но также и изменению объема. Поэтому через них могут распространяться не только поперечные волны, но и продольные волны сжатия и разрежения, как в жидкостях и газах. Но это означает, что уравнения классической теории упругости, которыми описывается твердое тело, будут все время порождать “лишние” решения в виде продольных колебаний. В невозможности правильно описать в рамках уравнений упругого твердого тела распространение света в кристалле убедился Огюстен Луи Коши (1789–1857). “За 10 лет великий французский математик создал две различные теории оптики кристаллов и три различные теории отражения, причем почти все они дают правильные или почти правильные конечные формулы, но при этом абсолютно не согласуются друг с другом, содержат ошибочные граничные условия и невероятные отношения между упругими постоянными” (Э. Уиттекер. Указ. соч.).



Рис. 21. Джеймс МакКулаг (1809-1847)

Эфир задал механикам задачку: и не жидкость, и не твердое тело, и не “неведома зверушка”! При этом у экспериментаторов была масса результатов по прохождению, отражению и преломлению света в разных материалах. Было бы странно, если бы физики не угадали правильный вид уравнения распространения света. Это сделал ирландский физик МакКулаг. В 1839 году он предложил новую теорию, в которой постулировалось существование среды, по своим свойствам отличной от всех известных материалов. Она была жестко закреплена в пространстве, не оказывала сопротивления сжатию и сдвигу, но противодействовала вращению. Объяснить, что это за среда и каковы внутренние механизмы ее действия, МакКулаг, однако, был не в состоянии. Вот его откровения относительно собственной теории: “Если нас спросят, какими причинами можно обосновать гипотезы, на которых основана предшествующая теория, мы не сумеем дать удовлетворительный ответ. Мы вынуждены признать, что за исключением закона кинетической энергии, гипотезы – это всего лишь удачные догадки. Весьма вероятно, что эти догадки правильны, так как они привели к изящным законам, которые полностью подтверждаются на практике; но это все, что мы можем утверждать о них. Мы не можем вывести их из первых принципов, потому что в теории света такие принципы еще нужно найти. Несомненно, что свет производится волнами, которые распространяются, с поперечными колебаниями, через вязкоупругий эфир, но строение этого эфира и законы

его связи (если таковая существует) с частицами тел неизвестны” (цитируется по книге: Э. Уиттекер. Указ. соч.).

Парадоксальный факт, но ирландский ученый, даже зная, как описывать эту таинственную светоносную среду, испытывает робость и очень осторожно комментирует свои достижения. Обрисуем ситуацию, которая должна была складываться у любого исследователя эфира. Известно, что в световом эфире не наблюдаются явления, соответствующие распространению продольных волн. Когда такое возможно? Или эфир не обладает никакой упругостью по отношению к изменениям объема, т. е. при его сжатии или разрежении в нем вовсе не возникают силы, сопротивляющиеся такому сжатию или разрежению; или в эфире никакие сжатия или разрежения вообще невозможны. Первое предположение соответствует беспредельно сжимаемому эфиру, второе – абсолютно несжимаемому.

Модель беспредельно сжимаемого эфира рассматривал лорд Кельвин. Но эфир, не оказывающий никакого сопротивления сжатию, должен быть механически неустойчив. Такая неустойчивость могла бы быть устранена, если предположить, что эфир неподвижно укреплен на каких-то границах. Это может быть, к примеру, пена, заключенная в сосуде, к стенкам которого она прилипает и который не содержит воздуха. Однако трудно предположить, чтобы в природе могло быть нечто вроде гигантского ящика, заключающего всю звездную Вселенную, к стенкам которого неподвижно прикреплен эфир. Поэтому и эфир Кельвина, соответствующий предельному случаю бесконечно малой скорости продольных волн, тоже не может считаться удовлетворительным средством механического объяснения световых явлений.

Теорией абсолютно несжимаемого эфира занимался английский математик Джордж Грин. Грин взялся объяснить отсутствие продольных волн в оптике. Получить наглядное представление об эфире Грина возможно, сравнив его с каким-либо твердым телом, у которого сопротивление изменению объема чрезвычайно велико по сравнению с сопротивлением изменению формы. Таков, например, каучук или в особенности желатин. Грин “исходит из того, что уравнение движения в эфире содержит две постоянные, A и B , причем скорость продольной волны пропорциональна \sqrt{A} , а поперечной – \sqrt{B} . Перед Грином было две возможности исключения продольной волны: предположить отношение скоростей (т. е. \sqrt{A}/\sqrt{B}) равным нулю (беспредельно сжимаемый эфир. – $A. A.$) или бесконечности. При этом из условия стабильности среды приходится выбрать второй вариант. Такое заключение не отрицает самого существования продольных волн; оно означает только, что отношение сопротивления сжатия к сопротивлению изгиба весьма велико. Это заключение придавало известную правдоподобность гипотезе эфира. Физики со времен Ньютона стремились как-то представить себе эфир наглядно, как-то его “смоделировать” в виде некоей, пусть искусственной, но имеющей черты реальности конструкции. Концепция Грина позволила достичь определенного правдоподобия и наглядности в теории эфира: получалось, что, считая сопротивление эфира кручению исключительно малым, можно принять для сопротивления сжатию достаточно небольшую величину (как у разреженного газа), чтобы получить очень большие значения. Это объясняло то обстоятельство, что эфир не препятствует заметным образом, например, движению планет. Тем не менее некоторые ученые так и не смогли представить себе среду, достаточно жесткую для поперечных колебаний и одновременно не создающую сопротивления медленному движению планет” (Ю.А. Любимов. Джордж Грин: жизненный путь и творчество // Успехи физических наук. 1994. Т. 164, № 1).

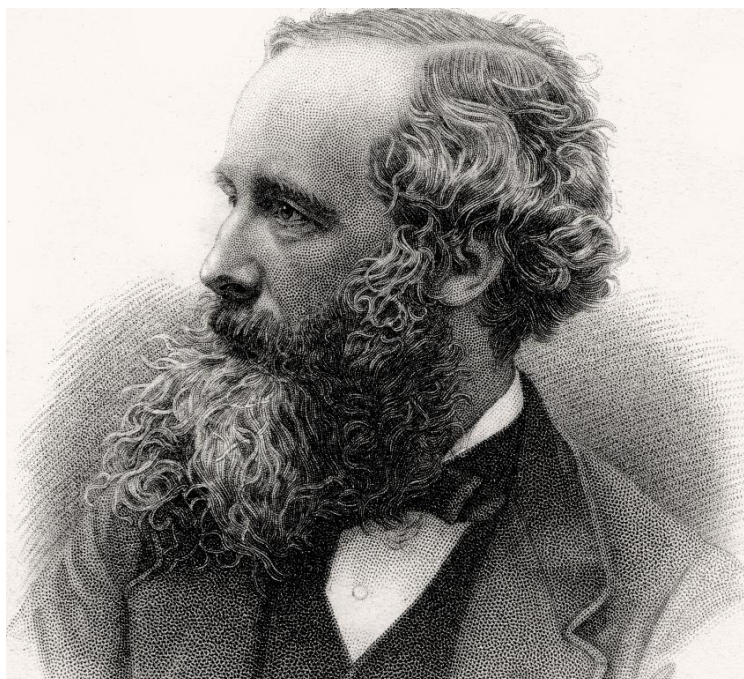


Рис. 22. Джеймс Клерк Максвелл

Теории твердого эфира определенно давали сбой, и физикам приходилось придумывать все более замысловатые его модели. Победителем в этом “соревновании” стал шотландец Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879). Интересен его путь к успеху. Максвелл не стал изучать многочисленные теоретические модели, претендовавшие на описание световых волн, а обратился к изучению экспериментальных результатов Майкла Фарадея (1791–1867). На него очень сильное впечатление произвела концепция силовых линий магнитного поля, которую ввел в науку великий англичанин в 1845 году. Вектор магнитной индукции, согласно опытам Фарадея, имел свойства, аналогичные вектору скорости в несжимаемой жидкости. Поток его через любую замкнутую поверхность равнялся нулю. Это условие стало одним из уравнений будущей теории. В качестве оригинальной проблемы, однако, оставалось установление связи электрического и магнитного полей.

С этой целью Максвелл ввел оригинальную модель эфира. Круговые вихри в ней моделировали действие магнитного поля. Для двух соседних вихрей, вращающихся в одном и том же направлении, частицы на их смежных границах движутся в разных направлениях. Следовательно, движение в схеме, состоящей только из вихрей, будет включать разрыв скорости. Чтобы обойти эту трудность, Максвелл поместил между вихрями системы частиц, играющих роль “паразитного” колеса. Частицы находятся в зацеплении с соседними вихрями и катятся по их границам без проскальзывания, так что каждый вихрь стремится заставить соседние вихри в том же направлении, в каком вращается сам. Частицы не связаны между собой, так что скорость центра любой частицы равна среднему значению азимутальных скоростей вихрей, между которыми она находится. Движение частиц составляет электрический ток, инициируемый магнитным полем, которое имеет вихревую природу. Связь между током и магнитной силой носит чисто кинематический характер, но формула, предложенная Максвеллом, оказалась абсолютно верной и выдержала проверку при сопоставлении с экспериментальными данными.

Джеймс Клерк Максвелл привнес во взгляды Фарадея математическое содержание. На основе его теории выросла “электромагнитная теория света”, трактовавшая свет как переменное электромагнитное поле. Важнейшие свойства световых явлений могли быть выведены теперь из уравнений электромагнетизма (“уравнений Максвелла”), и с тех пор

различные задачи объяснения оптических и электромагнитных явлений стали одной и той же задачей. В знаменитом “Трактате об электричестве и магнетизме” (1873 г.) Максвелл показал, что, в известных пределах, можно обойтись и без детальной модели эфира, сделав лишь несколько общих предположений о механической природе электромагнитных явлений. Важнейшими положениями являются, однако, следующие: электрическая энергия – суть потенциальная энергия упругих деформаций эфира, а магнитная энергия – это кинетическая энергия вихрей в эфире. Такая картина в полной мере соответствует предположениям Фарадея, считавшего электрическое поле системой натяжений в эфире, а магнитное поле – системой вихревых движений.

Сам эфир, по мысли Максвелла, может рассматриваться как “механизм” со скрытыми частями. Это значит, что не все определяющие его параметры могут наблюдаться или быть измерены. Некоторые из этих величин, называемых условно “координатами” механизма, доступны измерению, другие измерению недоступны. Максвелл полагал, что с помощью обычной механики можно изучать законы изменения во времени доступных измерению величин (т. е. законы движения явных частей механизма), не зная ничего о скрытых его частях. И еще он, безусловно, верил в существование эфира: “С какими бы трудностями в наших попытках выработать состоятельное представление о строении эфира ни приходилось нам сталкиваться, несомненно, что межпланетное и межзвездное пространство не суть пространства пустые, но занятые материальной субстанцией или телом, самым обширным и, надо думать, самым однородным, какое только нам известно”. Обратим внимание, что здесь он не говорит, что эта “материальная субстанция” имеет только электромагнитную природу. Ученый доказал, что светоносный эфир следует отождествлять с электромагнитным полем. Это утверждение можно назвать законом Максвелла и выразить формулой:

Светоносный эфир = Электромагнитное поле.

Но светоносный эфир – это лишь одна из форм существования эфира. Говоря о среде, заполняющей межпланетное и межзвездное пространство, Максвелл прекрасно осознавал, что ей присущи не только электромагнитные свойства, но и другие, в частности, гравитационные. Разумно предположить, и это будет обосновано чуть позже, что эфир существует в двух разных формах: гравитационной и электромагнитной. У них общая природа, они состоят из одинаковых структурных элементов (микрочастиц). Но фазовые состояния ансамбля этих частиц различны. В этом смысле для эфира идеально подходит его античное название – пятая сущность. Только содержательная суть этого понятия теперь другая. Эфир можно рассматривать как пятое состояние вещества наряду с газом, жидкостью, твердым телом и плазмой. При этом гравитационный и светоносный эфиры являются двумя различными его фазовыми состояниями. Такой подход вполне соответствует представлениям Максвелла об эфире. Гравитационный эфир, добавим, – это и есть тот первичный вакуум, который существовал до Большого Взрыва, а светоносный эфир (переносчик электромагнитного взаимодействия) возник как одно из порождений первичного вакуума в ходе рождения вещества Вселенной.

В своей Периодической таблице Дмитрий Иванович Менделеев (1834–1907) ввел легчайший гипотетический химический элемент, из которого, по предположению химика, состоял эфир. Менделеев назвал его ньютонием (на рис. 23 он обозначен символом χ). Сегодня понятно, что идея Дмитрия Ивановича была неверной, современная таблица, названная его именем, начинается с водорода. Но в контексте наших поисков устройства пятой сущности стоит признать, что Менделеев мыслил в правильном направлении. Рождению химических элементов, которыми наполнен наш мир, предшествовало нечто, свойства которого еще следовало угадать. Эфир преподавал его исследователям еще один урок.

ПОПЫТКА ХИМИЧЕСКОГО ПОНИМАНИЯ МИРОВОГО ЭФИРА.

Д. Менделѣевъ.

Представляя эфиръ газомъ, обладающимъ указанными признаками и относящимся къ нулевой группѣ, я стремлюсь прежде всего извлечь изъ періодическаго закона то, что онъ можетъ дать, реально объяснить вещественность и всеобщее распространение эфирнаго вещества повсюду въ природѣ и его способность проникать всѣ вещества не только газо- или парообразныя, но и твердыя и жидкія, такъ какъ атомы наиболее легкихъ элементовъ, изъ которыхъ состоятъ наши обычныя вещества, все же въ миллионы разъ тяжелѣе эфирныхъ и, какъ надо думать, не измѣняютъ сильно своихъ отношеній отъ присутствія столь легкихъ атомовъ, каковы атомы *x* или эфирные.

Понятно само собою, что вопросовъ является затѣмъ и у меня самого цѣлое множество, что на большую часть изъ нихъ мнѣ кажется невозможнымъ отвѣчать, и что въ изложеніи своей попытки я не думалъ ни поднимать ихъ, ни пытаться отвѣчать на тѣ изъ нихъ, которые мнѣ кажутся разрѣшимыми. Писалъ не для этого свою „попытку“, а только для того, чтобы высказаться въ такомъ вопросѣ, о которомъ многіе, знаю, думаютъ, и о которомъ надо же начать говорить.

Периодическая система элементовъ по группамъ и рядамъ.

Ряды.	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ:											
	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
0	<i>x</i>	—	—	—	—	—	—	—	—			
1	<i>y</i>	Водородъ. H 1,008	—	—	—	—	—	—	—			
2	Галій. He 4,0	Литій. Li 7,03	Бериллій. Be 9,1	Боръ. B 11,0	Углеродъ. C 12,0	Азотъ. N 14,01	Кислородъ. O 16,00	Фторъ. F 19,0	—			
3	Неоимъ. Ne 19,9	Натрій. Na 23,06	Магній. Mg 24,36	Алюминій. Al 27,1	Кремній. Si 28,2	Фосфоръ. P 31,0	Сѣра. S 32,06	Хлоръ. Cl 35,45	—			
4	Аргонъ. Ar 38	Кальцій. K 39,15	Кальцій. Ca 40,1	Скандій. Sc 44,1	Титанъ. Ti 48,1	Ванадій. V 51,2	Хромъ. Cr 52,1	Марганецъ. Mn 55,0	Железо. Fe 55,9	Кобальтъ. Co 59	Никель. Ni 59	(Cu)
5	—	Мѣдь. Cu 63,6	Цинкъ. Zn 65,4	Галлій. Ga 70,0	Германий. Ge 72,5	Мышьякъ. As 75	Селенъ. Se 79,2	Бромъ. Br 79,95	—	—	—	—
6	Криptonъ. Kr 81,8	Рубидій. Rb 85,5	Стронцій. Sr 87,5	Иттрий. Y 89,0	Цирконій. Zr 90,6	Ніобій. Nb 94,0	Молибденъ. Mo 96,0	—	Рутеній. Ru 101,7	Родій. Rh 102,0	Палладій. Pd 106,5	(Ag)
7	—	Серебро. Ag 107,93	Кадмій. Cd 112,4	Индій. In 115,0	Олово. Sn 119,0	Сурьма. Sb 120,2	Теллуръ. Te 127	Йодъ. I 127	—	—	—	—
8	Ксенонъ. Xe 128	Цезій. Cs 132,9	Барій. Ba 137,4	Лантанъ. La 138,9	Церій. Ce 140,2	—	—	—	—	—	—	—

Рис. 23. Фрагменты из книги Д.И. Менделеева
“Попытка химического понимания мирового эфира”

Попытка Менделеева ввести новый элемент в свою классификацию говорит о беспредельном уважении ученых к эфиру. В год выхода менделеевской книги “Попытка химического понимания эфира” он находился на вершине величия. Но причудливы судьбы научных понятий: именно в том же 1905 году появилась физическая теория, которая не только ниспровергла эфир с пьедестала, но и отменила его существование.

2.3. Прощай, эфир?!

Как это ни парадоксально, но в самой креативной работе Эйнштейна (общей теории относительности) существует необходимость в пространстве как среде, тогда как в его исходной предпосылке (специальной теории относительности) необходимости в такой среде нет... Слово “эфир” имеет чрезвычайно негативный оттенок в теоретической физике из-за его прошлой ассоциации с оппозицией теории относительности. Это печально, потому что оно довольно точно отражает, как большинство физиков на самом деле думают о вакууме... Теория относительности на самом деле ничего не говорит о существовании или несуществовании материи, пронизывающей Вселенную... Но мы не говорим об этом, потому что это табу.

Роберт Беттс Лафлин,
нобелевский лауреат по физике 1998 г.

В конце 1931 года в редакцию Большой советской энциклопедии пришла фототелеграмма. На ней довольно коряво был изображен мусорный ящик, в котором находились бутылки с надписями “теплопод”, “эфир” и т. д., а рядом ночной горшок. На стоящем рядом заборе восседал помоечный кот. Помимо картинки, имелся текст:

Прочитав Ваше изложение 65-м томе, с энтузиазмом приступаем изучению

эфира. С нетерпением ждем статей о теплороде и флогистоне.

Телеграмму подписали Георгий Гамов, Лев Ландау, Дмитрий Иваненко, Матвей Бронштейн и еще два аспиранта Ленинградского университета – Измайлов и Чумбадзе. Первые четверо были уже известными в то время молодыми учеными. Всех их коллегифизики причисляли к блестящему созвездию будущих звезд первой величины. К тому времени Гамов и Ландау уже съездили в заграничные командировки и были замечены мировым физическим сообществом. “Они решили, что всего этого достаточно, чтобы считать себя самыми главными советскими теоретиками” (Д.Д. Иваненко) и выступить с проектом создания “под себя” института теоретической физики во главе с Гамовым, которого планировалось провести в академики. Ландау и Иваненко должны были руководить в институте отделами. Организаторы телеграммы (Бронштейн и Иваненко), судя по воспоминаниям последнего, считали ее юмористической акцией. Но с юмором, похоже, у них было не очень хорошо, и, как следствие, аспиранты лишились стипендии, а Ландау и Бронштейна отстранили от преподавания. Удивительно, но Иваненко в своих воспоминаниях почему-то про это не говорит. Ну да ладно.

Мы вспомнили эту историю, поскольку нам она кажется весьма знаменательной. Как так произошло, что эфир, почитаемый учеными и воспеваемый поэтами в течение веков и даже тысячелетий, вдруг оказался на свалке науки? Что произошло такого, чтобы мнения Ньютона, Декарта, Менделеева и многих других классиков науки оказались в корзине мусорных идей? Откуда звездные мажоры почерпнули силы для откровенного глумления над эфиром? Ясно, что у них были серьезные и крайне убедительные основания. Попробуем с этим разобраться.

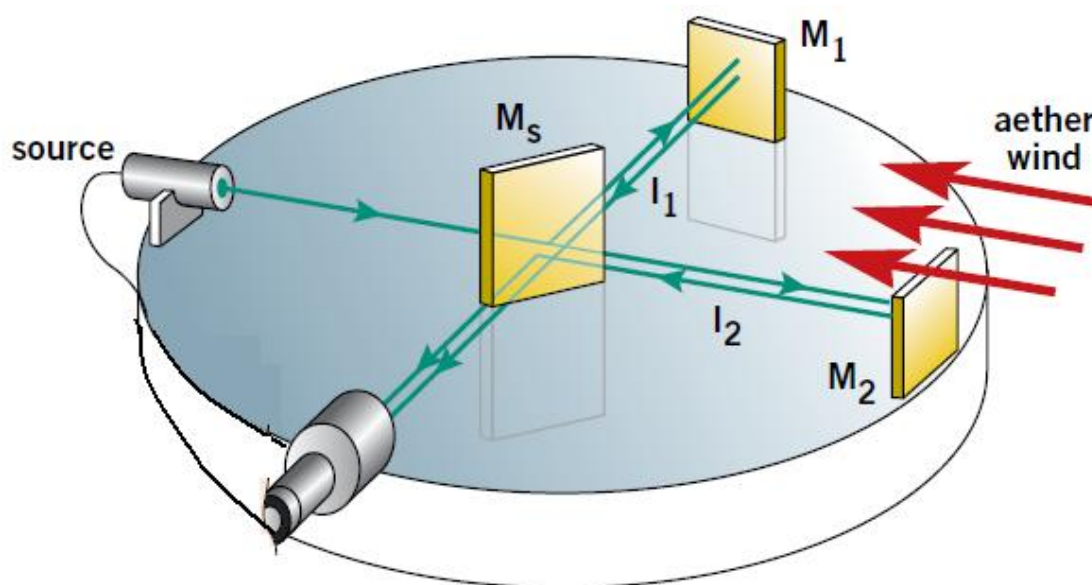


Рис. 24. Упрощенная схема эксперимента Майкельсона-Морли

Падению эфира предшествовал изящный эксперимент, выполненный в 1887 году американскими физиками Альбертом Майкельсоном (1852–1931) и Эдвардом Морли (1838–1923). Майкельсон был прекрасным конструктором оптических приборов, а Морли славился, как отличный физик-экспериментатор. Оба верили в существование эфира и намеревались убедить в этом всех скептиков. Они рассуждали примерно так. Земля движется по орбите вокруг Солнца со скоростью около 30 км/с (или 107 000 км/ч). Если считать, что наша планета находится в толще эфира, тогда наблюдатель на Земле должен фиксировать эфирный ветер (aether wind), дующий мимо него с точно такой же скоростью. По отношению к скорости света это довольно значительная величина, поэтому есть основания зафиксировать эфирный ветер оптическими методами. Упрощенная схема

эксперимента Майкельсона–Морли изображена на рис. 24. Луч света от источника (source) расщеплялся надвое полупрозрачным зеркалом M_s (стеклянная пластина посеребрена с одной стороны ровно настолько, чтобы частично пропускать падающие на нее световые лучи, а частично отражать их). Образованные таким образом два синфазных луча расходились под прямым углом, отражались от зеркал M_1 и M_2 и, проходя через полупрозрачное зеркало, попадали в зрительную трубу. Лучи двигались разными путями, причем на распространение одного из них (смотри рисунок) должен был влиять эфирный ветер. Их интерференционная картина, которую наблюдал экспериментатор, позволяла выявлять малейшую их десинхронизацию (запаздывание одного луча относительно другого). Установку можно было повернуть на 90° , и тогда уже другой луч двигался в направлении эфирного ветра. Наконец, в измерениях, проведенных через полгода, эфирный ветер дул в противоположную сторону. В общем, была масса вариаций эксперимента. Но, наблюдая в течение года за своей установкой, Майкельсон и Морли не обнаружили никаких смещений в интерференционной картине: эфирный ветер отсутствовал! Современные эксперименты подобного рода, проведенные с максимальной возможной точностью, включая эксперименты с лазерными интерферометрами, дали аналогичный результат.



Рис. 25. Хендрик Антон Лоренц (1853-1928) – нидерландский физик-теоретик

Обсуждение этого epochального опыта растянулось на многие годы. В итоге жизнеспособными оказались два возможных объяснения.

1. *Теория эфира Лоренца (ТЭЛ)*. В ней отрицается идея увлечения эфира движущимся телом и постулируется его неподвижность. Чтобы ответить на вопрос, почему эфир не удастся обнаружить экспериментально, Лоренц предположил, что во время движения тела сжимаются в направлении своего движения. Причину этого ученый связывал с влиянием эфира, который изменяет межмолекулярные силы. Точно такую же гипотезу в то же самое время выдвинул и ирландский физик Джордж Фицджеральд (1851–1901). Согласно ТЭЛ эфир существует, но его нельзя обнаружить.

2. *Специальная теория относительности* (СТО). Эфирной субстанции не существует.

В обеих теориях присутствует одинаковый математический формализм, и их невозможно различить экспериментально. ТЭЛ часто трактуется как вид “лоренц”-интерпретации СТО (хотя последняя была предложена позднее). Прогнозы, сделанные на основе теории эфира Лоренца, идентичны предсказаниям СТО. И все-таки современная наука сделала выбор в пользу последней. Физики по своей натуре склонны к позитивизму (отрицанию философии и культу математики) и прагматике. Постулировать субстанцию, которую невозможно обнаружить в опыте, они были не готовы. Это противоречило принципам построения классического естествознания. А еще специальная теория относительности, сформулированная в терминах метрики Минковского, наглядным образом вела к общей теории относительности, а вывести ее принципы из теории эфира Лоренца было никак нельзя.

Наиболее проникательные из физиков прекрасно сознавали, что исключение эфира – это “насилие” над миром природных явлений. Сам Эйнштейн, предложивший СТО, писал в 1920 году: “Что касается механической природы эфира Лоренца, то можно сказать, что в некотором смысле эта неподвижность является единственным механическим свойством, которого его не лишил Х.А. Лоренц. Можно добавить, что все изменения в концепции эфира, созданные специальной теорией относительности, состояли в том, чтобы отнять у эфира свое последнее механическое качество, а именно его неподвижность. <...> Однако более тщательное размышление учит нас, что специальная теория относительности не заставляет нас отрицать эфир. Мы можем предположить существование эфира; только мы должны отказаться от приписывания ему определенного движения, т. е. из абстракции мы должны удалить последнюю механическую характеристику, которую Лоренц еще не убрал” (“Эфир и теория относительности”). Через 15 лет после публикации СТО Эйнштейн был уже не так категоричен в отношении эфира. Более того, он предложил отнести к нему как к субстанции немеханической природы, то есть и в этом вопросе выйти за рамки классической механики. Как ясно сегодня, свойствами неподвижного эфира Лоренца обладает вакуум – особый тип виртуальной среды, факт движения относительно которой невозможно выявить никакими экспериментальными методами. Вакуум – квантовая среда, по существу, это эфир, наделенный квантовыми свойствами. В современной физике эфир возродился (подробнее об этом в следующей главе) под новым именем – вакуум. Лоренц мужественно отстаивал взгляд на эфир как на объект классической механики. До провозглашения – разумеется, в чисто описательном плане – идеи физического вакуума ему не хватило совсем чуть-чуть...

Нельзя не отметить колоссальный психологический дискомфорт, который испытывали основоположники релятивистской электродинамики, получая одинаковые результаты с учетом и без учета эфира. Анри Пуанкаре (1854–1912) писал: “Для нас не так важно, существует ли эфир в действительности, – пусть это решают метафизики; для нас важнее то обстоятельство, что все происходит так, как если бы он существовал, и что эта гипотеза удобна для истолкования явлений”. Такого рода заявления делаются от безысходности, от невозможности разрешить вопрос однозначно. Чудо чудное, диво дивное! Электромагнитное поле можно корректно описывать не только “не заглядывая” вглубь эфира, но даже и не принимая его в расчет. Светоносный эфир описывается в терминах электромагнитного поля: заряды, токи, электрические и магнитные поля и т. д. О содержательном смысле этих понятий, т. е. об их изначальной природе, можно не думать. Теория сходится с экспериментом, и о тончайшей эфирной материи можно не думать.

Эйнштейн проделал аналогичную программу для гравитации. В его теории эфиром тоже пахнет. Правда, уже упоминавшуюся статью он заключает словами: “Мы можем сказать, что, согласно общей теории относительности, пространство обладает

физическими свойствами; в этом смысле, таким образом, эфир существует. Согласно общей теории относительности пространство без эфира немислимо; в таком пространстве не только бы не было никакого распространения света, но и не могли бы существовать никакие стандарты пространства и времени (измерительных масштабов и часов) и, следовательно, никакие пространственно-временные интервалы в физическом понимании. Но этот эфир не может рассматриваться как наделенная какими-либо качественными характеристиками весома среда, состоящая из частей, которые могут быть прослежены с течением времени. Идея движения к нему неприменима”. Но это была просто метафизическая декларация. Физики, подобно нашим авторам фототелеграммы, предпочли исключить эфир из научного обихода. (Точно так же, заметим, поступили в свое время последователи Ньютона, проигнорировав все его высказывания в пользу эфира.) Как ни крути, но этого требовала логика науки.

Теории относительности запустили глобальный научный проект геометризации физики. Один из его главных лозунгов: “Эфир умер!” Но чем больше открытий новый проект добавлял в копилку знаний, тем все явственней “звучал” голос Вселенной: “Да здравствует эфир!”

ГЛАВА 3

ЭТОТ КВАНТОВЫЙ, КВАНТОВЫЙ, КВАНТОВЫЙ, КВАНТОВЫЙ МИР

Для нас едино – все: и в малом и большом
Кровь общая течет по жилам всей Вселенной.

А.Л. Чижевский

В начале 1960-х годов Голливуд выпустил знаменитый фильм “Этот безумный, безумный, безумный, безумный мир”. В советских кинотеатрах он прошел на ура, и я сам посмотрел его, наверное, раз пять. Меня, мальчишку, привлекал прежде всего приключенческий сюжет. Дюжина американцев, забыв обо всем на свете, бросилась искать клад, зарытый под неведомым деревом, похожим на *W* (“дубль-вэ”). Но со временем детали сюжета выветрились, а в памяти остался лишь зрительский восторг, прочно соединившийся с названием фильма. Четырехкратное повторение слова “безумный” вводило от воспоминаний о конкретных мытарствах героев, “потерявших” голову, и превратилось в устойчивый оборот, характеризующий бездну необыкновенного и неподвластного пониманию.

Учась в университете, я часто вспоминал название фильма на лекциях по квантовой механике. Для человека, начинающего знакомиться с физической теорией микромира, слова “квантовый” и “безумный” служат синонимами. Причиной тому – законы, крайне не похожие на те, что принимаются в классической физике. Погружение в мир квантовых явлений требует пересмотра многих привычных положений. Самое интересное, что это первое впечатление у многих ученых не пропадает с годами. Так, Ричард Фейнман утверждал: “Думаю, я смело могу сказать, что квантовой механики никто не понимает” (книга “Характер физических законов”). Эта фраза выдающегося ученого, нобелевского лауреата, – не эпатаж и не желание подчеркнуть ничтожность человеческих усилий на пути познания микромира, а восприятие удивительных правил, действующих в микромире и зачастую противоречащих здравому смыслу. И невольно приходит мысль: поскольку разгадка тайны вакуума связана с реалиями квантового мира, то его теория должна быть “достаточно безумной”.

3.1. О физике микромира

И я выхожу из пространства
В запущенный сад величин
И мнимое рву постоянство
И самосознание причин.

О. Мандельштам

Любая физическая теория начинается с обсуждения тех величин, которыми будет оперировать исследователь. В механике это вектора перемещений, скоростей, ускорений материальной точки и сил, действующих на нее. В гидродинамике – поле скорости, давление и плотность жидкости. В электродинамике – электрическое и магнитное поля, токи и заряды. Связанные с этими величинами понятия привычны для любого школьника и не нуждаются в особом разъяснении. В этом отношении квантовая механика отличается от других физических дисциплин. В ней вводится некоторая ψ функция. Пси-функцию (по названию греческой буквы) невозможно связать ни с одной из наблюдаемых физических величин, это ее важнейшая отличительная особенность. Более того, она принадлежит к классу комплексных функций, и здесь читатель должен интуитивно ощутить, что привычный мир начинает потихоньку качаться под ногами.

Комплексным называется число вида $z = a + ib$, где a, b – действительные числа, а величина $i = \sqrt{-1}$. Ее называют мнимой единицей. С числами такого типа математики впервые столкнулись в XVI веке при решении кубических уравнений и со временем включили их в круг основных математических понятий. Наряду с величиной z определяют также число $z^* = a - ib$, которое называют комплексно сопряженным z . Произведение комплексного числа на комплексно сопряженное ему будет всегда величиной действительной:

$$z \cdot z^* = (a - ib)(a + ib) = a^2 + b^2.$$

Правила перемножения комплексных чисел такие же, как для действительных чисел.

Пси-функция имеет точно такую же структуру, только она не число, а функция, зависящая от координат x, y, z и времени t . Ее можно представить в виде:

$$\psi = |\psi|(\cos\varphi + i\sin\varphi) = |\psi|\exp(i\varphi),$$

где $|\psi|$ называется ее амплитудой, а φ – фазой, обе они действительные функции координат и времени (при записи второго равенства мы воспользовались формулой Эйлера; \exp – обозначение экспоненты).

Комплексные числа и комплексные функции – понятия искусственные, связать их с конкретными явлениями и процессами макромира невозможно. Тем не менее, в микромире пси-функция описывает движение частицы. Это кажется странным, невероятным, но это так же верно, как и то, что дважды два – четыре. Другое дело, что физический смысл имеет только квадрат модуля пси-функции

$$|\psi|^2 = \psi \cdot \psi^*,$$

определяющий плотность вероятности нахождения частицы в данной точке в данный момент времени. Функция φ не оказывает влияния на состояние частицы и может быть произвольной.



Рис. 26. Немецкий физик Вернер Гейзенберг (1901–1976), один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии по физике за 1932 год

Из смысла пси-функции вытекает, что квантовая механика имеет статистический характер. Она не позволяет определить местонахождение частицы в пространстве или траекторию, по которой движется частица. С помощью пси-функции можно лишь предсказать, с какой вероятностью частица может быть обнаружена в разных точках пространства. Для микрообъекта невозможно одновременно указать его положение и импульс. Эта особенность физического описания движения микрочастиц получила название принципа неопределенности Гейзенберга. В формульном варианте этот принцип записывается так:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar. \quad (3.1)$$

Символ Δx (или Δp_x) означает неопределенность координаты x (или проекции импульса p_x на эту ось). Под словом “неопределенность” понимается интервал, внутри которого находится измеряемая величина. Справа в неравенстве стоит уже знакомая нам постоянная Планка. Из записанного выражения видно, что чем точнее определяется положение частицы (чем меньше Δx), тем больше неопределенность в измерении импульса, и наоборот. В пределе $\Delta x \rightarrow 0$ разброс в выборе величины p_x стремится к бесконечности, то есть невозможно ничего сказать о значении скорости и направлении движения частицы. Аналогичные неравенства справедливы при измерениях вдоль других осей – y и z .

Принцип неопределенности не является следствием вмешательства измерительных приборов. Он отражает одно из глубинных свойств Природы. В этом смысле весьма примечательно, что аналогичная неопределенность в движении присуща атомам Эпикура (IV–III вв. до н.э.). Излагая его физику, римский поэт I века до н.э. Тит Лукреций Кар в поэме “О природе вещей” так пишет об атомах:

Я бы желал, чтобы ты здесь осведомлен был точно так же,
Что, уносясь в пустоте, в направлении книзу отвесном,
Собственным весом тела изначальные в некое время
В месте неведомом нам начинают слегка отклоняться,
Так что едва и назвать отклонением это возможно.

В данном отрывке поэт (вслед за Эпикуром) утверждает, что атомы могут случайным образом отклоняться от заданного направления движения. Постулат о произвольном отклонении атомов от прямолинейного падения понадобился Эпикуру для объяснения тезиса о свободе воли, свойственной человеку (ведь сам он состоит из атомов). Такой взгляд на движение первоначал принципиальнейшим образом отличался от строго детерминистской механики Демокрита. По существу он означал, что для атома нельзя ввести понятие траектории, т. е., зная местоположение атома в данный момент, мы не можем однозначно указать направление его движения и скорость.

Принцип неопределенности воплощает сказочную “формулу”: пойдя туда, не знаю куда. Для обыденного опыта это крайне затейливое приключение. Чтобы вернуться к привычному для нас пониманию движения частицы, следует в формуле для принципа неопределенности положить величину постоянной Планка равной нулю. В таком случае отклонения в измерениях координат и проекций импульса уже никак не связаны между собой, и мы можем сколь угодно точно (в зависимости от измерительного прибора) уточнять величину каждой из величин. В микромире такое не проходит, и постижение его устройства требует подружиться с законами неклассической механики.

Принцип неопределенности указывает, что при квантовом описании следует отказаться от понятия точечной частицы. В 1923 году французский ученый Луи де Бройль (1892–1987) выдвинул идею, что любые частицы материи наряду с корпускулярными (присущими частицам) свойствами обладают также и волновыми свойствами. Эта идея стала основой принципа корпускулярно-волнового дуализма. В действительности квантовые объекты не являются ни классическими волнами, ни классическими частицами, проявляя свойства первых или вторых лишь в зависимости от условий экспериментов, которые над ними проводятся. К примеру, с некоторыми объектами свет взаимодействует как электромагнитная волна, а с другими - подобно потоку частиц (фотонов). Однако ни одна из этих картин (корпускулярная или волновая) не дает полной информации о природе света. Квантовая механика не дает возможности узнать, чем на самом деле является свет. Волновые и корпускулярные свойства фотонов и электронов, материи и излучения являются взаимоисключающими, но дополняющими друг друга проявлениями одного и того же феномена. Волны и частицы – суть две стороны одной медали.

Принцип справедлив для произвольных объектов, волна де Бройля может быть поставлена в соответствие любому движущемуся объекту микромира. Но чем он массивнее, тем в меньшей степени проявляются его волновые свойства. Корпускулярно-волновой дуализм необъясним в рамках классической физики и может быть истолкован лишь в квантовой механике. Принцип неопределенности отражает волновую природу микрочастиц, неопределенности в их описании – сущность реальности. Величины, для которых он справедлив, называются сопряженными. Помимо координаты и импульса, к таким относятся также энергия E и время t . Неопределенности этих величин удовлетворяют условию

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar. \quad (3.2)$$

Здесь ΔE – неопределенность энергии в момент ее измерения, Δt - неопределенность длительности процесса измерения. Следовательно, система, имеющая среднее время жизни Δt , не может быть охарактеризована определенным значением энергии; разброс энергии ΔE возрастает с уменьшением среднего времени жизни.

Для релятивистской системы или частиц, двигающихся со скоростью, близкой к скорости света c , соотношение (3.2) может быть получено из соотношения неопределенностей для координаты и импульса (3.1) простым преобразованием:

$$(\Delta x/c) \cdot \Delta p \cdot c \geq \hbar.$$

Полученное соотношение для времени и энергии можно трактовать следующим образом. Для того чтобы определить энергию частицы (системы) с точностью ΔE , необходимо проводить измерения в течение промежутка времени $\Delta t \geq \hbar/\Delta E$. Следствием этого соотношения является возможность виртуальных (ненаблюдаемых) процессов, лежащих в основе механизма взаимодействия частиц в квантовой теории поля. Две частицы взаимодействуют, обмениваясь с нарушением баланса энергии на величину ΔE виртуальным (ненаблюдаемым) переносчиком взаимодействия, существующим в течение времени $\Delta t \leq \hbar/\Delta E$. Виртуальные процессы совершаются с нарушением законов сохранения и потому не могут быть описаны классической физикой, так как всякий реальный процесс в классической физике происходит с соблюдением законов сохранения.

Волновая функция и принцип неопределенности – два фундаментальных основания, на которых строятся квантовые теории. Каждое из них, помимо чисто рационального (математического) содержания, несет также огромный философский подтекст. Волновая функция – комплексная функция, и сам по себе этот факт отличает квантовое описание от всех других теоретических методов физики. Независимость состояния квантовой системы от фазы ее волновой функции – вопрос на все времена, “переваривать” его будет еще не одно поколение физиков. Но внутреннее содержание принципа неопределенности и, шире, его глубинная природа, похоже, еще таинственнее и загадочнее.

К пси-функции проще привыкнуть. Все-таки она удовлетворяет определенным уравнениям (в зависимости от того, какой квантовый объект описывается), и чуть далее мы поговорим о некоторых из них. Но там, где есть конкретная математика, всегда отыщется приемлемая интерпретация. С принципом неопределенности не так. Он также несет в себе ограничение, запрет на проникновение за очерченные пределы. Они определяются постоянной Планка (правой частью неравенства), и это порождает вопрос о ее физическом смысле. Напомним, что впервые ее ввел Макс Планк для объяснения закона теплового излучения тела. Он предположил, что его энергия излучается в виде порций (квантов), пропорциональных частоте ω , так что энергия кванта излучения (фотона) ε равна:

$$\varepsilon = \hbar\omega. \quad (3.3)$$

Луи де Бройль пошел дальше и принял, что эта формула пригодна для любой движущейся микрочастицы, импульс которой \vec{p} также определяется через приведенную постоянную Планка:

$$\vec{p} = \hbar\vec{k}, \quad |\vec{k}| = k = 2\pi/\lambda, \quad (3.4)$$

где \vec{k} – волновой вектор, направленный вдоль движения частицы, а λ – длина волны. В этой формуле, как и в соотношении (3.3), постоянная Планка служит коэффициентом пропорциональности, и “вытащить” из записанных выражений ее физическое содержание никак нельзя.

Постоянная \hbar связана также, наверное, с самой загадочной характеристикой элементарных частиц – спином (от английского spin – вращение) – собственным моментом импульса, имеющим квантовую природу. Спин измеряется в единицах \hbar и равен $\hbar J$, где J – характерное для каждого сорта частиц целое (в том числе нулевое) или полуцелое положительное число (спиновое квантовое число), которое обычно называют просто спином. В связи с этим говорят о целом или полуцелом спине частицы. Частицы с целым спином называются бозонами, в честь индийского физика Сатъендра Бозе (1894–1974), а с полуцелым – фермионами, в честь итальянца Энрико Ферми (1901–1954). К

числу первых относятся, к примеру, фотоны, а к числу вторых – электроны, протоны, нейтроны.

Причастность к тому или иному классу очень важна, если мы интересуемся поведением ансамбля одинаковых частиц. Так, бозоны могут находиться в одинаковом квантовом состоянии в неограниченном количестве. А вот для фермионов справедливо правило запрета Паули: никакие два из них не могут находиться в одном состоянии. Как и принцип неопределенности, как и формула Планка, квантомеханические правила описания ансамблей бозонов и фермионов работают безупречно. Но и там, и тут глубинное содержание постоянной Планка остается за кадром. Она вводится феноменологически, но по той роли, которую постоянная Планка играет в теории микромира, кажется, что ее фундаментальный физический смысл лежит где-то глубже наших представлений о ней и еще далеко не раскрыт...

3.2. Явление вакуума

Есть два предела нашим взглядам:
Частица пыли и звезда...

А.Л. Чижевский

Релятивистские теории (СТО и ОТО) поставили жирный крест на идее тончайшей эфирной субстанции, пронизывающей все тела. Казалось бы, она должна безвозвратно исчезнуть из круга обсуждаемых понятий в науке и стать достоянием истории. Но этого не произошло. На место эфира “пришел” вакуум (латинское – “пустота”). Их различие, конечно же, не ограничилось только разницей в именах. Физический вакуум следует представлять как квантовый эфир, среду, подчиняющуюся теперь законам квантового мира. Отказ от понятия эфира символизировал прекращение поисков механических моделей всеобъемлющей мировой среды. Волей-неволей физикам пришлось продолжить поиски ее устройства, но теперь их исследования основывались уже на квантовой механике и (позже) квантовой теории поля.

Под физическим вакуумом понимается состояние некоторой области пространства, характеризуемое отсутствием наблюдаемых частиц и физических полей в любой момент времени. Под наблюдаемыми частицами подразумеваются долгоживущие материальные объекты, каждый из которых обладает определенным электрическим зарядом, импульсом \vec{p} , массой покоя m , энергией E и т.д. Энергия и импульс таких частиц связаны релятивистским соотношением:

$$E^2 = c^2(m^2c^2 + p^2). \quad (3.5)$$

Энергия в системе, где частица покоится ($p = 0$), равна mc^2 и называется энергией покоя E_0 , так что формулу (3.5) можно переписать еще так: $E^2 = E_0^2 + (cp)^2$.

В макроскопическом понимании физический вакуум – это идеальная пустота, абсолютный вакуум. Но на микроскопическом (квантовом) уровне ему присущи и внутренняя динамика, и отклики на внешнее воздействие. Мы остановимся на нескольких наиболее известных моделях вакуума.

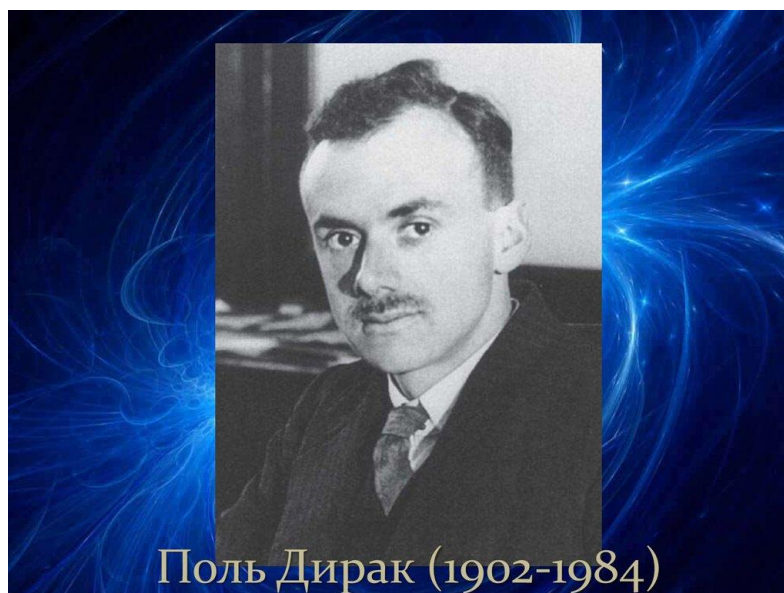


Рис. 27. Поль Дирак – лауреат Нобелевской премии 1933 года

Модель Дирака. Первую из них предложил английский физик-теоретик Поль Дирак в 1930 году. Работая над релятивистской теорией электрона, он обратил внимание, что уравнение (3.5) имеет два решения:

$$E_{\pm} = \pm c\sqrt{m^2c^2 + p^2}. \quad (3.6)$$

Знак “+” отвечает электрону с положительной энергией, а “–” отвечает электрону с отрицательной энергией. Оба они соответствуют релятивистскому соотношению между энергией и импульсом. Формула для E_+ описывает обычный электрон с положительной массой и положительной энергией. В самом деле, если ее импульс увеличивается, то энергия тоже растет – все, как для обычной частицы массы m . Частица с отрицательной энергией E_- ведет себя по-другому. Энергия такой свободной частицы уменьшается, если ее импульс увеличивается, т. е. если частица разгоняется. Такая частица, если бы она существовала, вела бы себя весьма странным образом – так, как если бы она обладала отрицательной массой. Ее ускорение было бы направлено в сторону, противоположную приложенной силе. Если толкнуть ее в одну сторону, она полетит в другую. Если теперь такой электрон приблизится к нормальному электрону, то он будет отталкивать его (одноименные заряды отталкиваются). Вследствие этого нормальный электрон будет удаляться от электрона с отрицательной энергией. Однако отталкивающая сила нормального электрона заставит эту странную частицу двигаться за ним. Обе частицы стали бы, таким образом, ускоряться в одном направлении, причем увеличение кинетической энергии нормального электрона компенсировалось бы увеличением отрицательной энергии другого.

В обычной механике существование решений с таким необычным поведением не было бы проблемой. Энергия любой мыслимой частицы в ней может меняться лишь непрерывно, и частица из состояния с E_+ никак не сможет перескочить в состояние с E_- . Поэтому, действуя привычным в арифметике образом, можно было бы спокойно отбросить решение с минусом перед квадратным корнем. Но в квантовой механике переходы такого рода возможны. Это следствие принципа неопределенности: энергия не может быть измерена точно за короткое время, и больше уже нельзя утверждать, что она изменяется непрерывно. Так, атом, обладающий определенными уровнями энергии, может переходить с одного из них на другой с испусканием или поглощением света,

причем мы не в состоянии описать сам процесс перехода. Точно так же в квантовой механике допустимы переходы между состояниями с разными знаками энергии.

Для скачка частицы из состояния с большей энергией E_+ в состояние с меньшей E_- ей необходимо излучить энергию, равную разности этих энергий. Как показывают расчеты, излучением одного фотона тут не обойтись. Однако при испускании сразу двух фотонов возможно удовлетворить законам сохранения энергии и импульса одновременно. Более того, электрон, переходя в состояние с отрицательной энергией, может изменить свой импульс на сколь угодно большую величину в любом направлении (он остается неопределенным). Если мы попытаемся вычислить вероятность того, что такой переход произойдет до некоторого момента времени, то получим бесконечно большую величину. Это означает, что электрон мог бы оставаться в состоянии с энергией E_+ в течение бесконечно короткого промежутка времени и сразу перешел бы в состояние с энергией E_- . Поэтому мы никогда не наблюдали бы обыкновенные электроны, а всегда лишь странные частицы отрицательной массы.

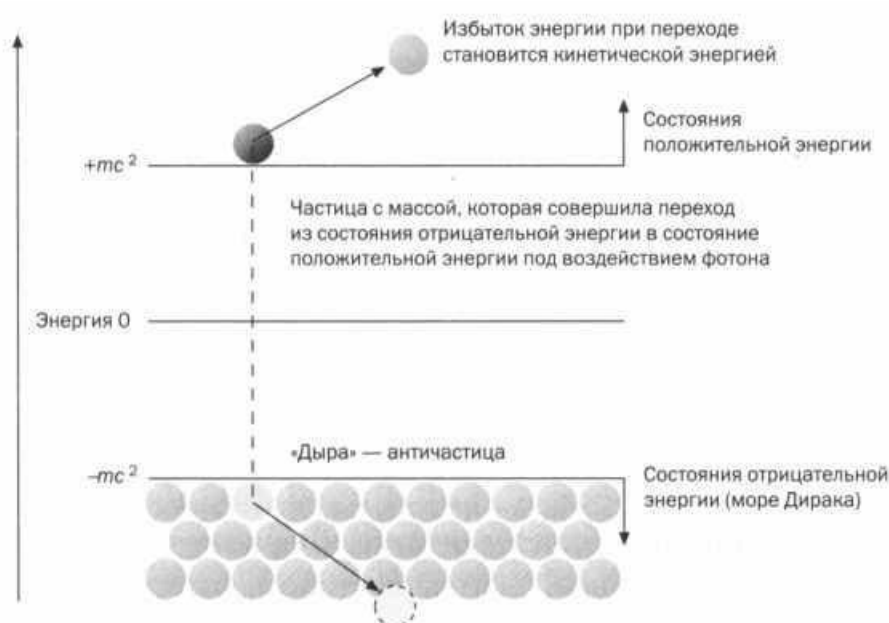


Рис. 28. Модель вакуума Дирака

А что, если все состояния с отрицательной энергией заполнены? Электроны – фермионы, и их поведение строго подчиняется принципу запрета Паули, согласно которому в определенном квантовом состоянии нельзя поместить больше одного фермиона с одинаковыми значениями внутренних квантовых чисел, например, проекцией спина. Пусть, предположил Дирак, пустое пространство в действительности заполнено электронами в состояниях отрицательной энергии. Как еще говорят, они образуют море Дирака (см. рис. 28). Эти состояния охватывают бесконечный интервал импульсов, поэтому их плотность будет бесконечна. Это приводит к бесконечной плотности отрицательного заряда, что бессмысленно. Но предположим, что на самом деле этот заряд некоторым образом компенсируется плотностью положительного заряда, имеющегося по какой-то иной причине, так что, несмотря на все эти гипотетические электроны, электрического поля в пустом пространстве нет, и действительный заряд проявляется лишь при отклонении от такого состояния. Тогда наличие электронов в состояниях отрицательной энергии не будет почти ни в чем себя проявлять.

Как уже говорилось, нормальный электрон может “нырнуть” в море Дирака. При этом необходимо, чтобы он мог отдать излишнюю энергию и импульс и чтобы для него имелось свободное место. Но точно так же один из гипотетических электронов

отрицательной энергии, если получит достаточную энергию и импульс (поглотит два фотона), может “вынырнуть” в пространство положительных энергий. В результате такого перехода образуется нормальный электрон и свободное место в море Дирака. Что оно означает? Так как мы предположили, что отрицательный заряд моря Дирака скомпенсирован, то отсутствие одного из электронов в нем будет проявляться как наличие положительного заряда. “Отсутствие частицы с отрицательной энергией означает, что энергия увеличилась. При этом чем больше импульс того состояния, в котором имеется свободное место, или “дырка”, т.е. чем большей (по абсолютной величине) отрицательной энергией обладал электрон, первоначально находившийся в этом состоянии, тем больше энергии надо затратить, чтобы породить эту дырку. Следовательно, энергия дырки увеличивается при увеличении импульса” (Пайерлс Р. Законы природы). Получается, что дырки ведут себя подобно электронам с положительной энергией и положительным зарядом. Эта гипотетическая частица (она теперь является наблюдаемой) во всем идентична электрону, за исключением противоположного по знаку электрического заряда. В то время (конец 1920-х годов) такая частица не была известна, а постулировать её существование Дирак не решился. В работе “Теория электронов и протонов” он предположил, что ею может быть протон.

Ученые поначалу отнеслись к концепции Дирака скептически, но их мнение резко переменилось, когда в 1932 году американский физик Карл Андерсон экспериментально открыл позитрон – новую частицу, во всем похожую на электрон, но заряженную положительно. С этого момента предсказание существования антиэлектрона стало рассматриваться как триумф теории Дирака. Сам он так описал свое понимание вакуума: “Согласно этим новым представлениям, вакуум не является пустотой, в которой ничего не находится. Он заполнен колоссальным количеством электронов, находящимся в состоянии с отрицательной энергией, которое можно рассматривать как некий океан. Этот океан заполнен электронами без предела до величины отрицательной энергии, и поэтому нет ничего похожего на дно в этом электронном океане. Те явления, которые интересуют нас, это явления, происходящие у поверхности этого океана, а то, что происходит на глубине, не наблюдаемо и не представляет интереса. До тех пор, пока океан совершенно однороден, пока его поверхность плоская, он ненаблюдаем. Но если взять пригоршню воды из океана и поднять, то получающееся нарушение однородности будет тем, что наблюдается в виде электронов, представляющихся в этой картине как поднятая часть воды и остающаяся на ее месте дырка, т. е. позитроны” (“Электроны и вакуум”).

К числу достоинств модели Дирака относится также наглядное объяснение явления аннигиляции (уничтожения): когда позитрон сталкивается с электроном, обе частицы исчезают, оставляя после себя два кванта света с энергией, которая была точно равна энергии аннигилировавшей пары частиц. “Все успехи “дырочной” теории не снимают, однако, того возражения, что картина бесконечной плотности электронов в состояниях отрицательной энергии не слишком удовлетворительна” (Пайерлс Р. Указ. соч.). Это не единственный изъян модели. Серьезным ее недостатком считается также нарушение демократии относительно фермионов и бозонов. Если море Дирака может быть составлено из фермионов всех допустимых Природой сортов, то бозоны не могут участвовать в его заполнении (для частиц с целым спином не существует каких-либо ограничений на числа заполнения состояний). При определенных условиях даже все без исключения бозоны могут находиться в одном и том же состоянии (эффект бозе-эйнштейновской конденсации). В силу этого данная модель вакуума не может претендовать на универсальность. Но она, в дополнение к отмеченным ранее достоинствам, высвечивает также два важнейших направления, которые требуют самого пристального изучения: роль античастиц в нашем мире и учет состояний с отрицательной энергией.

Флуктуационная модель. Вакуум в квантовой теории определяется как наинизшее энергетическое состояние, в котором отсутствуют все наблюдаемые частицы.

При этом оказывается, что это состояние не есть состояние без поля. Небытие, как отсутствие и частиц и поля, невозможно. Соотношения неопределенностей (3.1), (3.2) допускают возможность кратковременного существования, то есть случайного рождения и быстрого последующего исчезновения виртуальных (ненаблюдаемых) частиц любого сорта, которые могут появляться на очень малых расстояниях и промежутках времени с нарушением законов сохранения энергии и импульса. В таких флуктуационных вакуумных процессах могут участвовать виртуальные частицы любых энергий и импульсов. А поскольку соотношения (3.1), (3.2) являются независимыми, то энергия и импульс виртуальной частицы могут оказаться никак не коррелированными между собой. Это приводит к нарушению связи между энергией и импульсом (3.5). Это свойство является отличительным признаком виртуальных частиц. Флуктуирующее множество виртуальных частиц и образует физический вакуум.

В вакууме равны нулю только средние значения физических величин: напряженностей полей, числа электронов и т. д. Сами же эти величины непрерывно флуктуируют (колеблются) около этих средних значений. Причиной флуктуаций являются квантово-механические соотношения неопределенностей (3.1), (3.2). Поскольку энергия поля непосредственно определяется его напряженностью, принцип неопределенности ведет к тому, что в какой-то области пространства напряженность поля на очень короткое время может стать отличной от своего фиксированного классического значения. Такие “мигания” поля и называют квантовыми флуктуациями. Величина флуктуаций тем больше, чем меньше ее пространственные размеры и время существования. Наличие квантовых флуктуаций в вакууме приводит к тому, что вакуум больше не является пустым пространством, каким он был в классической теории. Так, в квантовой электродинамике вакуум мигает появляющимися полями, кипит рождающимися на короткое время электрон-позитронными парами. Такие поля и частицы принято называть виртуальными.

В квантовой теории рассматриваются вакуумы самых разных полей (у каждого из них свой тип виртуальных частиц). Мы приведем некоторые классические результаты для вакуума электромагнитного поля. По природе своей это, как мы помним, и есть тот самый светоносный эфир, который будоражил умы физиков на протяжении веков. Только теперь он рассматривается с принципиально новых позиций. Согласно квантовой теории вакуум следует понимать как поле в одном из его состояний, то есть как некоторую материальную систему. Микроскопическая ее природа, подчеркнем, остается неясной. Понятия “электрическое поле” и “магнитное поле” выступают как абстрактные сущности, которые можно измерить. Каждое из них можно математически представить как совокупность независимых гармонических колебаний (осцилляторов) со всеми возможными значениями волнового вектора \vec{k} . В квантовой механике осциллятор может находиться только в состояниях с дискретными значениями энергии:

$$E_{\vec{k}} = \left(n_{\vec{k}} + \frac{1}{2} \right) \hbar \omega_{\vec{k}} = \left(n_{\vec{k}} + \frac{1}{2} \right) \hbar c k.$$

Основное (вакуумное) состояние электромагнитного поля характеризуется отсутствием реальных фотонов, когда все $n_{\vec{k}} = 0$. При этом энергия электромагнитного поля в вакуумном состоянии E_0 (энергия нулевых колебаний) равна

$$E_0 = \frac{\hbar}{2} \sum_k \omega_{\vec{k}},$$

здесь знак “сигма” обозначает сумму по всем состояниям осцилляторов. Поскольку волновые вектора виртуальных частиц могут быть самыми разными, величина их суммарной энергии оказывается бесконечно большой величиной. Но физики договорились отсчитывать все наблюдаемые энергии от этой энергии вакуума, что на

практике сводится к вычитанию E_0 из всех рассматриваемых величин. В частности, для вакуума электромагнитного поля наблюдаемая энергия равна нулю. Средние значения электрического и магнитного полей в вакуумном состоянии тоже равны нулю, но средние значения от квадратов этих величин отличны от нуля, что приводит к наблюдаемым на эксперименте следствиям. Это означает, что электромагнитное поле в вакууме колеблется. Эти колебания и называют нулевыми колебаниями электромагнитного поля.

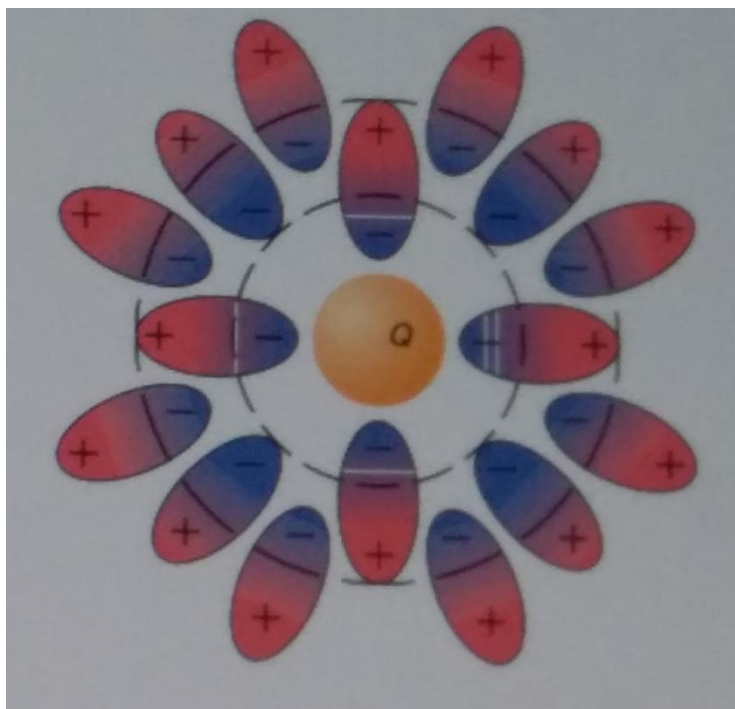


Рис. 29. Экранировка заряда поляризационными вакуумными диполями

В квантовой электродинамике при изучении свойств вакуума в качестве лакмусовой бумажки обычно используют зависимость от расстояния электрического потенциала, создаваемого неподвижным зарядом Q . В пустом пространстве потенциал описывается хорошо известным законом Кулона. Квантовый вакуум обладает слабыми диэлектрическими свойствами и в небольшой степени изменяет этот закон. Количественно это изменение определяется постоянной тонкой структуры

$$\alpha = e^2/(\hbar c) \approx 1/137,036. \quad (3.7)$$

Изменение кулоновского потенциала происходит за счет того, что фотон, испущенный пробным зарядом, может превратиться в виртуальную электрон-позитронную пару, которая образует эффективный диполь, производящий эффект экранировки. Этот процесс включает два элементарных акта взаимодействия (с составляющими диполя), и потому его вклад содержит малый множитель α . Таким образом, исходный заряд оказывается окруженным морем виртуальных диполей (рис. 29), что приводит к зависимости заряда Q и создаваемого им потенциала Φ от расстояния r . Поправки к закону Кулона, обусловленные поляризацией вакуума электрон-позитронными парами, имеют довольно простой вид в предельных случаях малых ($r \ll r_e = \hbar/(m_e c)$ - комптоновская длина волны электрона, m_e - его масса) и больших ($r \gg r_e$) расстояний:

$$\Phi(r) - \frac{Q}{r} \propto \frac{Q\alpha}{r} \ln \frac{r_e}{r}, \quad r \ll r_e; \quad (3.8)$$

$$\Phi(r) - \frac{Q}{r} \propto \frac{Q\alpha}{r} \exp\left(-\frac{2r}{r_e}\right), \quad r \ll r_e. \quad (3.9)$$

Для вывода этих выражений нужно уметь пользоваться аппаратом квантовой теории поля, но их физические основания весьма прозрачны. Мы видим, что на больших расстояниях (по сравнению с комптоновской длиной) от заряда потенциал отличается от кулоновского экспоненциально малым слагаемым, на близких же расстояниях искажения кулоновского поля точечного заряда логарифмически малы.

Важно отметить, что сам факт возникновения зависимости (3.8) и (3.9) имеет чисто квантовую природу. Если мысленно измерить заряд внутри маленькой сферы, окружающей заряд Q , то окажется, что он увеличивается при уменьшении радиуса сферы. Такой заряд называется эффективным зарядом для данного радиуса. Каждая элементарная частица оказывается одетой в шубу виртуальных частиц и составляет с ней единое целое – наблюдаемую элементарную частицу. С этих позиций ясно, что понятие точечной частицы представляет собой физическую идеализацию, оправданную лишь в определенных условиях.

Флуктуационная модель позволила объяснить такие тонкие физические эффекты, как лэмбовский сдвиг энергетических уровней в атоме водорода, аномальный магнитный момент электрона, эффект Казимира (взаимное притяжение двух незаряженных металлических пластин под действием квантовых флуктуаций в вакууме). При всей неясности природы основных понятий электродинамики их квантово-полевое описание дает результаты, подтверждаемые экспериментально с высокой точностью. В этом смысле можно утверждать, что физики подобрали ключики к тайнам электромагнитного вакуума. Но гравитационные свойства вакуума до сих пор являются предметом многочисленных обсуждений и гипотетических предположений.



Рис. 30. Джон Уилер (1911–2008)

Американский физик Джон Уилер еще в середине прошлого века высказал идею, что глубинные процессы, определяющие поведение вакуума, протекают на планковских масштабах (смотри формулу (0.1)). Он представлял физический вакуум в виде “топологической пены” всевозможных флуктуаций метрики пространства. Величина l_{pl} определяет характерный размер этих флуктуаций, трактуемых Уилером как кванты пространства, характеристики которых связаны с планковскими масштабами. Вакуумная плотность при таком подходе равна

$$\rho_{pl} \approx \frac{m_{pl}}{l_{pl}^3} = \frac{c^2}{G l_{pl}^2} \sim 10^{94} \text{ г/см}^3.$$

Эта величина находится в разительном контрасте со средней плотностью вещества Земли $5,5 \text{ г/см}^3$ и даже характерной ядерной плотностью 10^{14} г/см^3 , не говоря уже о плотности космического вакуума 10^{-29} г/см^3 . Получается, что наш мир - не более чем слабая тень того, что должно бы быть. Ведь речь идет о недостатке плотности в миллиарды миллиардов раз и еще больше! Дж. Уилер трактовал полученные им оценки плотности как характерные для физического вакуума. По современным представлениям, пространство не является привычной нам пустотой. Наоборот, это нечто, чья плотность так драматично превышает плотность, характерную для нашего мира. Не следует, правда, забывать, что такие сверхплотные состояния живут всего лишь мгновение, равное планковскому времени, и потому остаются ненаблюдаемыми для нас. По мысли Уилера, элементарные частицы не являются отправной точкой для описания природы, а представляют лишь поправку к физике вакуума – изначальное состояние Природы с колоссальной плотностью виртуальных фотонов и виртуальных пар всевозможных частиц.

Точка зрения Уилера разделяется многими физиками-теоретиками. Но он, как верный последователь Эйнштейна и приверженец геометрофизики, остался верен принципу пустого пространства. Квантовую пену Уилера составляют гипотетические особенности пространства-времени, которые получили название “кратовых нор” или “червоточин”. Это топологические микроструктуры, представляющие в каждый момент времени “туннель” в пространстве. Они связывают между собой разные пространственные области. По физическим свойствам вход в “кратовую нору” очень похож на черную дыру. Отличие в том, что туда можно не только попасть, но и вернуться оттуда.

Квантовая пена рассматривается как возможный вид состояния вакуума, предшествующего Большому Взрыву. Это, если вспомнить уже упоминавшееся высказывание Нильса Бора, достаточно безумная теория. Но в ней нет сущностного начала: вместо материальной (эфирной) составляющей задается некое скалярное поле (как и в инфляционной космологии). Кроме того, изначальное состояние Вселенной должно удовлетворять еще и принципу простоты. Образ основного элемента, составляющего “плоть” вакуума, должен быть достаточно понятным и элементарным. “Кратовая нора”, очевидно, таким не является. С другой стороны, логика развития квантовой теории поля подсказывает, что на эту роль идеально подходит некая виртуальная частица. Но что это за частица?..

3.3. Сетка эфиров

Что есть пространство: пустая сцена, на которой физический мир материи разыгрывает свою драму; равноправный участник, создающий фон и имеющий свою собственную жизнь; или первичная реальность, вторичным проявлением которой является материя? Мнения по этому вопросу развивались и несколько раз радикально менялись на протяжении всей истории науки. Сегодня торжествует третья точка зрения. Там, где наши глаза ничего не видят, наш разум, обдумывая откровения точных экспериментов, обнаруживает некоторую Сетку, которая является основой физической реальности.

Пару лет назад в книжном магазине я увидел книгу с необычным названием – “Тонкая физика”. У нее был подзаголовок, вынесенный на обложку: “Масса, эфир и объединение всемирных сил”. “Рожденный в года глухие” господства тотального релятивизма, я, равно как и мои сверстники, начиная с университетских времен, пугался любых научных текстов, где упоминалось слово “эфир”. Так в нас учителя, а больше многочисленные научно-популярные издания, вбили антиэфирный комплекс. А тут солидное издание в твердом переплете обращается к “запрещенному” понятию, да к тому же автором его значится нобелевский лауреат 2004 года Фрэнк Вильчек. Разумеется, я без раздумий приобрел эту книгу...

Фрэнк Вильчек (родился в 1951 году) – американский физик-теоретик. В 1973 году, работая в качестве аспиранта Дэвида Гросса в Принстонском университете, открыл, что чем ближе кварки друг к другу, тем меньше взаимодействие между ними. Когда кварки (составляющие протоны и нейтроны) находятся чрезвычайно близко друг к другу, то ядерные силы между ними настолько слабы, что кварки ведут себя почти как свободные частицы (это их состояние в теории сильных взаимодействий назвали асимптотической свободой). Книга Вильчека посвящена современному состоянию физики элементарных частиц и теориям их взаимодействия. Но нам хочется выделить одну из ее частей, имеющую, не побоимся сказать, важнейшее мировоззренческое значение. Речь идет о главе с весьма красноречивым названием – “Сетка (живучесть эфира)”.

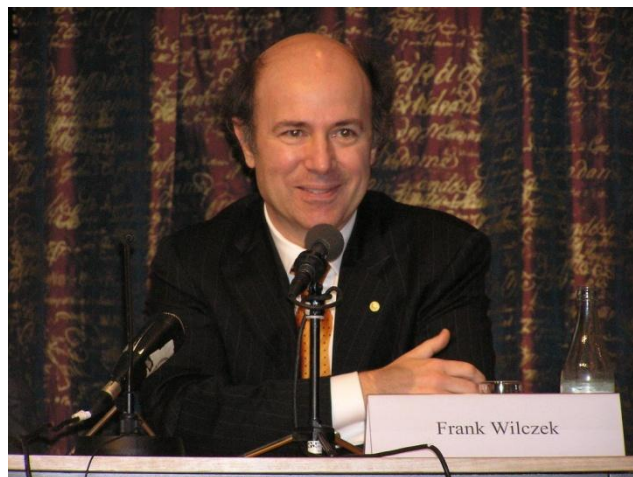


Рис. 31. Фрэнк Вильчек

В последнее время физики осознали многоликость вакуума, возможность существования его в разнообразных состояниях, различающихся плотностью энергии или другими физическими параметрами (в зависимости от принимаемых гипотез и теорий), каждое из которых предполагает свое математическое описание. Фрэнк Вильчек предложил для обозначения “первичного материала, из которого состоит мир”, слово “Сетка”. В своей глоссарии он определяет ее так: “Сущность, которую мы воспринимаем как пустое пространство. Наши глубочайшие физические теории показывают, что она очень высоко структурирована; более того, она, по-видимому, является основой составляющей реальности”. На рис. 32 приведена ее условная схема. Подпись Вильчека к ней гласит: “Сетка, которая лежит в основе нашей самой успешной картины мира и имеет несколько аспектов. Сетка с этими аспектами присутствует всегда и везде. Обычная материя является вторичным проявлением Сетки, соответствующим уровню ее возбуждения”.

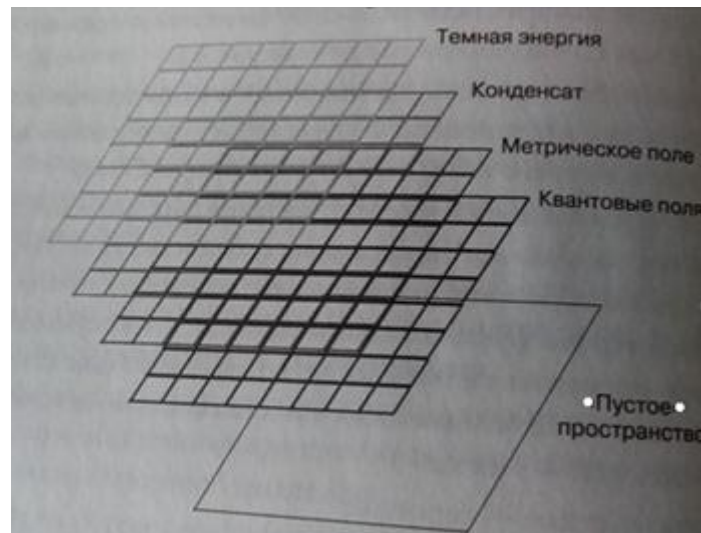
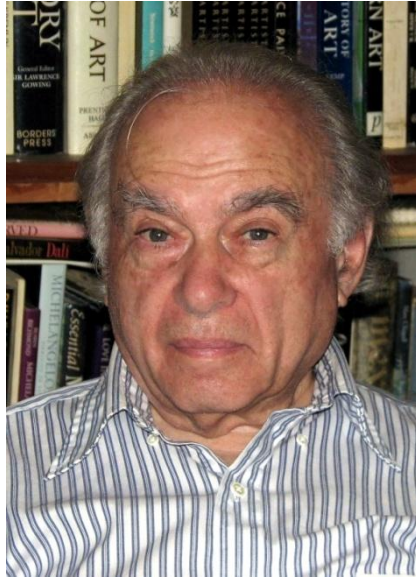


Рис. 32. Структура Сетки (Вильчек Ф. Тонкая физика)

Согласно современным представлениям физический вакуум – сложная иерархическая система в пространстве-времени, способная к динамической эволюции. Его структурные составляющие, которые физики мыслят в рамках определенных математических представлений, различаются плотностью энергии или другими физическими параметрами (в зависимости от применяемых гипотез и теорий). Все эти структуры, подобно маленьким матрешкам, “вживлены” в одну большую матрешку, роль которой играет пустое пространство. Схема Вильчека представляет своеобразную “развертку” единой и неделимой вакуумной субстанции и выглядит как многолистная поверхность. Поскольку структура Сетки выстраивается в духе геометрофизических представлений, первый ее лист – абсолютно пустое пространство. На втором уровне Вильчек размещает квантовые поля, создаваемые виртуальными частицами. Мы о них уже говорили ранее. Физический вакуум определяется как наименьшее энергетическое состояние квантовых полей. Каждому виду микрочастиц, согласно квантовой теории, соответствует свое волновое поле, а каждая элементарная частица соответствует возбужденному состоянию соответствующего поля.

Следующий “лист” Сетки – метрическое поле. Его введение предполагает выбор определенных координат для описания локальной геометрии. Вильчек называет метрическое поле прародителем Сетки и признает, что подходящей для него (поля) характеристикой является признание Эйнштейна, записанное им в 1920 году: “Согласно общей теории относительности пространство немислимо без эфира; действительно, в таком пространстве не только было бы невозможно распространение света, но не могли бы существовать масштабы и часы, и не было бы никаких пространственно-временных расстояний в физическом смысле слова”. В теории Эйнштейна для описания гравитации используется метрический тензор второго ранга (смотри раздел 1.1.1). Гравитация – один из четырех типов фундаментальных физических взаимодействий. Другие три типа – это электромагнитное, слабое и сильное. Их описание уже не связано с метрикой пространства. К тому же, все эти взаимодействия, в противовес гравитации, описываются в рамках квантовых представлений.



**Рис. 33. Советский и американский физик-теоретик
Эраут Борисович Глинер**

Переносчиками электромагнитного взаимодействия являются фотоны, слабого - W^+ , W^- и Z^0 – бозоны, а сильного – глюоны (всего существует 8 их независимых типов). Общее для всех этих частиц то, что все они обладают целочисленным спином, то есть являются бозонами. В отличие от частиц с полуцелым спином (фермионов) они могут образовывать коллективное состояние, называемое конденсатом. Все составляющие его частицы находятся в одном квантовом состоянии. На основании сведений, накопленных в Стандартной Модели элементарных частиц, можно утверждать, что существует несколько вакуумных конденсатов, соответствующих типам взаимодействий: фотонный конденсат, обеспечивающий взаимодействие заряженных частиц; “слабый” конденсат, коллективными возбуждениями которого являются кванты силовых полей – переносчики слабых взаимодействий, W^+ , W^- и Z^0 -бозоны, и глюонный конденсат, ответственный за сильные взаимодействия. Такие вакуумные конденсаты образуют четвертый лист сетки.

И наконец, темная энергия. Это новейшее понятие, вошедшее в физику в самом начале нынешнего века. Темной энергией назвали гипотетический вид энергии, введенный в математическую модель Вселенной для объяснения наблюдаемого ее расширения с ускорением. Темная энергия ответственна за антигравитацию во Вселенной. Согласно общей теории относительности ее следует связывать с особым типом среды, обладающей отрицательным давлением. Впервые на существование такого вакуумного состояния указал Эраут Борисович Глинер (родился в 1923 году).

В теории влияние темной энергии описывает космологическая постоянная Λ (лямбда-член) в уравнении Эйнштейна. Ее значение, одинаковое для всех точек пространства, позволяет пренебрегать эффектами, связанными с ее наличием, вплоть до масштабов скоплений галактик, то есть практически в любой рассматриваемой области, кроме космологии. Величина Λ определяет плотность космологического вакуума: по выражению Вильчека, “пространство имеет вес”. Сущность, которую мы воспринимаем в качестве пустого пространства, обладает универсальной, ненулевой плотностью, что венчает доказательство ее физической реальности. Это в том числе является и экспериментальным подтверждением существования эфира (или одного из эфиров Сетки). Правда, сам по себе этот результат стал предметом постоянной головной боли у физиков, поскольку величина Λ гораздо меньше плотности любого из конденсатов Сетки. Так, плотность конденсата сильного взаимодействия в 10^{44} раз больше, а плотность конденсата слабого взаимодействия – в 10^{56} раз больше. По мнению многих физиков,

занимающихся квантовой гравитацией, суммарная плотность физического вакуума имеет порядок планковской плотности. Эта величина больше наблюдаемой астрономами уже на 123 порядка. Малое значение космологической постоянной, очевидно, не согласуется с предсказаниями квантовой теории и составляет отдельную проблему, именуемую проблемой космологической постоянной.

В настоящее время популярным предположением является то, что множество отдельных конденсатов делают вклад в суммарную плотность с разными знаками, одни – с положительным, а другие – с отрицательным. Эти вклады почти полностью компенсируют друг друга, так что в результате мы наблюдаем невероятно малую суммарную плотность Сетки. Однако эту идею нельзя уточнить или проверить.

Утверждение концепции Сетки как набора вложенных в пустое пространство эфиров относится к разряду серьезных перемен в теоретической физике. Если ученые XVII-XIX веков говорили лишь о двух эфирах – гравитационном и электромагнитном, то теперь признается, что их число заведомо больше. “В этом отношении открытие того, что Сетка заполнена несколькими видами материалов, или конденсатами, поднимает очевидный вопрос: является ли метрическое поле конденсатом? Может ли оно состоять из чего-то более фундаментального?” (Ф. Вильчек). Данный вопрос напрямую связан с проблемой первичного вакуума, а именно, какое его состояние предшествовало Большому Взрыву?..

ГЛАВА 4

Модель физического вакуума

Всевластен лик, глядящий с вышины!
Настанет ночь – и взор летит из бездны,
И наши сны, взлелеянные сны
Пронизывает знанием надзвездным.
.....
Лишь на листе, где численные тайны,
Пылает смысл огнем необычайным.

А.Л. Чижевский. Космос

Когда задумываешься о начальных главах летописи Вселенной, начинаешь испытывать невольный трепет. Для верующего человека это вторжение в тайну Творца, нарушение религиозного запрета на изображение Его сущностной природы, проявление гордыни. Но для ученого это естественный путь постижения гармонии Космоса и отдельных его структур. Наука – неотъемлемая часть человеческой культуры, и ее возможности в настоящее время расширились настолько, что открывают пути для аналитического изучения начального состояния мира.

Здравый смысл говорит нам решительно, что из ничего нельзя что-то построить. И тем не менее мир как-то возник! Как же можно представить это Ничто, из которого потом всё произошло? Современная физика дает возможность “нащупать” этот загадочный путь развития. В нашем обычном мире мы уже привыкли, что закон сохранения энергии неизбывен и не может быть нарушен ни при каких основаниях. Но в микромире, мире атомных масштабов, где царят правила квантовой механики, такое исключительное событие уже возможно. Закон сохранения энергии может нарушиться, но только на очень короткое время. Другими словами, в абсолютной пустоте может родиться и практически тотчас же умереть некоторая элементарная частица. Параметры ее, равно как и вероятность такого появления, очевидно, должны быть связаны с глубинными свойствами самого пространства. Но важно, что рождение таких частиц принципиально возможно.

Физики называют их виртуальными, поскольку они живут крайне малое время и как бы не существуют.

Всюду в нашей книге мы будем считать пространство бесконечным, однородным, трехмерным и евклидовым. Виртуальная частица может родиться в любой его точке. Поэтому про нее можно сказать, что она живет сразу во всей Вселенной и в данной ее точке может быть обнаружена лишь с некоторой долей вероятности. Эту первичную частицу и следует называть частицей Бога. С ней, очевидно, должна быть связана тайна Большого Взрыва, она же в значительной степени должна предопределять и будущее развитие Вселенной. В данной главе такая частица будет введена в рассмотрение.

4.1. cGh подход в физике

Когда б в покорности незнания
Нас жить Создатель осудил,
Неисполнимые желанья
Он в нашу душу б не вложил,
Он не позволил бы стремиться
К тому, что не должно свершиться,
Он не позволил бы искать
В себе и в мире совершенства,
Когда б нам полного блаженства
Не должно вечно было знать.

М. Лермонтов

В 1928 году молодые советские физики-теоретики Георгий Гамов, Дмитрий Иваненко и Лев Ландау опубликовали статью “Мировые постоянные и предельный переход”. Первым двум было по 24 года, а третьему на четыре года меньше. Друзья учились вместе в Ленинградском университете, с энтузиазмом занимались физикой и были полны наполеоновских планов в науке. В самом деле, редкий начинающий ученый решится писать с таким мировоззренческим уклоном. В статье обсуждалась роль фундаментальных (по терминологии авторов – мировых) констант в развитии теоретической физики. Авторы выделили три “истинные” универсальные постоянные – c, G, h .

Эта идея пересекалась с результатами М. Планка (1899, 1906) и в точности соответствовала высказанному ранее утверждению А. Эддингтона (1918), но авторы на них не сослались. Скажем больше, в статье вообще нет ни одной ссылки. Можно допустить, правда, что про статью Эддингтона Гамов, Иваненко, Ландау (ГИЛ) просто не знали, а ссылаться на работы Планка не стали, поскольку тот в число “истинных” констант включал также постоянную Больцмана.

Идея написания статьи принадлежала Георгию Гамову. Свой непреходящий интерес к теме мировых констант он отразил в популярной книге (написана в 1938 г.) про скромного банковского служащего, интересующегося современной физикой. Книга называется “Мистер Томпкинс в Стране Чудес, или истории о c, G и h ”. В ее издании на английском языке (оригинале) прописные обозначения этих постоянных служат инициалами героя – C.G.H. Tompkins. О единой физической теории на основе этих констант в книге, правда, нет ни полслова. Как и два других его соавтора, он ни разу не сослался на статью 1928 г. Д.Д. Иваненко лишь отметил в воспоминаниях, что “повидимому, эта трехавторная статья оказалась в конце концов (как стало видно через более, чем 60 лет) наиболее интересной из нашего периода 1923–27 гг.”, а Л.Д. Ландау, в свою очередь, не включил ее в двухтомник избранных трудов. Вместе с тем академик Л.Б. Окунь отмечает: “В статье, к которой сами авторы отнеслись как к пустяку, содержались

весьма серьезные идеи, имевшие глубокие исторические корни, идеи, оказавшие серьезное влияние на дальнейшее развитие теоретической физики и продолжающие вызывать споры среди профессиональных физиков-теоретиков до сих пор”.

Принцип выделения “истинных” констант основывался в статье ГИЛ на общности теории, в которых они играли основополагающую роль (СТО, волновая механика Шредингера–Гейзенберга и ОТО), и на существовании предельного перехода этих теорий в классические. При этом авторы высказали предположение, что в “законченной физике” останется только несколько “истинных” мировых постоянных, которые будут играть роль не эмпирических параметров физической теории, как ныне, а “простых коэффициентов размерности”. Гамов, Иваненко и Ландау сформулировали концепцию единой физической теории как cGh теории, хотя формально этот термин у них отсутствовал.

Теория / Постоянные cGh подхода	h	$1/c$	G
Ньютоновская механика (НМ)	$= 0$	$= 0$	$= 0$
Ньютоновская теория гравитация (НТГ)	$= 0$	$= 0$	$\neq 0$
Специальная теория относительности (СТО)	$= 0$	$\neq 0$	$= 0$
Квантовая механика (КМ)	$\neq 0$	$= 0$	$= 0$
Общая теория относительности (ОТО)	$= 0$	$\neq 0$	$\neq 0$
Релятивистская квантовая теория (РКТ)	$\neq 0$	$\neq 0$	$= 0$

Табл. 3. Классификация физических теорий в рамках cGh – подхода

В рамках cGh - подхода отдельные физические теории можно рассматривать как более частные, получаемые отбрасыванием одной, двух, а то и всех трех “истинных” констант. По существу, ГИЛ предложили классифицировать физические теории по степени их фундаментальности в рамках cGh подхода. В табл. 3 эта классификация приведена с учетом развития физики на сегодняшний день. Равенство соответствующей константы нулю означает ее отсутствие в теории. Вместо скорости света в таблице фигурирует ее обратная величина, которую ГИЛ считали истинной, в отличие от самой c .

Известный советский космолог А.Л. Зельманов предложил геометрическую интерпретацию этой классификации в виде куба, опирающегося на оси $h, G, 1/c$. В нем вершина $(0,0,0)$ отвечает ньютоновской механике (см. рис. 34), $(0, G, 0)$ – ньютоновской гравитации, $(0,0, 1/c)$ – специальной теории относительности, $(h, 0,0)$ – квантовой механике, $(0, G, 1/c)$ – общей теории относительности, $(h, 0, 1/c)$ – релятивистской квантовой теории.

В основе классификации лежит Ньютоновская механика (НМ). Она справедлива при описании движения тел со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света, и не распространяется на гравитационные и квантовые явления.

Ньютоновскую теорию гравитации (НТГ) можно рассматривать как обобщение механики Ньютона на область гравитационных явлений. При отсутствии гравитации ($G = 0$) ее уравнения сводятся к уравнениям НМ.

Движения с околосветовыми скоростями – область специальной теории относительности (СТО). Как и механика Ньютона, она не охватывает гравитационные явления. Можно сказать, что СТО является её обобщением. Если скорость движения много меньше скорости света ($1/c = 0$), уравнения СТО переходят в уравнения НМ.

Классическая механика Ньютона неприменима также к явлениям микромира, где действуют законы квантовой механики (КМ). Они справедливы при условии, когда величины, имеющие размерность действия (произведение энергии движущейся частицы на время или произведение количества движения на пройденный путь) сопоставимы с квантом действия h . Если эти величины велики по сравнению с h , действуют законы ньютоновской механики. Таким образом, можно сказать, что КМ – обобщение механики

Ньютона на область микромира. Уравнения НМ получаются из уравнений КМ в пределе $h = 0$.

Итак, три фундаментальные теории – НТГ, СТО и КМ – являются непосредственным обобщением НМ. Каждая из них характеризуется одной мировой постоянной. Для ньютоновской теории тяготения это постоянная тяготения G , для специальной теории относительности – скорость света c (или величина, обратная ей). Для квантовой механики – постоянная Планка h . Ньютонова механика не содержит фундаментальных констант и получается из НТГ, СТО и КМ, если принять входящую в них мировую константу равной нулю. Это и является математическим выражением того, что каждая из трех более общих фундаментальных теорий “содержит” в себе ньютоновскую механику как свой частный предельный случай. Это, так сказать, первый слой обобщений, когда в более общей теории задействована только одна фундаментальная постоянная.

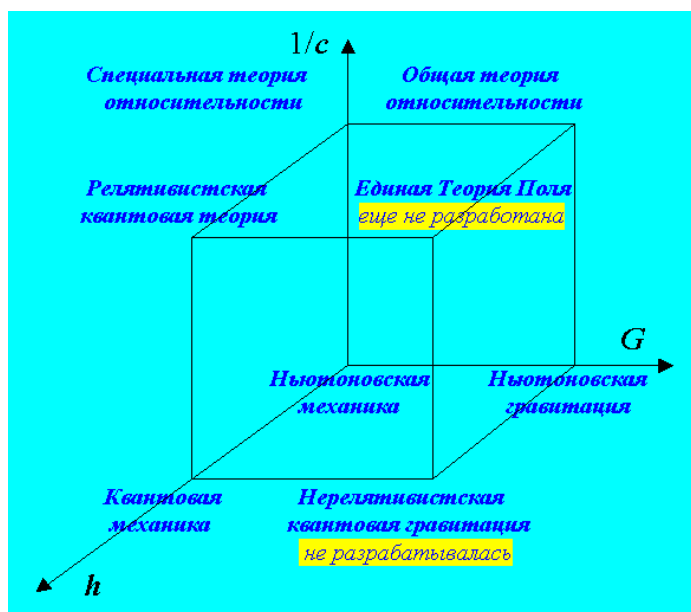


Рис. 34. Куб физических теорий (ГИЛ, А.Л. Зельманов).

Ньютоновская теория гравитации несправедлива при скоростях, близких к скорости света. А специальная теория относительности (справедливая при таких скоростях) не распространяется на гравитационные явления. Обобщением их является общая теория относительности (ОТО). Она характеризуется двумя мировыми постоянными ($G, 1/c$) и является, с одной стороны, обобщением НТГ на случай больших скоростей, а с другой – обобщением (распространением) СТО на мир гравитационных явлений. При отсутствии тяготения уравнения ОТО переходят в уравнения СТО, а при малых скоростях – в уравнения НТГ. Следовательно, НТГ и СТО содержатся в ОТО как ее частные предельные случаи.

Квантовая механика так же несправедлива при больших скоростях частиц. Обобщением ее на случай скоростей, сопоставимых со скоростью света, является Релятивистская квантовая теория (РКТ). Она характеризуется двумя константами - $1/c, h$, и её также можно рассматривать, как обобщение СТО на квантовые явления (на частицы, для которых квант действия сопоставим с h).

Общая теория относительности и Релятивистская квантовая теория выступают в качестве наиболее общих фундаментальных теорий, существующих в настоящее время. Однако и их область применимости ограничена. РКТ не охватывает гравитационные явления, а ОТО не распространяется на квантовые процессы. Обобщением их может стать

Единая теория поля (ЕТП), занимающая четвертую свободную вершину на верхней грани куба. Она характеризуется константами $1/c, h, G$ и должна будет синтезировать в себе шесть предшествующих теорий, каждая из которых включается в неё в виде предельного случая. Зельманов также указал, что ЕТП (сам он называл ее Единой физической теорией) следует использовать, когда существенную роль играют как сильные гравитационные поля, так и квантовые явления, то есть в пространственно-временных масштабах, соответствующих планковским величинам.

Поначалу на рисунке Зельманова отсутствовала восьмая вершина куба, которая была введена позже последователями его идей для полноты этой модели и которая характеризует некую гипотетическую теорию – Нерелятивистскую квантовую гравитацию (НКГ). А.Л. Зельманов писал: “Легко заметить, что наш перечень не включает теорию, основные уравнения которой должны содержать две постоянные – G и h . Эта теория может быть лишь нерелятивистской квантовой теорией тяготения. Но так как гравитационные кванты – гравитоны – должны перемещаться подобно фотонам с фундаментальной скоростью, то квантовая теория тяготения, как и квантовая теория электромагнитного поля, неизбежно должна быть релятивистской. Следовательно, нерелятивистская квантовая теория тяготения должна свестись к неквантовой нерелятивистской теории (т. е. к ньютоновой теории тяготения) и, таким образом, не может существовать как самостоятельная теория”. Сейчас, напротив, построение такой теории считается теоретически возможным. Например, академик Л.Б. Окунь отмечал, что такого рода теория должна описывать взаимодействие гипотетических частиц с массой $10^{-2} - 10^{-1} m_{pl}$.

Куб физических теорий – красивая модель взаимосвязей фундаментальных физических теорий. Его развертку (плоскую схему) в середине 1930-х годов подробно анализировал М.П. Бронштейн, но идейно она, как и пространственный зельмановский рисунок, соответствовала модели Гамова, Иваненко, Ландау. Важнейшим ее значением является указание на существование гармонии и порядка в возводимом учеными здании физики. Единая теория поля, которая должна быть построена на основе трех мировых констант, имеет смысл, существует и будет венчать пирамиду физической науки.

Отдельный вопрос – полнота кубической конструкции. Теория электромагнитного взаимодействия является обобщением квантовой механики и электродинамики СТО. Она – часть релятивистской квантовой теории. С другой стороны, как теория элементарных частиц, она должна также описывать слабое и сильное взаимодействия. В настоящее время все три взаимодействия объединены в рамках Теории великого объединения (ТВО). Казалось бы, ее и следует поставить в вершине куба физических теорий вместо РКТ. Но у электрослабого и сильного взаимодействий есть свои константы, не получившие пока обоснования в рамках CGH подхода. Сам Зельманов подчёркивал: “Схема с тремя константами не раскрывает всех типов взаимодействия. <...> Из всех типов взаимодействия наша схема выделяет тяготение. <...> Выделение гравитационного взаимодействия коренится в его универсальном характере...” Некоторые физики-теоретики на этом основании даже стали называть куб физических теорий физическим фольклором. Но мы бы не торопились так думать. Физический смысл констант для негравитационных типов взаимодействий еще далеко не прояснен, да и в теории элементарных частиц достаточно неясностей. В частности, широко обсуждается вопрос об элементарной длине, которую должна содержать в уравнениях общая теория элементарных частиц. Ее нельзя считать независимой мировой постоянной, так как принципиально мыслим ее вывод на основе CGH подхода. Но тогда эта будущая теория должна охватывать и гравитационные явления, которыми в теории частиц пренебрегают.

Обычно на рисунке куба теорий изображают стрелки, указывающие направление развития физики (например, $НМ \rightarrow НГ, НМ \rightarrow СТО, НМ \rightarrow КМ, СТО \rightarrow ОТО$ и т. д.). Двигаясь вдоль них из начала координат, неминуемо приходишь к Единой теории поля. Эти маршруты движения символически обозначают пути развития физики от простого к

сложному. Теория великого объединения стала блестящим примером такого пути развития. Но, осилив эту промежуточную вершину, физики основательно забуксовали. Дальнейшее восхождение в рамках прежних оснований оказалось невозможным: расширить теорию вплоть до планковских масштабов не удалось. Теория струн в этом смысле соответствует программе “обратного движения”: от планковских величин к масштабам ТВО. Но неизменным остается основополагающий принцип исследования – геометризация физики и использование моделей многомерного пространства.

Нас тоже будет интересовать физика планковских пространственно-временных масштабов, и это будет отправной точкой исследования. Но мы не будем сразу думать о построении Единой теории поля или Общей теории элементарных частиц. Мы начнем с создания модели пустого пространства, того физического вакуума (пустоты), который предшествовал Большому Взрыву. Никаких частиц, участвующих в электродинамическом, слабом или сильном взаимодействиях, очевидно, тогда еще не было, равно как и этих взаимодействий. А вот гравитационная постоянная должна была влиять на свойства первичного Ничто. В соответствии с кубом физических теорий свойства такого состояния Вселенной должны описываться постоянными c, G, h или масштабными величинами Планка l_{pl}, t_{pl}, m_{pl} (см. формулу (0.1)).

Тут самое время вспомнить о том, что Гамов, Иваненко и Ландау, вопреки Максиму Планку, не включили в число мировых констант постоянную Больцмана. Естественно считать температуру первоначального вакуума равной нулю. Тепловые процессы в среде с абсолютным нулем температуры не играют никакой роли. Следовательно, физические параметры первичного вакуума определяются cGh теорией.

4.2. Эфирон – первичная частица Вселенной

Смело верь тому, что вечно,
Безначально, бесконечно...

М. Лермонтов

Человеческий опыт и здравый смысл, свойственный человеку, учат нас, что процесс эволюции предполагает движение от простого к сложному. В этом смысле и начальное состояние нашей Вселенной, кажется, должно иметь понятную и вполне воспринимаемую структуру. Это не должна быть многомерная топологическая (геометрическая) абстракция, несуществующее в настоящий момент гипотетическое поле или формульная абракадабра. Разум требует солнечно прозрачных формулировок. Современная физика, однако, их не предоставляет. Наоборот, будь то теория струн, погружающая нас в мир одиннадцати измерений, или теория инфляции, едва ли понятная самим ее авторам, каждая из них больше отталкивает неспециалистов в космологии и любителей физики, чем привносит ощущение приближения к истине. Столкнувшись с такой в целом пессимистической ситуацией, автор в свое время написал стихотворение:

Рождение мира, жизни, мысли
Не волен разум объяснить.
Его удел угрюмо числить,
А не светло боготворить.

Три вечных тайны у Природы,
И верно, с допотопных дней
Жрецы, пророки и народы
Их мыслят верою своей.

Сопоставление трех величайших проблем естествознания кажется весьма уместным. Каждая из них обозначает качественный скачок, переход Природы в иное, более сложное состояние. Каждая из них сродни чуду, и многолетние неудачи ученых в их объяснении можно воспринимать как проявление некоего принципиального для человека запрета. Во всяком случае, таким настроением дышат строки стихотворения. Но с некоторых пор оптимистические нотки собственных размышлений стали перевешивать, а желание поверить гармонию алгеброй повлекло докопаться до самых начал.

Если происхождение жизни на Земле и абстрактного мышления у человека – проблемы биологические, то рождение Вселенной – чисто физическая тема. Физика – наука о неживой материи, и потому вопрос о происхождении мира более простой, чем два других. К тому же физика – наиболее разработанная в своей полноте естественнонаучная дисциплина. Кому, как не ей, доказать могущество разума?! Такого рода внутренний движитель и подталкивал автора к поиску новых путей решения проблемы.

В чем сложность воссоздания модели первичного вакуума? С одной стороны, это должна быть пустота, то есть отсутствие чего бы то ни было. А с другой – из этой пустоты должны родиться первые материальные частицы, а в конечном итоге и вся Вселенная. Как совместить два эти, казалось бы, исключаящие друг друга положения? Тут впору вспомнить наши сказочные выражения: “пойди туда, не знаю куда”, “возьми то, не знаю что”. Но, как и в сказках, выход есть. В нашем случае это связано с использованием законов квантового мира. Первичный вакуум следует считать заполненным конденсатом неких первичных виртуальных частиц. Но это еще не все. Относительно этих частиц надо предположить, что они являются принципиально ненаблюдаемыми (в любых экспериментах). В таком случае мы сможем удовлетворить обоим требованиям: физическое пространство будет содержать внутри себя некие сущности, но никакими измерениями мы не сможем въявь обнаружить их присутствие. В бытийном (онтологическом) смысле такой вакуум будет непустым (сущностным, содержащим некоторую первичную субстанцию), но в физическом (верифицируемом экспериментальными методами) смысле он будет пустотой. Остается лишь доказать, что такая первичная среда возможна.

Мы принимаем, что теория вакуума должна быть cGh теорией, то есть она:

- релятивистская;
- гравитационная;
- квантовая.

Это означает, что в теорию должны войти три мировые константы: скорость света c , гравитационная постоянная G и постоянная Планка \hbar (именно она присутствует в формулах для планковских величин, и мы будем использовать ее вместо h). Естественно предположить, что в таком случае составляющие вакуум частицы обладают планковскими параметрами: имеют массу m_{pl} , характерный размер l_{pl} и время жизни t_{pl} . Будем называть такие частицы эфиронами.

Отметим сразу же важнейшую особенность этих первичных частиц. Они движутся со скоростью света, проходя за время жизни t_{pl} планковское расстояние $ct_{pl} = l_{pl}$. Специальная теория относительности запрещает частицам, обладающим конечной массой, двигаться со скоростью света. Но здесь самое время постулировать, что планковские масштабы длины и времени выступают в качестве элементарных интервалов длины и времени, существующих в природе. Они обозначают границы установленным закономерностям природы и экспериментальным возможностям человека. По ту сторону этих границ рушатся законы гравитации и электродинамики, теряют силу выводы теории относительности, бездействуют законы квантовой теории. Поэтому движение эфирона со скоростью света в течение элементарного временного отрезка на протяжении элементарной длины ничему не противоречит.

В общей теории относительности вводится понятие “радиус Шварцшильда” (иногда его называют “гравитационным” и обозначают l_{gr}). Это радиус, до которого следует сжать тело массы m , чтобы оно превратилось в черную дыру (сколлапсировало в сингулярность). Формула для него записывается так:

$$l_{gr} = \frac{2Gm}{c^2}.$$

Для частицы с планковской массой покоя ее гравитационный радиус $l_{gr} = 2l_{pl}$, а значит, рассматриваемая частица представляет черную дыру. Но тогда внутренняя структура такой частицы принципиально непознаваема, ОТО налагает на это запрет. Это элементарная черная дыра, и, казалось бы, она должна втягивать в себя все окружающие сущности, но она не успевает этого сделать, поскольку живет на протяжении планковского времени (элементарного интервала).

Но и став стабильной, частица с планковским масштабом длины и планковской массой будет оставаться неизменной. Она характеризуется планковской плотностью ρ_{pl} , которая равна

$$\rho_{pl} \approx \frac{m_{pl}}{l_{pl}^3} \sim 10^{94} \text{ г/см}^3.$$

Это огромная величина. Естественно предположить, что это значение выступает в качестве предельной величины для возможной плотности вещества в мире. Обратим внимание, что это как раз и есть та плотность, которую приписывают плотности вещества в точке сингулярности в момент Большого Взрыва. Черная дыра с такой плотностью в принципе не способна втянуть в себя что-либо и увеличить свою массу.

Дж. Уилер (1955), а чуть позже Г. Салекер и Е. Вигнер (1958) доказали, что планковский масштаб является квантовым пределом общей теории относительности. Таким образом, планковская длина выступает и как граница применимости ОТО, следовательно, модель эфирина не противоречит ей еще и поэтому.

М.А. Марков (1965) предположил, что частица с планковской массой определяет верхний предел (максимальную величину) в спектре масс элементарных частиц, и потому предложил называть ее максимомом. Если поначалу ученый полагал, что максимомы можно каким-то образом связать с кварками, то впоследствии отказался от этой идеи и утверждал, что данные частицы присутствуют на стадии коллапса материи при ее плотности, близкой к планковской. Нам эта идея представляется чрезвычайно привлекательной и плодотворной, и мы к ней вернемся позже. Но здесь подчеркнем принципиальное отличие максимона и эфирина. Первый рассматривается как стабильная частица (с бесконечным временем жизни), а вторая – виртуальная, живущая в течение планковского отрезка времени. Это по поводу релятивизма и гравитации эфирина, теперь о его квантовых свойствах.

В 1936 году роль планковской массы как предела измеримости величин в релятивистской квантовой теории была установлена М.П. Бронштейном. В 1949 году М. Осборн показал, что принцип неопределенности накладывает ограничение для тел конечной массы на измерение кривизны пространства, и нижним пределом для массы точечной частицы выступает именно планковский масштаб.

Эфирон выступает реально существующим объектом, задающим пределы нашему проникновению в микромир. Погрешность в измерении импульса эфирина Δp равна величине его импульса $p = m_{pl} \cdot c$, а погрешность в измерении координаты Δl равна планковской длине l_{pl} . (В случае измерения местоположения принципиально невозможно указать, где внутри отрезка планковской длины находился эфирон.) Переменная

погрешности в измерении импульса и координаты, получим постоянную Планка \hbar . Принцип неопределенности для эфилона превращается в равенство, это важнейший фундаментальный результат.

Схожий расчет можно провести и для времени жизни эфилона. Погрешность в измерении времени $\Delta t = t_{pl}$. Эфирон не только является бесструктурной частицей, но его еще и нельзя зафиксировать. Это самый настоящий фантом, призрак. Погрешность в измерении энергии ΔE равна $m_{pl} \cdot c^2$, а произведение двух погрешностей опять-таки дает постоянную Планка. Не только с точки зрения общей теории относительности, но и с квантомеханических позиций частица с планковскими масштабами не допускает исследования своей внутренней структуры.

Температура первичного вакуума (эфиронного конденсата) равна абсолютному нулю. Третье начало термодинамики постулирует, что состояние системы с нулевой температурой в нашем мире недостижимо. Следовательно, и в термодинамическом отношении модель рассматриваемой нами реальности лежит вне пределов применения физических теорий. Этот первичный мир принципиально недоступен, его реальность можно доказывать лишь косвенным образом, раскрывая его участие в тех или иных физических процессах, доступных наблюдению и изучению.

Эфионы – “простейшие” частицы мироздания, существовавшие в начале начал. Это элементы первичной субстанции, из которой впоследствии образовался весь наш мир. Их можно назвать частицами Бога – структурными “кирпичиками”, положенными в основание мира. Свойства эфилона выделяют его из семейства других элементарных частиц: это единственная частица, все параметры которой определяются через величины мировых констант.

Планковская длина определяет тот масштаб, который виртуальный эфирон проходит от своего рождения. Это характерный размер эфилона. В соответствии с правилами квантовой механики он совпадает с длиной волны де-Бройля, приписываемой частице с планковской массой, движущейся со скоростью света:

$$l_{pl} = \frac{\hbar}{m_{pl} \cdot c}.$$

Эфирон как бы “размазан” на планковской длине. Его виртуальное проявление можно представить как рождение в течение планковского масштаба времени t_{pl} на масштабе l_{pl} сверхплотного состояния с планковской плотностью ρ_{pl} . И вот здесь самое интересное. По существу, эфирон представляет точку сингулярности Большого Взрыва, живущую менее t_{pl} . Конечно, материализация одного эфилона, то есть превращение его в максимон, еще не означает запуск Большого Взрыва и начало процесса сотворения Вселенной. Как говорится, один в поле не воин. Механизм запуска должен быть коллективным, да и роль планковского масштаба следует держать в уме. В одиночку “взорвать” мир ему не под силу. Но трудно отделаться от мысли, что мы уже на полпути к пониманию механизма Большого Взрыва.

Физики, следуя Максиму Планку, рассматривают также еще одну планковскую величину – планковскую температуру, определяя ее так:

$$T_{pl} = \frac{E_{pl}}{k} = \frac{mc^2}{k} = \frac{1}{k} \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G}} = 1,42 \cdot 10^{32} \text{ K},$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-16}$ эрг/К - постоянная Больцмана. А.Д. Сахаров (1966) рассматривал эту температуру как абсолютный максимум температуры, находящейся в равновесии с излучением. В 1995 году Д.А. Киржниц в комментарии к изданию научных работ Сахарова отметил, что, согласно инфляционной модели Вселенной, “вывод о

существовании максимальной температуры неизбежен”, однако механизм появления T_{max} иной и $T_{max} \ll T_{pl}$.

Нам представляется это еще одним изъяном теории инфляции. Начальное состояние Вселенной не должно определяться случайными величинами. Исповедуя это положение как основополагающий физический принцип, мы принимаем, что максимально возможная температура совпадает с планковской и реализовывалась в точке сингулярности. Подчеркнем, что он является естественным дополнением $c\hbar$ - подхода.

Таким образом, планковские масштабы характеризуют предельно достижимые в природе значения:

- планковское время – минимальный интервал времени;
- планковская длина – минимально измеримое расстояние;
- планковская масса – максимальная масса элементарных частиц;
- планковские плотность и температура – максимальные значения, достигавшиеся в момент Большого Взрыва в точке сингулярности.

Каждому эфирону соответствует квантовая ячейка пространства-времени с масштабами l_{pl}, t_{pl} . Отдельному эфирону можно приписать момент импульса

$$m_{pl} c \cdot l_{pl} = \hbar. \quad (4.1)$$

Это означает, что эфирыны – бозоны. Таким образом, модель первоначального физического вакуума (физической пустоты) представляет бозе-конденсат частиц с планковскими параметрами, находящийся при температуре абсолютного нуля.

Квантовый “газ” эфиронов – это и есть тот самый неведомый гравитационный эфир, о котором думали Ньютон и его единомышленники. Он существует, но его нельзя обнаружить. Он – нечто по имени Ничто. В нем нельзя ввести систему отсчета, поскольку каждый эфирон живет меньше, чем необходимое время для его фиксации. Все, как и положено для вакуума. Но в то же время эта Пустота представляет и особый тип физического пространства, не придуманного, вымышленного, а самого что ни на есть настоящего, истинного, свойства которого основаны на трех мировых постоянных.

4.3. Дискретное пространство-время

Я же <...> просто хочу придумать такой мир, в котором все было бы понятно даже самым грубым умам и который все-таки мог бы быть создан точно так, как я это вообразил.

Р. Декарт

Философские вопросы, как правило, далеки от простого человека. Он мыслит категориями, прозрачными на быденном уровне. Вот и пространство для него – это мир, растворенный в трех измерениях, а время – жизнь, отсчитываемая в непрерывной череде событий. Другое дело – наука, навязывающая каждый раз и “основное блюдо”, и приправы к нему.

Первая законченная теория пространства – геометрия Евклида, изложенная в его знаменитых “Началах”. Созданная более полутора тысяч лет назад, она оперирует идеальными математическими объектами, и в этом смысле пространство в ней – идеальное, математически абстрактное пространство. Вплоть до середины XIX века, до открытия неевклидовых геометрий, никто из естествоиспытателей не сомневался в тождественности реального физического и евклидова пространств.

Правда, вопрос о бесконечности пространства имел свои нюансы. В космологии долгое время господствовало представление о сфере неподвижных звезд. И Клавдий Птолемей, и Николай Коперник строили свои системы в рамках ограниченного ею пространства. Философские аргументы Джордано Бруно подготавливали почву для признания бесконечности Вселенной. Но ни Галилей, ни Декарт, придумавший координатную систему, не признавали этого факта. Лишь Ньютон на основе закона всемирного тяготения утвердил понятие о бесконечном пространстве, заполненном объектами, связанными между собой силами тяготения. В 1687 году вышел основополагающий труд Ньютона “Математические начала натуральной философии”, более чем на два столетия определивший развитие естественнонаучной картины мира. Если Евклид проводил доказательства в мире идеализированного (абстрактного математического) пространства, то в ньютоновских “Началах” пространство и время выступают в качестве самостоятельных, независимых от материи субстанций. Пространство считается бесконечным, плоским, евклидовым. Оно – абсолютное и пустоеместилище материальных тел, подобно “ящику” без стенок. Как ящик может быть пустым, так и для абсолютного пространства неважно, существуют ли помещенные в него тела. Абсолютное пространство есть независимая от этих тел система отсчёта. Время также полагается абсолютным, равномерно текущим единообразно и синхронно во всей Вселенной. Это независимый от материальных процессов и объектов процесс длительности. Все возможные процессы могут протекать только “внутри” этой абсолютной длительности. Абсолютное пространство и время выступают в качестве системы координат в классической механике. В других системах отсчета, движущихся равномерно и прямолинейно относительно нее (и называемых инерциальными), физические процессы описываются схожим образом (принцип инерции Галилея).

При движении тела со скоростью, близкой к скорости света c , эти понятные и привычные для человеческого восприятия свойства пространства и времени уже нуждаются в корректировке. В специальной теории относительности течение времени зависит от пространственных координат. Рассматривать свойственные ей явления удобнее в четырехмерном пространстве-времени (пространстве Минковского), где наряду с тремя декартовыми координатами евклидова пространства x, y, z вводится временная переменная в виде ict , здесь i – мнимая единица, t – время, а связь между пространственными расстояниями и промежутками времени характеризуется квадратом интервала s :

$$s^2 = c^2(t_1 - t_0)^2 - (x_1 - x_0)^2 - (y_1 - y_0)^2 - (z_1 - z_0)^2 = c^2(\Delta t)^2 - (\Delta r)^2 = const.$$

Индексы координат относятся к двум разным точкам пространства-времени. В разных инерциальных системах отсчета величина s^2 остаётся постоянной, но временной промежуток между событиями Δt и пространственный отрезок Δr изменяются по величине. Интервал в пространстве Минковского играет роль, аналогичную роли расстояния в евклидовой геометрии. Он инвариантен при замене одной инерциальной системы отсчета на другую так же, как обычная длина инвариантна в евклидовом пространстве.

Еще более сложную модель пространства-времени предлагает общая теория относительности. Согласно ей массивные тела искривляют (деформируют) “ткань” пространства и замедляют течение времени, так что свойства пространства-времени описываются метрическим тензором второго ранга (10 его независимых компонент определяют теперь элемент интервала). Построенные на общих основаниях, теории относительности исключили из науки понятие абсолютного пространства и абсолютного времени, обнаружив несостоятельность субстанциальной трактовки пространства и времени как самостоятельных, независимых от материи форм бытия. Показав зависимость пространственно-временных свойств от материальных систем, они стали основанием для

трактовки пространства и времени как основных форм существования материи. Сам Эйнштейн, отвечая на вопрос о сущности теории относительности, говорил: “Суть такова: раньше считали, что если каким-нибудь чудом все материальные вещи исчезли бы вдруг, то пространство и время остались бы. Согласно же теории относительности вместе с вещами исчезли бы и пространство, и время”.

В свете нашего исследования к вопросу о субстанциональности пространства и времени следует вернуться. Начнем с того, что если бы “каким-нибудь чудом все материальные вещи исчезли бы вдруг”, то остался бы гравитационный эфир – тот самый бозе-конденсат эфиронов, о котором шла речь в предыдущем разделе. Сингулярность Большого Взрыва имела свою предысторию, связанную с внутренней динамикой эфиронного конденсата. Этим пренебрегать никак нельзя. А отсюда следует, что и пространство, и время существовали и до Большого Взрыва. С исчезновением вещей пространство и время, вопреки утверждению Эйнштейна, не исчезнут. Раньше считали правильно! Эйнштейн строил свою теорию гравитации в абсолютно пустом пространстве. Его ОТО некантовая, пределом ее применимости выступает планковский масштаб – характерный размер эфирона, и потому она принципиально не смогла “ухватить” следы квантовой реальности, первичного вакуума, который существовал ранее всего.

Теории относительности запустили программу геометризации физики. Безусловно, это направление исследований оказалось чрезвычайно плодотворным и привело к созданию целого ряда выдающихся теорий. Но пространство-время Минковского, равно как и искривленное тяготением пространство ОТО, - не более чем математические абстракции, удобные для вычислений. В книге “Последние мысли” Анри Пуанкаре писал: “Теперь некоторые физики хотят принять новое соглашение (имеется в виду объединение понятий “пространства” и “времени” в понятие “пространство-время”. – А.А.). Это не значит, что они вынуждены были это сделать; они считают это новое соглашение более удобным, вот и все; и те, кто не придерживается этого рода мыслей, могут вполне законно сохранить старый, чтобы не нарушать своих старых привычек”. Казалось бы, все понятно, но школьников и студентов в XX веке этим “старым привычкам” уже никто не учил, релятивизм победным маршем перепахал умы поколений. Не счесть людей, включая писателей, поэтов, художников, увлекшихся идеей существования четвертого измерения. Физики активно способствовали этому, публикуя статьи о кротовых норах, машинах времени, мультивселенных и других экзотических объектах. Фотография Эйнштейна с высунутым языком до сих пор украшает кабинеты ученых и часто появляется на страницах научно-популярных журналов.

В пространстве Минковского координата времени имеет множителем мнимую единицу, уже одно это указывает на ее искусственное происхождение. Не случайно метрику Минковского еще называют псевдоевклидовой (“псевдо” происходит от греческого *pseudos* – ложь, вымысел). Мнимая координата времени – математический фантом, оригинальная придумка, не более. Эффекты СТО и ОТО будут справедливы и в обычном трехмерном пространстве. Космологические эксперименты все с большей и большей точностью доказывают, что наша Вселенная – плоская, и когда кто-то из физиков говорит, что мы живем в четырехмерном пространстве-времени, он выдает желаемое за действительное. Это просто “удобное соглашение”. Реальность абсолютного пространства-времени, предложенная Минковским, всегда неохотно воспринималась физиками. Редко кто из них излагает не только специальную теорию относительности, но и общую теорию относительности, начиная с постулирования данности мира в форме реально существующего четырехмерного пространства-времени. Чаще говорится о четырехмерном мире как об удобной математической модели, в рамках которой хорошо описываются меняющиеся со временем вещи, находящиеся в пространстве. Другими словами, физика остается сугубо ньютоновской с допущением множества часов с независимым ходом течения времени в различных физических системах отсчета.

Реальность устроена богаче, чем это предполагают теории относительности. В действительности материальный мир встроен в пространство квантового вакуума. Такую сплошную среду рассматривали ранее философы и ученые, и ей есть название: дискретное пространство-время. Излагая вкратце историю его введения и важнейшие его свойства, будем ориентироваться на книгу А.Н. Вяльцева с точно таким же названием. Изданная впервые в 1965 году и дважды переизданная через 40 с небольшим лет издательством “Комкнига”, она служит образцом блестящего методико-исторического исследования и не потеряла актуальности в наше время. Для удобства изложения мы опустим многочисленные ссылки на мыслителей, обсуждавших идею дискретного пространства-времени (их читатель найдет в указанной книге).

Атомистическая концепция вещества – одна из наиболее популярных и разработанных теорий физики. История ее рождения и развития прекрасно изучена физиками. Вместе с тем, как пишет Вяльцев, “есть основание полагать, что вначале древнегреческое слово “атом” было введено в смысле “атом пространства” и “атом времени”. В истории научного атомизма можно выделить три этапа:

- построение атомистической теории вещества;
- установление атомистической теории электричества;
- появление квантовой теории.

Каждый из этапов был скачком в познании физической реальности. Ричард Фейнман, напомним, утверждал, что самой главной научной истиной, которую следовало бы передать грядущим поколениям живых существ, является атомная гипотеза. Но к ней мы основательно привыкли. К электрону как составной части атома тоже достаточно быстро привыкли, и элементарность его заряда (квантованность) легко впечатывалась в сознание еще одним, дополнительным постулатом. Другое дело открытие Планка, предложившего квантовать энергию. Здесь дело пахло мировоззренческими потрясениями. Да, изначально гипотеза Планка применялась к весьма ограниченному кругу микросистем. Но где проходит эта граница и почему бы не перенести этот подход на весь материальный мир? Именно в таком ключе рассуждал Анри Пуанкаре в закатной книге “Последние мысли”. Он предположил, что скачки различных микросистем совершаются не вразнобой, не в беспорядке, а синхронно, подчиняясь единому ходу мировых часов. Тем самым Вселенная уподоблялась грандиозной квантовой системе, совершающей периодические пульсации из одного состояния в другое. “В промежутках между этими скачками, - писал он, - Вселенная остается неподвижной, различные моменты времени, в течение которого сохраняется это неизменное состояние Вселенной, очевидно, не могут быть отличены друг от друга. Мы приходим, таким образом, к прерывному течению времени, к атому времени”.

Если признать возможность квантования времени, резонно задуматься, а возможно ли это для пространственных координат? Ограничение, накладываемое принципом неопределенности Гейзенберга, позволяет производить измерение с любой степенью точности, оно ограничивает только точность измерения сопряженной величины. Согласно этому принципу мы можем выбрать любую сколь угодно малую погрешность в измерении расстояния. Но такое толкование экспериментальных измерений нельзя признать удовлетворительным. “История физики учит, что все неограниченное приходится в конце концов ограничивать; поэтому кажется правильным дополнить и условие Гейзенберга признанием некоторых абсолютных пределов точности измерений. Если подобное признание распространяется на пространственные координаты, мы приходим к представлению о зернистой структуре пространства; распространив его на временные координаты, придем к представлению о зернистой структуре времени” (Вяльцев А.Н. Указ. соч.).

Выбрав в качестве квантов пространства и времени планковские масштабы, мы в точности выполняем установки данной исследовательской программы. Планковская длина и планковское время – элементарные интервалы дискретного пространства-времени

(первичного вакуума). В отличие от пространства Минковского это пространство трёхмерное. Эфирон в нем соответствует кубической ячейке со стороной, равной планковской длине. Данная квантовая модель пространства отличается от “топологической пены”, которую ввел в рассмотрение Джон Уилер. Это не пустота с “туннелями” между различными областями, а обычный трехмерный мир, заполненный виртуальными частицами с планковскими масштабами.

Макс Планк полагал в качестве фундаментальных физических величин постоянные c , G , \hbar и ввел знаменитые масштабы, названные в его честь, через их числовые значения. Вместе с тем многие физики высказывали сомнения в фундаментальности гравитационной постоянной G . В отличие от двух других констант с ней нельзя связать масштаб какой-либо физической величины. Отмечая это уже давно обсуждаемое обстоятельство, мы предлагаем пересмотреть вопрос о ее фундаментальности. В самом деле, более естественно соотносить три основополагающие мировые константы с параметрами эфилона – частицы первичного вакуума. Ими будут:

c - скорость движения эфилона;
 l_{pl} – пространственный масштаб эфилона;
 \hbar - момент импульса эфилона.

Все эти величины относятся к одной и той же первичной частице, которая существовала прежде всего.

Для произвольной микрочастицы принцип неопределенности Гейзенберга формулируется в виде нестрогого неравенства, в правой части которого стоит постоянная Планка \hbar (смотри формулу (3.1)). Но для эфилона этот принцип записывается в виде строгого равенства. Это указывает на выделенность планковской длины и планковского времени из всех других возможных интервалов длины и времени. Мы полагаем их квантами дискретного пространства-времени.

Философы, обсуждая свойства дискретного пространства и времени, выделяют три его свойства.

1. *Изотахия*. Аристотель утверждал, что, допуская бесконечную делимость времени, мы неизбежно приходим к бесконечной делимости пространства. Значит, они оба либо непрерывны, либо прерывны. В рамках дискретной концепции пространства и времени возможно движение только с одной скоростью.

В самом деле, обозначим неделимые интервалы через ρ и τ . Частное ρ/τ даст некоторую определенную скорость. Для скорости в два раза большей надо взять $2\rho/\tau$, но это значит, что элемент пути ρ пройден телом за полуинтервал времени $\tau/2$. Тем самым полуинтервал времени получил реальное бытие, что противоречит исходному предположению о неделимости τ . Для скорости в два раза меньшей запишем: $\rho/2\tau$, т. е. за элемент времени τ пройден путь $\rho/2$. Теперь полуэлемент приобрел реальный смысл, что несовместимо с нашим исходным предположением о неделимости ρ . Таким образом, концепции дискретности пространства и времени противоречит как скорость, большая ρ/τ , так и скорость, меньшая ρ/τ . Отсюда следует, что в рамках данной концепции возможно движение только с одной–единственной скоростью ρ/τ .

В утверждении этого факта и состоит свойство равноскоростного движения, или свойство изотакхии (от греческих слов $\acute{\iota}\sigma\omicron$ – равный и $\tau\acute{\alpha}\chi\omicron\varsigma$ – скорость). Отметим, что благодаря этому свойству признание дискретности только пространства или только времени немедленно влечет за собой аналогичное заключение и относительно соответственно времени и пространства, как это следует из формулы $\rho/\tau = const$.

Концепция дискретности утверждает существование пространственных и временных интервалов, которые ни при каких условиях не могут быть даны нам в опыте своими долями, и предсказывает движение тел с одной–единственной скоростью. Если бы удалось каким-либо способом обнаружить, что элементарные частицы могут

перемещаться только с некоторой всегда одной и той же скоростью, мы имели бы, очевидно, ясное и недвусмысленное подтверждение концепции дискретного пространства-времени.

Многим мыслителям, начиная с древнейших времен и до самого последнего времени, принцип изотаксии казался нелепостью. Действительно, принцип, утверждающий возможность движения тел с одной–единственной скоростью, как будто находится в явном противоречии с наблюдаемым повсюду разнообразием скоростей. Но ряд отдельных мыслителей, напротив, считали этот принцип вполне приемлемым и открыто провозглашали его. Например, Эпикур говорил: “Атомы движутся с равной быстротой, когда они несутся через пустоту, если им ничего не противодействует”; поэт Лукреций вторил своему учителю, утверждая, что

... все, проносясь в пустоте без препятствий,
Равную скорость имеет.

Древнегреческий врач и философ Секст Эмпирик (вторая половина II века) отмечает: “Когда тело пробегает одно неделимое места за одно неделимое времени, все движущееся окажется равной скорости, как, например, быстреейшая лошадь и черепаха”. Совершенно в этом же духе звучит свидетельство его соотечественника Симпликия (первая половина VI века): “Сторонники Эпикура считают, что ввиду существования неделимых интервалов все движется с одинаковой скоростью, так как иначе неделимые, оказавшись разделенными, перестали бы быть неделимыми”.

Лукреций в трактате “О природе вещей” пишет:

Первоначала <...>
Явно должны обладать быстротой совершенно безмерной,
Мчась несравненно скорей, чем солнца сияние мчится,
И по пространству лететь во много раз дальше в то время,
Как по небесному своду проносятся молнии солнца.

“Научная основа для отождествления уникальной скорости принципа изотаксии с определенной физической величиной впервые появилась только в XIX веке. Уже в оригинальных гипотезах Фиц-Джеральда и Лоренца об изменении пространственных и временных интервалов в результате движения тела, а также в преобразованиях Лоренца - вообще всюду, где фигурирует радикал $\sqrt{1 - v^2/c^2}$, с полной отчетливостью проявился тот факт, что величина c , имеющая размерность скорости, является универсальной константой природы, полагающей верхний предел для скоростей материальных тел. Это была первая в истории науки скорость-уникум, скорость-предел, скорость – мировая константа; поэтому она с гораздо большими шансами, чем какая-нибудь другая величина, была способна претендовать на роль фундаментальной скорости принципа изотаксии. То обстоятельство, что c необыкновенно велика, несравненно больше всех наблюдаемых скоростей, еще более укрепляет это предположение, ибо находится в согласии с духом принципа. Обычное толкование c как скорости света в пустоте, конечно же, не может служить препятствием для нашего предположения, а только укрепляет его. Многое, таким образом, говорит в пользу того, что с появлением в науке величины c перед принципом изотаксии раскрылись новые интригующие возможности” (Silberstein L. Discrete Spacetime. Toronto, 1936. P. 17, 45; Вяльцев А.Н. Указ. соч.).

Мы со своей стороны должны указать на более глубокий смысл величины c . Первичный вакуум предшествовал Большому Взрыву и первым проявлениям электромагнетизма. В силу этого для скорости c более естественной становится интерпретация ее как скорости движения элементарных частичек вакуума. Волны (гравитационные и электромагнитные) распространяются в этой вакуумной среде со

скоростью заполняющих ее частиц. Более чем логично, что скорость распространения волновых возмущений в среде, где все частицы движутся с одинаковой скоростью, равна этой скорости. Опять-таки преобразования Лоренца и формулы специальной теории относительности математически описывают организованную определенным образом структуру электромагнитного вакуума (эфира) и в этом смысле вторичны.

2. Свойство *кекинемы* (от греческого *κεκινησθαι* - продвинувшееся). Коль скоро для элементарных пространственно-временных интервалов не имеют смысла понятия “начало”, “середина”, “конец интервала”, для элементарного движения соответственно не должны иметь смысла понятия “начало”, “середина” и “конец движения”. Нельзя различать отдельные стадии.

Александр Афродисийский, перипатетик III века н.э., говорит о последователях Эпикура: “Утверждая, что и путь, и движение, и время состоят из неделимых частиц, они утверждают также <...> что на каждом из неделимых путей движения нет, а есть только результат движения”. Немецкий математик-универсал Давид Гильберт указывал: “Мы отнюдь не обязаны верить, что пространственно-временная картина движения имеет физический смысл для сколь угодно малых областей пространства и времени; напротив, есть все основания сомневаться в том, что деление движения до бесконечности будет давать нам нечто такое, что по-прежнему можно назвать движением”.

Кекинема обозначает свойство принципиальной ненаблюдаемости движения на элементарной длине в течение элементарного отрезка времени. В качестве таковых мы выбрали планковские масштабы длины и времени. Соотношение неопределенностей Гейзенберга исчерпывающим образом решает вопрос о невозможности для человека наблюдать элементарное движение элементарных частиц, но, целиком основанное на анализе измерительных возможностей, оно оставляет совершенно открытым вопрос о том, как ведут себя частицы сами по себе, когда на них никто не смотрит. Двигутся ли они по траекториям в обычном смысле слова? Концепция дискретного пространства и времени по своему содержанию богаче соотношения неопределенностей Гейзенберга: она утверждает не только ненаблюдаемость элементарного движения, но и невозможность, несуществование его как непрерывной последовательности положений тела. Элементарное движение не существует, поэтому оно не может быть наблюдаемо.

Если две частицы разделены планковской длиной или еще меньшим расстоянием, то невозможно определить позиции каждой из них. Более того, любые эффекты квантовой гравитации на этом масштабе (если они вообще есть) не могут быть доступны науке, так как там само пространство не определено должным образом. В некотором смысле можно сказать: даже если бы мы разработали методы измерений, способные “заглянуть” в эти масштабы, мы никогда не смогли бы измерить что-либо меньшее, вне зависимости от дальнейшего совершенствования наших методов и оборудования.

3. Свойство *реновации* или *возобновления* (от латинского *renovatio* – возобновление). Принцип реновации в неявном виде содержится в любой формулировке свойства кекинемы. Приведем ее, например, в аристотелевой форме: “По неделимому пути ничто не может двигаться, а сразу же является продвинувшимся”. Согласно этому положению движение частицы происходит таким образом, что в некоторый начальный момент времени частица находится в начале пути, а по истечении элементарного промежутка времени оказывается в конце элементарного пути, причем не появляясь в промежуточных точках. Подобный способ движения, когда собственно и перемещения-то нет, а есть только его конечный результат, можно охарактеризовать как ряд последовательных исчезновений и рождений частицы.

Свойство реновации для виртуальной частицы неприложимо. Она исчезает через элементарный интервал времени, и в конечной точке перемещения не возрождается. Это особенность виртуального дискретного пространства-времени. Данное обстоятельство означает, что мы ни с каким его объектом не можем связать систему отсчета. Все, как и положено для вакуума.

4.4. Самая знаменитая формула физики

То, что скажу тебе, не блажь, не болтовня,
Внемли моим словам, свою главу склоня.
То, что скажу тебе, не терпит возраженья,
И ты не возражай, не огорчай меня!

Бабур

Жизнь современного человека подобна судьбе элементарной частицы, разгоняемой на ускорителе. Скорость принятия решения, контрольные сроки их документального оформления и, главное, заданные рамки творческих решений заставляют его “кормиться” поверхностной информацией, будь то политика, экономика, искусство или наука. Есть даже детский фокус, когда испытуемому вручается свернутый листок бумаги, а потом в быстром темпе задаются три вопроса, требующие назвать любую птицу, писателя и ученого. Как правило, в ответе фигурируют “курица, Пушкин и Эйнштейн” – как раз те слова, которые записаны на листке. Удивление участника опроса обычно беспредельно, но он попросту попался на провокацию. В большинстве ситуаций нам лень лишний раз напрягать ум, мы настроены на формулировку простейших версий и начинаем вникать по существу только тогда, когда нам скажут, что ответ неверен. То же самое происходит и с решением большинства задач, которые нам предлагают в качестве испытания. Лишний вопрос, лишняя проблема – это обуза, которая займет и время, и силы. Вот поэтому мы очень доверчивы и предпочитаем жизнь в мире мифов и легенд, не вникая по существу в их происхождение и внутреннее содержание. Пишу это совсем не потому, что хочу кого-то обидеть. Как дитя современной цивилизации, автор и сам такой.

Но есть у нас вместе с тем и внутренние, интуитивные предчувствия, которые настраивают на сдержанное отношение к некоторым прописным истинам. Они занозой сидят в мозгу и заставляют его вскипать при подробном обдумывании вопроса. Одна из таких заноз – восприятие формулы Эйнштейна, самой знаменитой формулы физики. Даже люди, никогда не открывавшие учебник физики, могли видеть ее на футболках, чашках и т. д. Записывается она так:

$$E_0 = mc^2. \quad (4.2)$$

где E_0 – энергия покоя тела, m – его масса, а c – скорость света в вакууме. Масса тела не меняется при его движении и с точностью до постоянного множителя c^2 равна энергии, содержащейся в покоящемся теле. Этот принцип эквивалентности массы и энергии покоя со школьных времен оставался для меня не вполне понятным. Казалось бы, чего проще. Мой нынешний вес – 82 килограмма, скорость света известна, значит, моя энергия покоя равна приблизительно $7,4 \times 10^{18}$ джоулей. Это очень большое число, оно особо впечатляет, если к семидесяти четырем приписать семнадцать нулей справа. Для справки: эта энергия в 100 тысяч раз больше энергии, выделившейся при бомбардировке Хиросимы (к большим величинам легко привыкнуть, придумывая для них сокращенные обозначения вроде “мега”, “гига”, “тера”).

В формуле Эйнштейна удивляет присутствие скорости света. Почему энергия покоя связана с ней? И почему это скорость света в вакууме, а не в какой-то другой среде? Может, в этом проявляется связь материального мира с его вакуумным прошлым? Энергию покоя следует соотносить с внутренней энергией тела. Но неужели внутри тела запрятаны какие-то микроструктуры, характеристикой которых служит скорость света? Формула (4.2) включает скорость света, она – следствие специальной теории

относительности. Но релятивистские эффекты проявляются, когда тело начинает двигаться со скоростью, близкой к скорости света. В нашем же случае оно покоится. Спрашивается, какая субстанция поучаствовала в “закачке” в тела релятивистской энергии?.. Меня всегда удивляло, что нигде на это не обращалось внимания.

Есть в формуле (4.2) и еще одна странность. В классической механике энергия покоящегося тела может быть, как положительной, так и отрицательной: она определена с точностью до постоянной величины. Но величина E_0 всегда положительна, и это порождает еще один вопрос: в чем причина ее “неклассичности”?

Формула (4.2) справедлива и для элементарных частиц. Она объект квантового мира, в законах которого царствует постоянная Планка. Но выражение для энергии покоя микрочастиц не содержит этой постоянной. Универсальность принципа эквивалентности массы и энергии воистину впечатляет.

На формулу (4.2) интересно взглянуть также с точки зрения молекулярно-кинетического описания. Представим, что энергия покоя некоторого физического объекта складывается из усредненных энергий составляющих его частиц. Будем считать частицы тождественными и невзаимодействующими между собой. Примером такой системы служит, например, идеальный газ. Молекулы в газе могут двигаться с разными скоростями, но в состоянии равновесия в системе частиц устанавливается вполне определенное распределение по скоростям движения (распределение Максвелла). Формула (4.2) диктует иное (равномерное) распределение. Каждая из гипотетических частиц должна двигаться с постоянной скоростью, равной скорости света. С физической точки зрения такая система частиц выглядит в высшей степени странной и нереализуемой, поскольку специальная теория относительности запрещает массивной частице разогнаться до скорости света. Но именно таким свойством обладают наши ансамбли эфиронов. Да, это виртуальные частицы, и время их жизни порядка планковского времени. Но они характеризуют реальное физическое пространство, задавая его квантовые масштабы длины и времени, а также энергию элементарной (планковской) ячейки пространства. Не будем скромничать, у нас появляются очень серьезные основания для объяснения самой красивой формулы физики. Во всяком случае, открывается возможность для наполнения ее новыми образами, диктуемыми логикой нашего исследования.

Будем измерять массу тела в долях планковской массы, то есть поставим величине m в соответствие некоторое безразмерное число

$$N = \frac{m}{m_{pl}}, \quad (4.3)$$

оно определяет, сколько частиц с планковской массой смогут уравновесить данное тело. Поскольку число N определяет долю эфиронов, составляющих данную массу, то его логично назвать эфиронным числом. Планковская масса, разумеется, не является минимально возможной, но почему бы ей не быть квантом массы? Ведь это масса элементарной ячейки пространства, и она должна участвовать в объяснении гравитации. Логика исследования ведет нас к мысли, что планковская масса выступает меркой в мире масс. Эфиронное число при этом может принимать любые положительные значения, не обязательно целые. Для электрона, например, $N_e \approx 4,3 \times 10^{-23}$. Такая “квантизация”, стоит признать, выглядит непривычно, но она придает величине массы фундаментальный физический смысл. Масса определяется как произведение планковской массы на эфиронное число, выступающее эквивалентом массы тела. Давая такое определение, мы привязываем массу к одной из фундаментальных мировых постоянных. Если ранее для нее вводились “искусственные” эталонные величины – 1 грамм, 1 килограмм и т. д., то наш подход выявляет истинный, содержательный смысл массы. Каждое материальное тело погружено в гравитационный эфир, состоящий из виртуальных частиц (эфиронов). Масса тела – это масса определенного числа этих первичных частиц (квантов массы).

Используя язык квантовой теории поля, можно сказать, что каждое тело одновременно испускает и поглощает N эфиронов (N квантов массы).

Выражение для энергии покоя с учетом соотношения (4.3) переписывается так:

$$E_0 = Nm_{pl}c^2 = NE_{pl}. \quad (4.4)$$

Теперь она выражается через энергию частицы с планковской массой и эфиронное квантовое число, которое можно приписать телу массы m . Энергия покоя тела, как и его масса, определяется некоторой долей энергии эфирона (планковской энергии), опять-таки являющейся комбинацией фундаментальных мировых постоянных. Предложенная интерпретация формулы для энергии покоя представляется крайне важным (пусть косвенным) доводом в пользу существования эфиронов.

4.5. “Братья” эфирона

Гляжу на будущность с боязнью,
Гляжу на прошлое с тоской
И, как преступник перед казнью,
Ищу кругом души родной...

М. Лермонтов

Эфирон – новая элементарная частица. В силу самого своего определения как виртуальной частицы вакуума он принципиально ненаблюдаем. Мы можем лишь попытаться проследить, какие с ним связаны эффекты и к каким следствиям приводит учет эфиронных колебаний вакуума. Этому как раз и будут посвящены следующие главы. Но в этом разделе мы хотим, восстанавливая историческую справедливость, рассказать о более ранних работах, в которых вводились частицы с планковской массой. Такого рода частицы рассматривали академик Моисей Александрович Марков (1908–1994) и Кирилл Петрович Станюкович (1916–1989) еще в середине 60-х годов прошлого века. Оба они считали, что частица с планковской массой и планковским размером может реально существовать в природе, как стабильная частица.

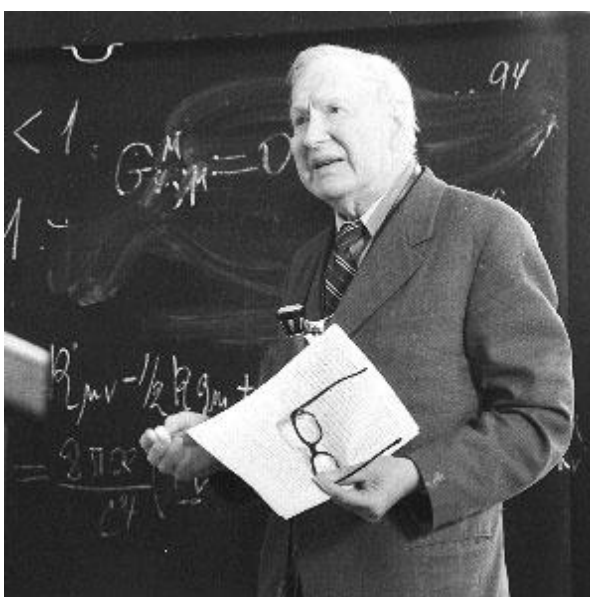


Рис. 35. Академик Моисей Александрович Марков

Академик Марков предположил, что частица с планковской массой (напомним, она обладает свойствами черной дыры) определяет верхний предел (максимальную величину) в спектре масс элементарных частиц, и потому предложил называть ее максимомом. Не только с квантомеханических позиций, но и с точки зрения общей теории относительности частица с планковскими масштабами как черная дыра не допускает исследования своей внутренней структуры (смотри раздел 4.2). Для будущего изложения важно указать, что рождение максимона (в нашей картине первичной Вселенной) возможно, если эфирон проживет больше планковского времени, то есть станет наблюдаемой частицей.

Станюкович независимо пришел к идее существования частиц с планковскими масштабами, но называл их планкеонами (в честь Макса Планка). Для того чтобы радиус Шварцшильда для частицы совпал с планковской длиной, он положил ее массу равной половине планковской массы. В отличие от Маркова он считал, что эти стабильные частицы, пусть и в достаточно малом количестве, существуют повсеместно. В книге “Сила, что движет миром”, популярно излагающей теорию К.П. Станюковича, про планкеоны смело говорится: “Они могут существовать и среди твердого вещества, и в жидкости, и в межпланетном пространстве. Их можно обнаружить и в далеком космосе, и в центре земного шара”. По мысли ученого, планкеоны находятся в “спящем состоянии”, но время от времени “раскрываются”, высвобождая огромную энергию. К обсуждению этой идеи мы вернемся в следующей главе.



Рис. 36. Доктор физико-математических наук Кирилл Петрович Станюкович

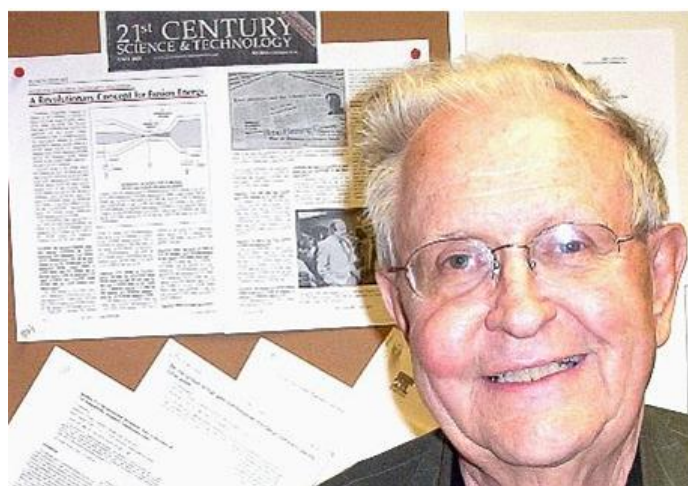
Вводимый нами эфирон определяется как виртуальная частица и тем самым кардинально отличается от максимона (планкеона). Марков и Станюкович для своих частиц воспользовались только двумя планковскими масштабами – массой и линейным масштабом. В этом отношении оба физика оказались не слишком последовательны. В отличие от них мы приписываем “планковской” частице еще и конечное время жизни t_{pl} . Такие частицы составляют вакуум. Это сгустки энергии (массы), возникающие и умирающие практически мгновенно, и этим своим свойством они решительно отличаются от максимонов (планкеонов). К тому же, если максимон (или планкеон) всегда движется с досветовой скоростью, то скорость нашей (виртуальной планковской) частицы в точности равна скорости света c . Ввиду наличия столь существенных отличий нам видится вполне оправданным введение нового термина “эфирон” для виртуальной частицы, обладающей всеми тремя планковскими масштабами. В таблице 4 сведения об этих частицах сведены вместе.

Частица, ученый	Масса покоя	Размер	Время жизни (тип частицы)	Скорость	Где гипотетически существует?
Максимон, М.А. Марков	m_{pl}	l_{pl}	∞ (стабильная)	$< c$	Предельно плотные состояния материи
Планкеон, К.П. Станюкович	$\frac{1}{2}m_{pl}$	l_{pl}	∞ (стабильная)	$< c$	Повсеместно
Эфирон	m_{pl}	l_{pl}	t_{pl} (виртуальная)	c	Вакуум

Табл. 4. Частицы с планковскими масштабами

На Западе идею существования частиц с планковской массой активно развивает немецкий физик Фридварт Винтерберг (родился в 1929 году, с 1963 года живет в США). С начала 1990-х годов он опубликовал серию статей, где предложил теорию “планковского эфира”. Вакуум, согласно Винтербергу, плотно заполнен равным числом частиц с положительной и отрицательной планковскими массами. Ученый называет эту среду плазмой планковских масс или однородной смесью двух сверхтекучих жидкостей. Каждая частица этой среды имеет характерный размер, равный планковской длине, и все они подчиняются нерелятивистским законам движения (ньютоновской и квантовой механике). Правда, предполагается, что на малых (порядка размера частиц) расстояниях закон всемирного тяготения не работает, частицы положительной массы действуют с отталкивающей силой, а частицы с отрицательной массой – с притягивающей. (Это условие принимается в теории, чтобы статическое состояние такой “упаковки” частиц было устойчивым). Частицы Винтерберга, подобно максимонам и планкеонам, – стабильные и нерелятивистские структуры. Это в корне отличает их от эфиронов. В этом смысле наш подход, очевидно, никак не пересекается с винтерберговским.

Теперь о самой гипотезе. Ключевые основания его гипотезы скорее отталкивают исследователя. В самом деле, введение стабильных частиц с отрицательной массой представляется крайней экзотикой, а отказ от закона всемирного тяготения на малых расстояниях кажется хоть и допустимой, но весьма вызывающей вольностью. Вместе с тем при чтении статей физика, посвященных планковскому эфиру, а они чрезвычайно широки по приложениям, невольно приходит ощущение, что Винтерберг ухватил нечто важное и существенное для построения теории вакуума.



**Рис. 37. Профессор Фридварт Винтерберг,
автор идеи ракетного ядерного двигателя**

Давайте вспомним, что в модели вакуума Дирака допускается существование частиц с отрицательной энергией (т. е. с отрицательной массой – смотри раздел 3.2). Почему бы им не задавать тон в теории квантовой гравитации? Только, следуя канонам квантовой теории поля, их следует, в противоположность Винтербергу, считать виртуальными и релятивистскими. В общем, гипотеза планковского эфира будоражит позитивно настроенного читателя и повышает интерес к физике ансамбля частиц с планковской массой.

ГЛАВА 5

Сценарий Большого Взрыва

А вы... О, я знаю вас: вы если начнете говорить о сотворении мира, просто волосы дыбом поднимаются.

Н.В. Гоголь. Ревизор

Мы подошли к самому интригующему вопросу: как же произошел Большой Взрыв? Название книги и присвоенный ей жанр предполагают однозначный и вполне конкретный ответ, и он прозвучит. Другое дело, в какой степени сбудутся ожидания читателя. Не обвинит ли он автора в переключении смысловых “стрелок” с одного пути на другой? Ведь, что ни говори, процесс рождения Вселенной уникален, неповторим и невозпроизводим в исследовательской лаборатории. Физики, особо пекущиеся о своем реноме, вообще отказываются его обсуждать в силу недостаточности, по их мнению, к тому оснований. Но у нас такое основание есть: это физическая модель первичного вакуума. Она выстроена в деталях и диктует единственный сценарий рождения Вселенной.

5.1. Материализация эфиронов

Мы дети космоса. И наш родимый дом
Так спаян общностью и неразрывно прочен,

Что чувствуем себя мы слитыми в одном,
Что в каждой точке мир – весь мир сосредоточен.

А.Л. Чижевский

Вообразим, что некоторый эфирон прожил время t , чуть большее отмеренного ему времени жизни (планковского времени $t_{pl} \approx 5,4 \times 10^{-44}$ с). Тогда о нем, начиная с момента $t - t_{pl}$, можно говорить как о материальной частице. Материализовавшийся эфирон будет обладать всеми свойствами, которыми наделяется космологическая сингулярность. Ее пространственный размер будет совпадать с планковским масштабом, плотность внутри ее объема будет равна планковской плотности $\rho_{pl} \approx 5,1 \times 10^{93}$ г/см³, а температура – планковской температуре $T_{pl} \approx 1,4 \times 10^{32}$ К. Образование такой частицы воспроизводит сценарий рождения сингулярности, но этого, конечно же, еще недостаточно. Надо, чтобы пространство вокруг нее было готово инициировать необратимый процесс рождения вещества. Разрешение этого вопроса как раз и должно стать окончательной разгадкой тайны Большого Взрыва.

Итак, наша гипотеза состоит в том, что материализовавшийся эфирон (или, по-другому, максимон Маркова) запустил процессы расширения Вселенной и лавинообразного “производства” элементарных частиц. То, что для этого требовалась энергия, и откуда она черпалась, обсудим чуть позже. Самое главное – это понять, как же Вселенная смогла сама себя “раскачать”? Чем была окружена сингулярность? Ведь утверждение физиков о том, что мир обрел свои материальные контуры из Ничего, абсолютно верны. Следует только найти механизм возникновения первичной субстанции (Нечто) из первичного вакуума (Ничто).

Человеческий ум искусен и способен на изобретение самых невероятных теорий. Каждый раз он на умозрительном (спекулятивном) уровне блестяще разрешает все их технические детали, если только ему дан жесткий посыл, аксиома (или их набор), выстраивающие направление поисков. Относительно любой научной проблемы, как правило, есть список гипотез, объясняющих ее. Каждый автор такой гипотезы убежден, что именно он ухватил за хвост птицу истины. Однако в море гипотетических предположений нужна опора, спасательный круг, не позволяющие утонуть в волнах окружающего недоверия. Профессионалы обычно перестают читать текст, если только наталкиваются на какой-то элемент, противоречащий их безусловному убеждению и исследовательскому опыту, копившемуся десятилетиями.

В нашей истории речь идет о событии, которое нельзя воспроизвести в лабораторных условиях и которое больше никогда не повторится. О Большом Взрыве ученые судят по косвенным фактам, по “следам”, свидетельствующим, как он произошел. Они, как принято говорить в физике, решают обратную задачу: определить начальное состояние мира по наблюдаемым в настоящее время его характеристикам. Мы настаиваем на том, что разгадка должна носить системный характер. А это значит, что необходимо связать до- и послевзрывную истории Вселенной и наполнить их конкретным содержанием. В такой постановке проблема Большого Взрыва еще не рассматривалась.

Стивен Вайнберг в книге “Первые три минуты” пишет: “Сначала был взрыв. Но не такой, к каким мы привыкли на Земле, когда взрывная волна, распространяясь от эпицентра, захватывает все более далекие слои воздуха. Первичный взрыв возник одновременно везде и заполнил сразу все пространство, причем каждая частица стала удаляться от каждой. В этом контексте выражение “все пространство” означает либо всю бесконечную Вселенную, либо весь объем конечной Вселенной, которая замкнута сама на себя наподобие поверхности шара. И то и другое понять нелегко, но это нам не мешает: при обсуждении ранней Вселенной едва ли важно, была она конечной или нет”.

Выдающийся физик, нобелевский лауреат 1979 года, Вайнберг изящно и емко выразил основное положение теории Большого Взрыва, ее главный постулат: “Первичный взрыв возник одновременно везде и заполнил сразу все пространство”. Как это произошло, он объяснить не в силах, а фраза “понять нелегко” – отговорка опытного лектора, обычное лукавство, поскольку у физиков нет понимания природы Взрыва. Он принимается как данность, особое начальное условие, возникшее неведомо откуда. Не может Вайнберг также объяснить, была ли Вселенная в начальный момент бесконечной или замкнутой. Конечно, утверждение, что для обсуждения ее первых минут существования это “едва ли важно”, – гениальный полемический ход, но он с очевидностью высвечивает полную неясность и в этом вопросе. Предположение о замкнутом характере начальной Вселенной ведет в мир многих измерений, и Вайнберг деликатно замалчивает это обстоятельство, дабы не отпугнуть читателя. Надо быть большим фанатом геометрии и великим фантазером, чтобы допустить рождение нашего мира из особым образом деформированной Пустоты с числом измерений, превышающим число “три”. Автор данной книги к таковым не относится. Более того, искать в начале начал нечто, превосходящее по своей сложности структуры нашего трехмерного пространства, кажется довольно странным занятием. Физики (и среди них, в первую очередь, приверженцы теории струн) “вляпались” в эти поиски от безысходности и, чтобы “не терять лица”, успокаивают коллег и любознательную публику, что у них все под контролем, а некоторые вещи просто “нелегко понимать”.

Мы предлагаем радикальное решение проблемы Большого Взрыва, апеллируя к вполне понятным и наполненным физическим содержанием сущностям. Вселенная пространственно бесконечна, и была такой всегда. Момент же Взрыва характеризовался возникновением сразу во всем пространстве частиц с планковской массой (будем далее называть их максимонами). Такое решение проблемы, на первый взгляд, выглядит еще более фантастическим, чем многомерная замкнутая Вселенная. В самом деле, как сразу во всем бесконечном пространстве в один и тот же момент виртуальные эфироны превратились во вполне материальные максимоны? Есть ли такому процессу скольконибудь содержательное физическое объяснение?

Начнем с того, что Большой Взрыв стал фазовым переходом. Это была гигантская квантовая флуктуация, поскольку она охватила все пространство Вселенной. В каждой квантовой ячейке пространства родился максимон, причем произошло это одномоментно сразу во всей бесконечной Вселенной. Все эфироны первичного вакуума, находящиеся сколь угодно далеко, откликнулись на “затравочную” квантовую флуктуацию и, поддерживая ее, перешли в стабильный вариант существования – максимон. Таким образом, Большой Взрыв – это спонтанное однородное преобразование первичного вакуума.

Трансформация эфиронов в максимоны происходила локально, внутри каждого планковского объема в течение планковского времени. Появление каждого максимона представляло “точечный” процесс. Если связать с определенным максимумом систему отсчета и поместить в нее наблюдателя, то информацию о ближайшей частице он мог получить только спустя планковское время после Взрыва (за это время свет как раз проходит пространственный масштаб максимона). Но это означает, что материализация частиц происходила (в информационном плане) независимо друг от друга. Наблюдатель посчитал бы, что Взрыв произошел именно в той точке, где он находится (точке сингулярности).

Переход эфирон → максимон следует связывать с взаимодействием каждого эфирона со всеми остальными эфиронами Вселенной. Большой Взрыв представляет процесс квантовой самоорганизации ансамбля бозонов (эфиронов) сразу во всем объеме Вселенной. Вся Вселенная сработала единым образом. Механизму этого фазового перехода будет посвящен следующий раздел.

Здесь же будем исходить из признания факта произошедшего 13 с лишним миллиардов лет назад квантового перехода:

бозе-конденсат эфиронов \rightarrow бозе-конденсат максимонов.

В бозе-конденсате все частицы находятся в одинаковом квантовом состоянии, поэтому единичный переход эфирон \rightarrow максимон повлек (в течение планковского времени) трансформацию всего ансамбля эфиронов. Такое преобразование “пустого” мира квантовая механика допускает, если только речь идет об однородных конденсатах, и даже его требует. Конечная (“максимонная”) фаза перехода соответствует тому, что Большой Взрыв произошел в каждой точке пространства в одно и то же время. Какова могла быть предшествующая ей однородная начальная фаза существования мира? Только эфиронный конденсат! Теория изначального эфиронного вакуума – наше know how, и мы надеемся, что приведено достаточно оснований в пользу необходимости подробного его научного обсуждения.

Статистическая механика учит, что у любого возможного состояния системы есть своя вероятность быть наблюдаемой. К примеру, все молекулы могут в какой-то момент собраться в одной половине сосуда, но вероятность такого события крайне мала, и его следует долго ждать. Схожее объяснение можно держать в голове и в нашем случае. Первичный вакуум в своем изначальном состоянии мог существовать бесконечно долго, прежде чем изменить свое состояние.

Стоит вспомнить, что максимоны – черные мини-дыры (черные дыры минимального радиуса). Поэтому кубическая решетка максимонов, рождающаяся в начальный момент, должна быть безграничной. В противном случае тяготение собрало бы их в одну точку.

В силу безграничности и однородности максимонной решетки начальная скорость каждого из них должна была равняться нулю. Но если мы абсолютно точно определяем скорость максимона, то в силу принципа неопределенности ничего не можем сказать о его местоположении. Он может находиться в любой точке Вселенной. Это как раз и означает, что Взрыв произошел сразу всюду, то есть положение о беспредельности решетки хорошо вписывается в теорию Большого Взрыва.

Предлагаемый нами сценарий объясняет и природу расширения Вселенной. Плотность максимона равна планковской, и это максимально возможная плотность в природе. В момент Большого Взрыва (при $t \gtrsim t_{pl}$) в однородном объеме максимонов возникли упругие силы, препятствовавшие дальнейшему уплотнению среды, и максимоны приобрели начальный импульс. Между ними стали образовываться вакуумные пустоты, внутри которых уже рождались хорошо известные нам элементарные частицы: электроны, нейтроны, протоны и т.д., масса которых на много порядков меньше массы максимона. Частицы с малой массой участвовали в создании обычной материи. Максимоны же следует отнести к частицам темной материи.

В этом месте хочется вспомнить о гениальных догадках Моисея Александровича Маркова и Кирилла Петровича Станюковича (смотри раздел 4.5). Частицы с планковской массой существуют в нашей Вселенной как элементарные составляющие темной материи. Их параметры таковы, что они попадают в разряд черных дыр. Но планковская плотность – это максимально возможная плотность в природе. Максимоны не могут втягивать внутрь себя вещество, и потому выступают лишь как притягивающие центры. Опять-таки, мы принципиально ничего не можем сказать о внутренней структуре частицы, поскольку планковская длина является предельным масштабом нашего проникновения в природу.

Радиальный (в среднем) разлет, а именно таков сценарий Большого Взрыва, стал возможен только потому, что они занимали сразу весь безграничный объем Вселенной. В противном случае гравитация собрала бы их (в конце концов) в единое целое. Стоит подчеркнуть, что сам процесс рождения Вселенной имеет грандиозное значение именно

как особенное (неповторимое) явление, и (в силу его реального воплощения) можно говорить, что оно не могло не произойти. Вернее, все было так “задумано”, чтобы ЭТО действительно произошло.

Теперь о законе сохранения энергии применительно к нашему сценарию. Изначальная энергия вакуума была равна нулю, поэтому рождению каждого максимона с энергией E_+ ($E_+ > 0$) сопутствовало появление особого квантового состояния с отрицательной энергией E_- ($E_- = -E < 0$). Формально его можно интерпретировать как рождение частицы с отрицательной массой. Очевидно, что таких частиц материи не существует. Но мы можем предположить, что энергетический фон этих “минус-максимонов” и есть та самая темная энергия, которая обнаружена в космологических экспериментах. “Отрицательная масса” этих квантовых состояний будет отталкивать обычную материю, то есть моделировать свойство антитяготения темной энергии.

Важно отметить, что не все родившиеся максимоны продолжали существовать как стабильные частицы. Определенная их часть разрушалась с выделением внутренней энергии, которая шла на разогрев вакуумной среды. “Пустоты”, образовывавшиеся между максимонами, нагревались до температур, соответствующих реакциям ядерного синтеза, и в них уже происходило рождение обычного вещества.

Стоит еще раз четко обозначить исходные основания, на которых выстраивается предлагаемый сценарий Большого Взрыва. Однородные начальные условия мы объясняем фазовым переходом, в результате которого возникает однородная безграничная система максимонов. Процесс их рождения носит одномоментный характер, это и есть та самая квантовая флуктуация, которую подразумевает теория Большого Взрыва. О его деталях мы пока можем только догадываться, но нам известно состояние ранней Вселенной. Пытаясь “встроиться” в нее, мы и выстраиваем предполагаемую цепочку событий.

А она такова.

1-й шаг. В первый же момент Взрыва (в течение планковского времени) максимоны образуют однородную пространственную решетку и, вследствие упругого отталкивания, приобретают радиальный импульс, чем запускают процесс расширения Вселенной.

2-й шаг. Переход эфирон \rightarrow максимон имеет статистический характер. Если он реализуется, тогда рождается стабильная частица. Но появившийся и просуществовавший короткое время (практически совпадающее с планковским временем – временем Большого Взрыва) максимон может распасться с выделением энергии. Исходя из общей картины Большого Взрыва, следует принять, что число таких распадов было чрезвычайно велико и, по всей вероятности, доминировало над процессом рождения. Из-за разлета и распада максимонов однородная решетка максимонов начала сразу же разрушаться.

Нам представляется, что сам процесс рождения максимона напоминал естественный отбор в природе, когда отдельный максимон выживал, в том числе за счет гибели распадавшихся соседних частиц. Здесь, думается, огромное значение имело то, что максимон – не обычная частица, а мини черная дыра. У нас нет математической теории взаимодействия таких объектов, но на качественном уровне представляется, что исчезновение соседних черных дыр с выделением энергии должно было содействовать стабилизации максимона (превращению его в стабильную частицу). Если мы правы, то находит объяснение и колоссальная (для микромира) масса (а значит, и энергия) максимонов, и их разительное отличие от обычных элементарных частиц. Задача максимонов состояла в создании условий для возникновения обычной материи, и потому им следует приписать главную роль в создании нашей Вселенной.

Но это не все. Максимоны – это частицы темной материи. Они стали центрами крупномасштабных структур в космосе (галактик, их скоплений и т. д.).

3-й шаг. Энергия, высвобождавшаяся при распаде максимонов, нагревала вакуумные пустоты. Непосредственно в них при достижении определенной температуры уже происходило рождение барионной материи.

В рамках “максимонного” сценария с единых позиций объясняется:

- “начальный толчок”, инициировавший расширение пространства;
- образование темной материи;
- нагрев вакуума (необходимое рабочее условие модели горячего Большого Взрыва);
- феномен темной энергии.

Явление темной энергии требует отдельного исследования. Наша гипотеза относительно нее носит качественный характер, но она продиктована логикой предлагаемого сценария Большого Взрыва. Состояния с отрицательной энергией должны непременно возникать при рождении максимонов. Это реальная (сущностная) структура, которой, следуя формуле $E = mc^2$, можно приписать отрицательную массу и антигравитацию. Среди всех “эфиров” вакуумной Сетки только темная энергия обладает такими свойствами, из чего и вытекает наше утверждение о ее природе.

Традиционно рождение вещества при Большом Взрыве связывают с рождением пар “частица – античастица”. Но куда делись античастицы впоследствии – большая загадка. Считается, что они исчезли при аннигиляции с обычными частицами. Это вполне вероятный процесс, но вряд ли стоит рассматривать его в качестве основного. Пример “моря Дирака” (раздел 3.2) высвечивает существование в вакууме состояний с отрицательной энергией. Они неперенный атрибут вакуума, форма их присутствия в нашем мире неясна, но они существуют. По нашему мнению, они возникали одновременно с рождением материальных структур (темной и барионной материи). Идея одновременного рождения гравитирующих и антигравитирующих сущностей кажется нам более правдоподобной, чем теория, предполагающая присутствие в ранней Вселенной антиматерии.

Нашему сценарию не нужна инфляция. Он обеспечивает однородность пространства в начальный момент, а значит, не возникает и проблемы горизонта. Кроме того, Большой Взрыв происходит и развивается в 3 – мерной плоской Вселенной. Нам не нужно говорить о какой-то внешней ее подстройке, превратившей изначально искривленный поначалу мир в плоский.

Наконец, есть еще одно достоинство нашего сценария, отличающего его от инфляции: Большой Взрыв у нас охватывает весь бесконечный объем. В противоположность этому можно было бы предположить, что материализация эфиронов протекала не одномоментно, а в течение некоторого времени и поначалу лишь в некоторой ограниченной области (это нарушает требование однородности). В этом случае следовало бы считать, что изначально образовался шар максимонов, который, вследствие действия упругих сил, стал расширяться, а вне его продолжали рождаться новые максимоны. Относительно начального радиуса (области рожденных максимонов) следовало бы предположить, что он достаточно велик, чтобы реализовались начальные условия, обеспечивающие однородность наблюдаемого сегодня реликтового излучения. Но в таком случае уже нельзя было бы гарантированно утверждать, что Большой Взрыв – уникальное и лишь однажды произошедшее явление. Ничто не мешало бы произойти второму такому событию где-то в отдаленной области, которую мы еще не можем наблюдать. А если были возможны два Больших Взрыва, то можно было бы говорить и о третьем, четвертом и т. д. Как раз к такой ситуации пришла современная теория инфляции. Ее приверженцы говорят о вселенных, разбросанных по всему необъятному космосу. Наша гипотеза (с условием реализации Большого Взрыва сразу во всем бесконечном объеме) исключает такой сценарий. На него работал весь вакуум Вселенной, и событие это исключительное, единичное. Надо только действительно разобраться, как это произошло.

5.2. Рождение Вселенной как фазовый переход

Представление о неустойчивости, своего рода фазовом переходе, переводящем Вселенную из одного состояния в другое, выдвигает на передний план необратимость. А что может быть более необратимым, чем возникновение материи из некоего прематериального вакуума?

И. Пригожин, И. Стенгерс. Время, хаос, квант

Понятие неустойчивости – одно из центральных в современной физике. Но пришло оно из математики. При анализе некоторых дифференциальных уравнений было неожиданно открыто, что малые возмущения их решения могут быстро возрастать, так что по прошествии некоторого времени данное решение становится уже несправедливым. Про такое решение говорят, что оно неустойчиво по отношению к малым отклонениям. Бывает, однако, и так, что решение устойчиво к малым, но неустойчиво к достаточно большим (превышающим некоторый предел) отклонениям. В общем, неустойчивости бывают разные. Для них существует целая область науки, и математики и физики достаточно плодотворно ее окультурили.

Мы же хотим обратить внимание на одно обстоятельство, которое выводит за рамки математики. Каждое уравнение, интересующее ученых, выражает определенный закон природы. Любое из решений этого уравнения является одним из возможных сценариев поведения описываемой системы. Спрашивается, кто осуществляет отбор между различными вариантами? Кто (что) стоит за этим внешним принципом?

При построении своих теорий и последовательном выводе соответствующих им уравнений физики оговаривают пределы их применимости. Разумеется, поскольку всякая модель есть лишь идеализация явления, она ограничена и неполна. Но в рамках выбранных для нее оснований задача формулируется вполне корректным образом. Почему же разные решения одной и той же задачи неравноправны между собой? Что скрывается под именем неустойчивости?

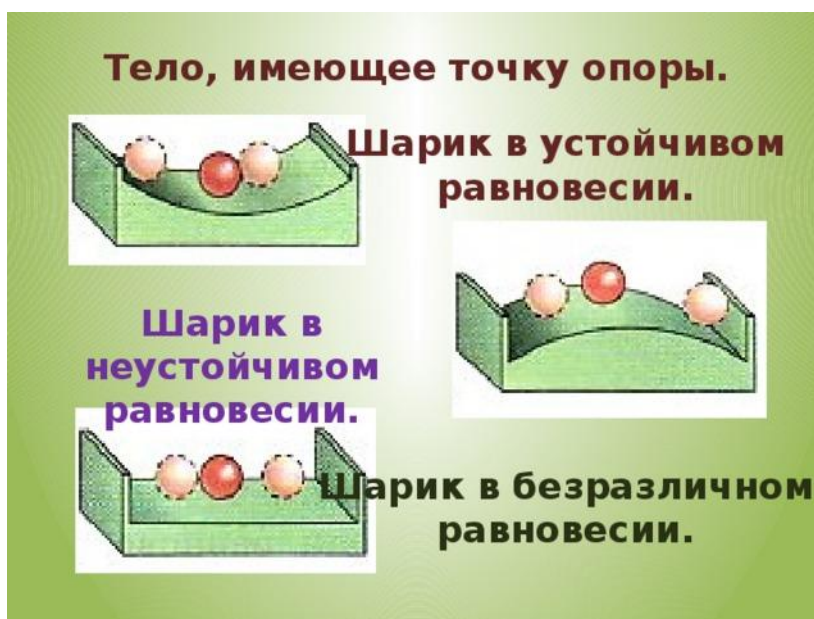


Рис. 38. Различные состояния равновесия шарика

Обычно проявление неустойчивости объясняют на примере шарика, находящегося на вершине горки в поле тяжести (смотри рис. 38). При малейшем отклонении от положения равновесия шарик скатится вниз. Следовательно, это состояние является неустойчивым. Но задумаемся, какая сила вызывает отклонение? Влияние дуновений ветерка и вибраций поверхности экспериментатор может исключить. Еще более идеализируя ситуацию, можно поместить горку под стеклянный колпак и откачать из него воздух. Но ведь и тогда, как нас учат жизнь и здравый смысл, шарик однажды должен съехать с горки. Какая причина вызовет это? Может, флуктуации вакуума?..

Скатившись с горки, шарик уменьшит свою потенциальную энергию. Состояние с меньшей энергией является более устойчивым. Но если шарик находится в ложбине вогнутой поверхности, то малые отклонения от его положения уже не приведут к его переходу на более высокое плато. Он будет колебаться некоторое время внутри ложбины, но потом из-за трения остановится в равновесном (устойчивом) положении. Наконец, возможна третья ситуация, когда шарик находится на горизонтальной поверхности. В этом случае шарик находится в безразличном равновесии. Если пренебречь трением, любая сколь угодно малая сила заставит его сдвинуться с места, но потенциальная энергия шарика при этом не изменится.

Все эти сведения из школьной программы хорошо известны читателю. А теперь зададимся вопросом: “Какая из трех возможных ситуаций с шариком схожа с Большим Взрывом?” В первом варианте теории инфляции, предложенном Аланом Гуттом, вводилось два состояния вакуума: ложный и истинный. Оба они схожи с ситуацией расположения шарика во впадине. Энергия ложного вакуума больше энергии истинного. Изначально поле инфлантона находится в состоянии ложного вакуума, но, как следствие квантового туннельного эффекта, может однажды перейти в состояние истинного вакуума (состояние с более низкой энергией). В новой теории инфляции, предложенной Линде и Стейнхардтом (смотри раздел 1.2, рис.15), принимается “сюжет” с шариком на вершине горки. В начальный момент плотность энергии поля инфлантона имеет максимум и с течением времени “скатывается” в более устойчивое состояние с меньшей энергией. Оба эти сценария предполагают в первоначальном вакууме некий избыток энергии по сравнению с его истинным состоянием. Но какова природа этой энергии и откуда она черпается?

Следует здесь же сказать, что теория инфляции, несмотря на свою популярность, выглядит излишне вычурной и абстрактной. Она не включает ни одну из трех фундаментальных констант и потому никак не вписывается в линию развития физики, определяемую кубом физических теорий. Задача теории инфляции – спасти геометрофизику, направление, которое в области гравитации завело науку в тупик. На наш взгляд, инфляционный сценарий выходит за рамки самых безумных идей (даже учитывая их настоятельную необходимость, согласно крылатой фразе Нильса Бора). Инфляционная космология – тупиковая ветвь физики.

Объяснение, по нашему глубокому убеждению, следует искать среди моделей с нулевой средней энергией. Аналогией здесь может выступить шарик в безразличном состоянии равновесия, который, с одной стороны, может сколь угодно долго находиться в исходном положении, но если только на него в какой-то момент подействует горизонтальная сила, то он сдвинется в ее направлении (его потенциальная энергия при этом не изменится). В энергетической интерпретации Большой Взрыв мы представляем как следующий переход:

- исходное состояние: бозе-конденсат виртуальных частиц (эфиронов); средняя энергия равна нулю;

- конечное состояние: родилась пространственно однородная кубическая решетка максимонов. Энергия максимонов компенсируется фоном квантовых состояний с отрицательной энергией.

В системе отсчета, связанной с отдельным максимомом, все остальные максимумы радиально разлетаются от него. Такое их движение объясняет наблюдаемое расширение пространства.

Появление вещества в начальный момент (пока только темной материи) мы, в полном соответствии с мыслью эпитафия, можем трактовать как фазовый переход.

В физике различают фазовые переходы двух типов. К фазовым переходам I рода относятся конденсация, кристаллизация, плавление. Примерами фазовых переходов II рода служат переходы металлов и сплавов в сверхпроводящее состояние и жидкого гелия в сверхтекучую фазу. Все различие между двумя типами переходов заключается в том, что флуктуации вблизи точки перехода развиваются по-разному.

При переходе I рода новая фаза возникает в виде зародышей внутри старой фазы. Причина их появления – случайные флуктуации энергии и плотности. По мере приближения к точке перехода флуктуации, приводящие к новой фазе, происходят все чаще и чаще, и хотя каждая флуктуация охватывает очень малый объем, все вместе они могут привести к образованию макроскопического зародыша новой фазы, если в области их локализации есть центр конденсации.

В случае фазового перехода II рода ситуация гораздо более сложная. Новая фаза в данном случае появляется сразу во всем объеме, и обычные флуктуации сами по себе не могут привести к фазовому переходу. Здесь работает уже другой механизм. По мере приближения к критической температуре флуктуации, “подготавливающие” переход в новую фазу, охватывают все большую часть вещества и, наконец, в точке перехода охватывают весь объем. Из приведенных описаний ясно, что Большой Взрыв следует отнести к фазовым переходам II рода (система при этом безгранична). Сам переход занял, планковское время. Но это был лишь финальный аккорд раскочки флуктуаций. Процесс накопления силы единства флуктуаций мог продолжаться очень долго, формально – бесконечное время. Одиочные флуктуации (эфироны) должны были синхронизоваться в рамках всей Вселенной, и это уникальное событие готовилось всей предысторией Вселенной (она была!), т. е. эпохой, предшествовавшей Большому Взрыву. Планковский временной миг поделил ее существование на две половины. Вторая половина составляет больше тринадцати миллиардов лет, а о длительности первой мы, думается, никогда ничего сказать не сможем.

Вполне понятно, что в этой части рассуждений мы вклиниваемся уже в область философских построений, но они тоже должны стать частью будущей полновесной теории Большого Взрыва. Традиционная геометрофизическая теория исходит из появления сингулярности в одной точке как центра конденсации в фазовом переходе I рода. Такое начальное условие вступает в противоречие с современными данными о реликтовом излучении, поэтому физикам пришлось придумать теорию космологической инфляции, которая подправляет “плохое” начальное условие. На корректировку пути развития Вселенной уходит всего-навсего 10^{-35} с, время по космическим меркам ерундовое, во всяком случае по сравнению с возрастом Вселенной. Но для этого теоретикам пришлось придумать новую физику с абстрактным (и никому неведомым) полем инфлантона. Возникает законный вопрос: не проще ли задуматься, как в действительности сформировалась исходная сингулярность?

Традиционная теория Большого Взрыва рассматривает начальную сингулярность как данность и изучает эволюцию мира, начиная с момента ее образования. Детали процесса ее возникновения даже не обсуждаются. Это ахиллесова пята теории, это все равно что, как делают некоторые лихие летописцы, отсчитывать историю Руси от времени ее Крещения. Но языческий период страны является не менее важным и содержательным. Точно так же и в нашем случае. Космологическая инфляция латает дыры теории в спешном порядке, но она не дает понимания существа произошедшего. Большому Взрыву предшествовала целая эпоха флуктуационной истории вакуума, когда виртуальные эфироны смогли самоорганизоваться и выступить в качестве зачинателей материального

мира. Если возвратиться к аналогии с шариком на горизонтальной поверхности, то можно сказать, что надо было достаточно долго подождать, чтобы однажды под действием флуктуаций он смог сдвинуться с места (здесь важно не забывать, что шарик моделирует безграничную, открытую квантовую систему). В этом смысле можно утверждать, что рождение Вселенной было предопределено, и рассуждения богословов о внутренней силе, определяющей развитие мира, не лишены смысла.

Фазовый переход II рода всегда связан с изменением симметрии системы. В новой фазе либо возникает порядок, которого не было в первоначальной фазе, либо изменяется уже существовавший порядок. Наша ситуация относится к первому случаю. В момент Большого Взрыва рождается кубическая решетка максимонов. Это событие соответствует переходу от хаотического состояния эфиронного континуума к его упорядоченной (максимонной) фазе. В момент Большого Взрыва мы бы наблюдали абсолютно упорядоченную систему с нулевой энтропией. Напомним, энтропия – это физическая величина, характеризующая меру беспорядка в системе. И до Большого Взрыва, и после него беспорядок доминировал над порядком. Поэтому в эпоху до Взрыва энтропия Вселенной уменьшалась, а после – начала расти.

На образном уровне подготовку Большого Взрыва можно пояснить с помощью “эффекта уличной толпы”. Представим себе плотную толпу прохожих, стоящих бок о бок у одного из домов и глядящих в самых случайных направлениях. Это “нормальное” (неупорядоченное ни по какому признаку) состояние уличной толпы. Пусть теперь один из прохожих время от времени поглядывает в течение некоторого времени t_{pl} в определенное окно (случайная флуктуация – рождение в данном месте на этот короткий промежуток виртуальной частицы). Допустим также, что другие прохожие, заметив такое поведение пешехода, тоже поворачивают головы к тому самому окну, куда смотрит он. Выбранный нами прохожий ничем не отличается от других, поэтому, ощущая, что к избранному им окну прикован интерес окружающих людей, начинает поглядывать туда чаще (обратное влияние со стороны окружения). Как результат, однажды наступает такой планковский момент, когда все прохожие на улице смотрят в одну “точку” (виртуальные эфироны сфазировались). В это мгновение до зачинщика всего этого коллективного действия доходит, что его интерес замечен всеми стоящими рядом соседями, и он, уже не скрывая своего интереса, продолжает смотреть в окно (превращаясь в максимон). Примечательно, что такой процесс самоорганизации происходит без действия внешней силы.

Принимая “эфиронно-максимонный” сценарий, мы фактически утверждаем вечное существование пространства и времени. Да, до Большого Взрыва принципиально невозможно было ввести систему отсчета (не было объекта, с которым можно было ее связать). Но если только признать, что динамика флуктуаций имела место и ее мгновенные снимки разнились друг от друга, то можно говорить о пространственном (по планковским кубикам) распределении флуктуаций и их эволюции во времени. Но это значит, что и пространство, и время существовали и до Большого Взрыва. Да и как по-другому, если только выкинуть из головы сказки о многомерном пространстве, породившем нашу Вселенную?..

Что ни говорите, но, думается, предсказание эпиграфа к главе мы с лихвой оправдали...

Глава 6

Квантовая гравитация: новый взгляд

Природа тайн не выдает –
Она сама живится тайной,
Но гений, шествуя вперед,

Ворует смысл необычайный.

А.Л. Чижевский

В разделе 3.3. был изложен современный взгляд на структуру вакуумной Сетки. Представление об основном (глубинном) ее слое продиктовано эйнштейновским подходом к гравитации: в пустое пространство “вложено” метрическое поле, определяющее гравитационные свойства материальных тел. Наш подход предполагает, однако, иную модель Сетки. Мы утверждаем, что абсолютно пустого пространства не существует, а изначальным слоем Сетки служит гравитационный эфир – бозе-конденсат эфирионов. Ниже будет показано, что он выступает переносчиком гравитационных взаимодействий.

Важно подчеркнуть, что мы ни в коей мере не отказываемся от классических результатов, полученных в рамках общей теории относительности, но при этом вводим более глубокую (квантовую) реальность, лежащую в основе метрического поля. Предваряя этот новый взгляд на гравитацию, напомним об одной попытке построить теорию гравитационного эфира с использованием законов классической механики.

6.1. Теория Фатио–Лесажа

Безумству храбрых поем мы славу!
Безумство храбрых – вот мудрость жизни!

М. Горький

Начнем с краткого представления авторов теории.

Никола Фатио (1664–1753) – математик и естествоиспытатель швейцарского происхождения. Член Лондонского королевского общества. Поддерживал тесные отношения с Гюйгенсом и (некоторое время) с Ньютоном. В 1690 году предложил кинетическую теорию гравитации.

Жорж Луи Лесаж (1724–1803) – швейцарский физик, корреспондент Парижской академии наук, член Лондонского королевского общества. Дал схожее с фатиевским объяснение гравитации.



Рис. 39. Никола Фатио (слева) и Жорж Луи Лесаж (справа)

Оба исследователя предполагали, что наблюдаемая нами Вселенная погружена в океан корпускул, которые Лесаж назвал “запредельными” (внеземными). Эти корпускулы имеют чрезвычайно малую массу и движутся с огромной скоростью. Они свободно проникают сквозь твердые тела, которые являются для них “пустым” пространством (поэтому отсутствует их поглощение), а столкновения с частицами тел носят неупругий характер (отчего они передают частицам часть импульса). Сила между телами возникает потому, что каждое из них экранирует поток частиц, несущихся к другому телу. Все эти допущения и ограничения накладываются с целью объяснить пропорциональность силы притяжения массам взаимодействующих тел и ее обратную пропорциональность квадрату расстояния между ними.

Оговоримся сразу же, данная теория даже на качественном уровне вызывает множество вопросов, не имеющих строгих ответов. Ньютон не стал упоминать о ней в своих “Началах”. Леонард Эйлер (1707–1783) после изучения труда Лесажа искренне признался ему: “Вы должны извинить меня, сэр, за мою большую нерасположенность к вашим внеземным частицам, но я всегда предпочитаю признаваться в своем невежестве причины гравитации, чем прибегать к помощи такой странной гипотезы”. Академическая наука также не приняла эту теорию. В 1731 году Фатио послал свою статью как поэму на латинском языке в стиле Лукреция в Парижскую академию наук, но она не была принята к рассмотрению. Точно так же Парижская академия отказалась опубликовать в 1748 году научный труд Лесажа (издать его удалось много позже и в менее престижном издании). В более позднее время кинетическая теория гравитации подверглась критике со стороны Максвелла и Пуанкаре. Ричард Фейнман в знаменитых лекциях приводит эту теорию, как пример наивного, если не сказать дилетантского, подхода к серьезной физической проблеме. Так стоило ли вообще говорить о ней? Думаем, да. И в пользу этого приведем два довода.

Во-первых, это единственная сколько-нибудь состоятельная модель гравитационного вакуума (слово “эфир” было бы тут уместнее, но следует шагнуть в ногу со временем), что разительным образом отличается от огромного числа теорий светоносного (электродинамического) эфира, введшихся в научный оборот в разное время.

Во-вторых, запредельные корпускулы, как бы то ни было, будут сравниваться с гравитонами будущей теории квантовой гравитации. Идея Фатио–Лесажа на качественном уровне вполне отвечает духу современных квантовополевых теорий, где взаимодействие обусловлено излучением и поглощением определенных частиц. Недостаток теории Фатио-Лесажа очевиден: она использует законы классической физики. Но как знать, не окажется ли их модель гравитации в своем квантовом варианте и содержательной, и жизнеспособной? Кстати, нелишне напомнить, оба швейцарца были почитателями Лукреция Кара (поэтически изложившего физику Эпикура), который, как мы помним, предугадал и принцип неопределенности, и квантованность пространства-времени...

6.2. Квантово-релятивистская форма записи закона всемирного тяготения

Кристофер Вин смеется над верой мистера Ньютона в то, что гравитация не возникает из-за механических причин, а изначально введена Создателем.

Д. Грегори. Записки, содержащие описание

дискуссий, проходивших на заседании Королевского общества 20 февраля 1697 года

В разделе 4.3 было обосновано, что в качестве фундаментальных физических постоянных следует выбрать величины c, l_{pl}, \hbar , а не традиционную тройку констант c, G, \hbar . Такой выбор устраняет давнюю неудовлетворенность физиков относительно введения в нее гравитационной постоянной. К.А. Томилин в книге “Фундаментальные физические постоянные в историческом и методологическом аспектах” пишет: “Гравитационная постоянная G не является естественным масштабом никакой физической величины, в отличие от таких постоянных, как c и \hbar . Отсюда вытекает и отсутствие правильного предельного перехода по этой константе (G просто полагается равной нулю, т. е. гравитация выключается не постепенно, а сразу). Формально постепенность выключения гравитации можно достичь при предельном переходе

$$r \gg l_{gr} = \frac{2Gm}{c^2},$$

где m – масса данного тела (т. е. для каждого тела получается свой характерный масштаб). Причем это неравенство должно быть очень сильным: $r \gg \gg l_{gr}$ (например, гравитационный радиус Солнца $l_{gr} = 2,95325008$ км, а последняя планета находится на расстоянии $6 \cdot 10^9$ км). Т. е. даже для $r/l_{gr} = 10^9$ гравитация все еще не выключается. Поэтому можно ввести логарифмический критерий: $\ln(r/l_{gr}) \gg 1$, но и он не является универсальным, а специфическим для данного тела”.

В выбранных за основу фундаментальных постоянных c, l_{pl}, \hbar выражение для гравитационной постоянной будет иметь следующий вид (смотри раздел 4.3):

$$G = \frac{c^3 l_{pl}^2}{\hbar}. \quad (6.1)$$

С учетом этой формулы закон всемирного тяготения запишется так:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{c^3 l_{pl}^2}{\hbar} \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{c^3 m_1 m_2}{\hbar} \left(\frac{l_{pl}}{r} \right)^2. \quad (6.2)$$

Тут самое время остановиться, поскольку из уравнения (6.2) следуют исключительно важные выводы. Выражение для силы притяжения двух точечных масс, записанное впервые Ньютоном, - вершина классической физики, один из наиболее красивых ее результатов. Однако всех исследователей, и в первую очередь самого Ньютона, не оставлял в покое вопрос о физическом механизме гравитационного притяжения. К настоящему времени исписаны горы научных трудов про дальное действие ньютоновской гравитации, которая при отсутствии среды – переносчицы взаимодействия распространяется с бесконечной скоростью. Формула (6.2), однако, включает скорость света, и это надо понимать как следствие учета ее в расчетах. Но это еще не все. В выражении (6.2) присутствует также постоянная Планка, и значит, закон всемирного тяготения следует рассматривать как итоговый (теоретический) результат квантовых вычислений. Неожиданный поворот, не правда ли?..

Вопрос о фундаментальной (элементарной) длине начал обсуждаться еще в 1930-х годах. К тому времени физики в полной мере осознали фундаментальность скорости света и постоянной Планка как величин, определяющих границы применения классической физики. Эта пара мировых констант стала основой квантово-релятивистского формализма, который успешно применялся в теории элементарных частиц. Но их

точечные модели давали расходимости, и для физиков была очевидна необходимость введения третьей фундаментальной постоянной с размерностью длины (ее ожидаемое появление в теории ученые даже назвали третьей революцией в физике XX века после квантовой и релятивистской).

Гамов, Иваненко, Ландау, авторы $cG\hbar$ проекта, фактически (сами они об этом не писали) предлагали сделать выбор в пользу планковской длины. Но это было явно преждевременной задачей. Физиков на тот момент еще притягивали масштабы, на много порядков превышающие планковский.

Вернер Гейзенберг связывал фундаментальный масштаб с процессами внутри атома. В статье 1938 года он писал: “По данным ядерной физики универсальная длина по порядку величины сравнима с классическим радиусом электрона $r_0 = 2,81 \cdot 10^{-13}$ см. Среди характерных проявлений универсальной длины можно назвать существование элементарных частиц с массой около $\hbar/(r_0c)$ (к их числу принадлежат нейтроны, протоны, мюоны), ядерные силы, действующие на расстоянии r_0 , и, наконец, взрывообразные процессы при столкновении частиц с энергией, превышающей $\hbar c/r_0$ в системе центра масс. В то же время можно предположить, что универсальная длина указывает границы применимости современной теории так же, как \hbar и c определяют границы применимости классической физики”. Основываясь на масштабе 10^{-13} см как фундаментальном, Гейзенберг в 1950-е годы развил нелинейную квантовую теорию поля.

Классический радиус электрона вводится на основе релятивистской модели электрона, в которой предполагается, что вся масса частицы имеет электромагнитную природу, то есть масса электрона, умноженная на квадрат скорости света, равна энергии создаваемого им электрического поля. При этом электрон представляется сферической частицей с определенным радиусом. Такое обилие допущений для определения фундаментальной длины несколькостораживает. К тому же со временем были открыты десятки частиц, в том числе гораздо более тяжелых, чем рассматривал Гейзенберг, и соотнесение универсального масштаба именно с электроном уже в 1960-х годах не представлялось достаточно убедительным.

Позже на роль фундаментальной длины выдвигались масштабы, связанные со слабым и сильным взаимодействиями, но тоже безуспешно. Успехи теории элементарных частиц в последние десятилетия прошлого века определялись общей стратегией объединения элементарных взаимодействий на основе групп симметрий. Электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия удалось описать единым образом в рамках стандартной модели элементарных частиц. При этом удалось успешно избавиться от ряда трудностей, связанных с бесконечными значениями физических величин. Революции, которую так долго ожидали многие физики в связи с появлением элементарной длины, не свершилось. Известный российский физик Д.А. Киржниц (1926-1998) писал по этому поводу в 1995 году: “Физика элементарных частиц обошлась без третьей (после создания теории относительности и квантовой теории) революции, которая, как ожидали многие, должна была привести к коренной ломке наших представлений о пространстве-времени, причинности и т. д. Выход из кризиса лежал скорее на реформистском пути – пути перехода от примитивных и ограниченных старых к более сложным и богатым содержанием новым моделям частиц и их взаимодействий” (Сахаров А.Д. Научные труды). Впрочем, чтобы не быть столь уж категоричным, далее он отметил, что именно на планковских масштабах “пространственно-временная картина испытывает достаточно радикальные (хотя и не столь революционные, как думал Гейзенберг) изменения”: “Проявляются скрытые на больших масштабах измерения пространства, входят в игру квантовые флуктуации координат и времени и т. п.” Как ни осторожничал многоопытный ученый, выбирая обтекаемые выражения, но все же в конце концов с оговорками он признал, что именно планковскую длину следует рассматривать как фундаментальную.

Спустя всего девять лет американец Д. Гросс, выступая в Москве (смотри введение), уже однозначно связывал грядущую революцию в физике с изучением процессов, протекающих на планковском масштабе. Этому есть простое объяснение: на рубеже тысячелетий была открыта темная энергия. Стандартная теория не объясняет ее, точно так же, как темную материю и квантовую гравитацию. К тому времени “кризис назрел” (В.И. Ленин), и стало ясно, что никакими “реформистскими путями” ситуацию не спасти. Правда, точно так же, как и Киржниц, Гросс уповает на успехи геометрофизики и призывает ожидать успехов теории струн, наиболее перспективного направления на сегодняшний день. Пусть так, но тогда со всей очевидностью высвечивается фундаментальность планковской длины.

По нашему мнению, изменение тройки приоритетных мировых констант вследствие замены:

$$cG\hbar \rightarrow cl_{pl}\hbar$$

как раз и есть один из начальных шагов на пути (предсказанном физиками в 1930-е годы) к революционным изменениям в физике. В рамках $cl_{pl}\hbar$ подхода формула (6.2) представляет квантово-релятивистскую форму записи закона всемирного тяготения. Ее теоретическое обоснование может быть получено только исходя из квантополевых рассуждений. В этом смысле более чем ясно, что никакие механические модели, вроде теорий Фатио и Лесажа не могут дать объяснения ньютоновскому закону. Стоит еще раз подивиться гению Исаака Ньютона, сумевшего не только понять, но и открыто высказывать это (смотри эпиграф к разделу). Кстати, сам он не вводил гравитационной постоянной, а записывал свой закон для силы в виде пропорциональной зависимости ее от произведения масс и обратно пропорциональной зависимости от квадрата расстояния. Угадать квантовое выражение для коэффициента пропорциональности во времена Ньютона, разумеется, никто не мог. Но в нем, как ясно теперь, присутствует квадрат планковского радиуса. Соответственно, “выключение” гравитации можно проводить последовательным уменьшением отношения расстояния к планковской длине.

Планковская масса выражается через тройку наших фундаментальных констант так (смотри формулы (0.1)):

$$m_{pl} = \frac{\hbar}{cl_{pl}},$$

поэтому выражения (6.1), (6.2) можно переписать следующим образом:

$$G = \frac{\hbar c}{m_{pl}^2}, \quad (6.3)$$

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{m_1}{m_{pl}} \frac{m_2}{m_{pl}} \frac{\hbar c}{r^2} = \hbar c \frac{N_1 N_2}{r^2}. \quad (6.4)$$

При записи последней формулы была сохранена последовательность всех преобразований: эфиронные числа N_1, N_2 вводятся как отношения массы соответствующего тела к кванту массы (планковской массе). Выражение закона (6.4), в отличие от формы (6.2), имеет еще более квантовый вид. Его можно прочитать так: сила взаимодействия двух тел прямо пропорциональна произведению чисел квантов их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Наша интерпретация закона всемирного тяготения – развитие идеи о фундаментальности планковского масштаба. Как ее следствие, следует признать факт

квантованности массы на величину m_{pl} и существования частиц с такой массой. Согласимся, это уже самая настоящая революция. Но что делать, “кризис назрел”!

В 1967 году академик А.Д. Сахаров (1921–1989) написал небольшую статью “Вакуумные квантовые флуктуации в искривленном пространстве и теория гравитации”, значение которой, как нам представляется, со временем будет только расти. В ней ученый предложил объяснять ненулевую величину гравитационной постоянной упругими свойствами квантового вакуума. Немудрено, что друзья по цеху приняли эту идею в штыки. В самом деле, Сахаров предлагал забыть школьные представления о ньютоновской гравитации как дальнедействующей макроскопической силе и объяснять механизм ее воздействия упругостью вакуума, которая и приводит к проявлениям всемирного тяготения.



Рис. 40. Андрей Дмитриевич Сахаров, трижды Герой Социалистического Труда

Приведем ряд цитат из статьи профессора Принстонского института высших исследований С.Л. Адлера (Природа. 1990. № 8. С. 62-65):

- А.Д. Сахаров использовал термин “теория нулевого лагранжиана гравитационного поля”, что означало отсутствие изначально в теории гравитационного поля. Гравитация индуцируется изменением свойств вакуума в искривленном пространстве-времени. Отсюда возникший позже термин “индуцированная гравитация”;

- он исходил из того, что суть гравитации не в существовании кривизны пространства-времени, а в наличии большой “метрической упругости”, противодействующей сильному искривлению пространства-времени всюду, за исключением мест, где сконцентрировано очень много вещества;

- он постулировал, следуя идее М.А. Маркова, что в единой теории материальных полей эффективно существует максимальная масса виртуального кванта, примерно равная массе Планка (выделено авт. – А. А.).

Итак, Андрей Дмитриевич, отказываясь принимать фундаментальность гравитационной постоянной, объяснял ее проявлением квантовых колебаний на масштабах, ограниченных планковской длиной. Ее значение определялось им через масштабы $cl_{pl}\hbar$ (или, что одно и то же, через c, m_{pl}, \hbar). Сахаров получил следующую формулу:

$$G = \frac{12\pi}{c_0 m_{pl}^2 \ln|c_0/c_1|}, \quad (6.5)$$

где c_0, c_1 - некоторые постоянные. При вычислениях он использовал систему единиц, в которой скорость света и постоянная Планка полагаются равными 1, так что формулы (6.3) и (6.5) схожи между собой. Другими словами, Сахаров выступил как сторонник $cl_{pl}\hbar$

физики. Конечно, он оставался в рамках геометрофизической парадигмы и говорил о вакуумных колебаниях метрики криволинейного пространства, но это был, безусловно, революционный шаг в физике.

Известный популяризатор науки Г.Е. Горелик в книге “Кто изобрел современную физику? От маятника Галилея до квантовой гравитации” пишет: “Идея Сахарова открыла новый взгляд на эту неприступную крепость (квантовую гравитацию. – А. А.), давно осажденную теоретиками. В то время как его коллеги, расположившись вокруг бастиона боевым лагерем, обдумывали, какими катапультами и стенобойными орудиями проломить толстые стены, Сахаров увидел подземный ход, ведущий в центр крепости. Он предложил всерьез отнестись к тому, что во всех точках пространства-времени бурлит жизнь вакуума, и учесть воздействие этого бурления на поведение обычных физических объектов”. Увидев “подземный ход”, Андрей Дмитриевич, однако, по нему не пошел. Для этого нужно было заявить и о квантово-релятивистской основе закона всемирного тяготения, и о кванте массы, равной планковской...

Ко всему сказанному интересно добавить, что в общей теории относительности присутствует эйнштейновская гравитационная постоянная κ , являющаяся комбинацией универсальной гравитационной постоянной G и скорости света: $\kappa = 8\pi G/c^4$. Эта постоянная выступает в эйнштейновском законе тяготения как коэффициент пропорциональности между тензорами энергии-импульса и кривизны пространства. В рамках $cl_{pl}\hbar$ подхода выражение для нее имеет следующий вид:

$$\kappa = \frac{8\pi l_{pl}^2}{\hbar c}$$

Данная формула включает постоянную Планка, следовательно, теория Эйнштейна учитывает опосредованно и некоторые квантовые реалии гравитации. Теперь это вполне понятно, поскольку общая теория относительности обобщает теорию тяготения Ньютона, диктующую закон всемирного тяготения.

6.3. Квантовый механизм действия гравитации

Там в беспристрастном эфире
Взвешены сущности наши –
Брошены звездные гири
На задрожавшие чаши.

О. Мандельштам

Создание полновесной теории квантовой гравитации – дело будущего. Но у нас накопилось достаточно оснований, чтобы объяснить формулу для закона всемирного тяготения (6.4). Попробуем же разобраться, как действует гравитационное притяжение между двумя массами m_1 и m_2 .

Все материальные тела погружены в эфиронный конденсат. В нем они возбуждают частицы с планковской массой (эфироны). Такие виртуальные возмущения могут синхронизоваться в конденсате, и тогда по нему начинает распространяться волна. Ее можно представить как последовательное возбуждение эфиронов вдоль направления распространения волны. Отдельный эфирон, прожив планковское время и пройдя планковский отрезок длины, передает в момент своего исчезновения импульс рождающемуся тогда же соседу, тот возбуждает следующий эфирон и т. д. Такое волновое колебание не переносит массы, но передает импульс от одной точки пространства к другой. Это и есть тот самый загадочный гравитон, который ищут физики.

Гравитон – волновое колебание, распространяющееся в эфирном бозе-конденсате. Это квазичастица, то есть особое возмущение гравитационного эфира, переносящее внутри него импульс. В традиционных теориях гравитации, изучающих ее действие в пустом пространстве, обычно представляют гравитон частицей с нулевой массой. Стоит признать, что выражение “частица нулевой массы” является насилием над здравым смыслом. Это один из кошмариков современной теоретической физики, следствие игнорирования ею эфира. В сущности, называя гравитон частицей, физики заматают трудности его интерпретации под ковер. Уточняющее дополнение, что его масса равна нулю, призвана разъяснить ситуацию. Следуя ей, мы должны понять и принять, что гравитон на самом деле - квазичастица в некоторой среде, о которой физики не имеют никакого понятия и потому не упоминают о ней. Вводя модель гравитационного эфира, мы в корне меняем ситуацию, обрисовывая конкретные “контуры” этой среды.

Гравитон – коллективное колебание эфиронов. В силу нашего определения, характеризующего его как возмущение, передающееся по цепочке эфиронов, он распространяется со скоростью света. Как и всякой квантовой частице, квазичастице-гравитону можно приписать энергию и импульс в соответствии с формулами (3.3), (3.4).

Покажем теперь, что, используя наш подход, можно объяснить механизм действия закона всемирного тяготения. Рассмотрим вначале взаимодействие двух точечных материальных частиц, обладающих планковскими массами (двух максимонов) и находящихся на расстоянии r друг от друга. Планковская масса – квант массы, поэтому каждая из частиц излучает и поглощает одновременно по одному эфирону или, что то же самое, по одному гравитону. Пусть первая из частиц возбуждает гравитон, а вторая частица его поглощает.

Примем, что неопределенность импульса Δp , который передается от первой частицы второй, равна

$$\Delta p = \frac{\hbar}{r}. \quad (6.6)$$

Здесь при записи соотношения неопределенности для гравитона использован знак строгого равенства (r – неопределенность местоположения гравитона при взаимодействии). Вообще говоря, это наше предположение, которое впоследствии приведет к правильному результату. Но оно сделано не на пустом месте. Напомним, что принцип неопределенности для эфиронов выполняется в виде равенства (смотри формулу (4.1)). Почему бы тогда и для квазичастиц (гравитонов), соответствующих их коллективным колебаниям, не сохранить знак равенства?

Гравитон достигнет второй частицы через время $\Delta t = r/c$. Когда вторая частица поглотит его, то обмен гравитоном можно будет интерпретировать как взаимодействие с силой

$$F_{pl} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\hbar c}{r^2},$$

где нижний индекс означает, что сила соответствует притяжению частиц с планковскими массами. Она обратно пропорциональна квадрату расстояния, как того и требует закон всемирного тяготения.

Будем считать, что тело массы m одновременно излучает и поглощает $N = m/m_{pl}$ эфиронов. В таком случае первая частица излучает

$$N_1 = \frac{m_1}{m_{pl}} \quad (6.7)$$

квантов гравитационной энергии, а вторая частица поглощает

$$N_2 = \frac{m_2}{m_{pl}} \quad (6.8)$$

квантов. Но тогда выражение для силы, действующей на вторую частицу со стороны первой, получится домножением F_{pl} на $N_1 N_2$ и будет определяться равенством

$$F_{21} = \frac{\hbar c}{r^2} N_1 N_2 = \frac{\hbar c}{m_{pl}^2} \frac{m_1 m_2}{r^2} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Эта формула в точности соответствует закону (6.4).

Наш подход проясняет квантовый механизм действия гравитации. Подчеркнем, что вывод закона проводился в обычном евклидовом пространстве в предположении, что его заполняет тончайшая среда (гравитационный эфир или эфиронный конденсат). Гравитационное взаимодействие предложено описывать в рамках квантополевых моделей, где в качестве кванта массы выступает планковская масса. Это роднит предлагаемый подход с моделями конденсатов для трех других типов физических взаимодействий.

Принцип неопределенности традиционно формулируется как нестрогое неравенство. Но для составляющих изначальный вакуум частиц (эфиронов) и квазичастиц (гравитонов) он выполняется в форме строгого равенства (выражения (4.1), (6.6)). Закон всемирного тяготения эквивалентен трем равенствам: (6.6), (6.7) и (6.8). В связи с этим формулу (6.6) можно тоже охарактеризовать как закон, присущий первичному вакууму и определяющий его гравитационные свойства.

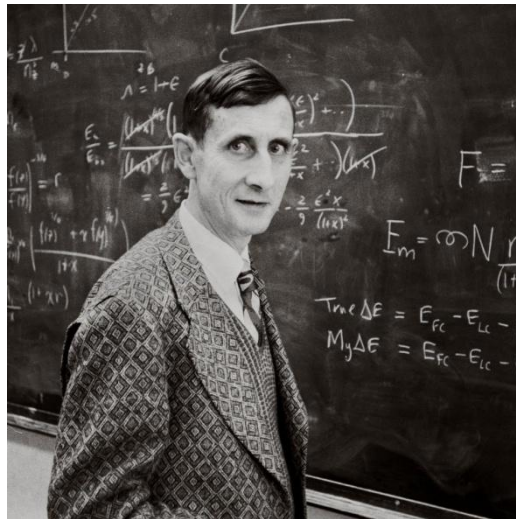


Рис. 41. Фримен Дайсон – американский физик-теоретик

На то, что планковская масса выступает квантом массы при гравитационном взаимодействии, уже указывает формула для энергии покоя (раздел 4.4). Это предположение блестяще подтверждается также при выводе квантовой формы закона Всемирного тяготения. Всю необычность и крайнюю важность этого результата хотелось бы подчеркнуть, обратившись к высказыванию одного из создателей квантовой электродинамики Фримена Дайсона (1923-2020). В рецензии на популярную книгу о теории струн и элегантной Вселенной он написал: “Любая теория квантовой гравитации предполагает частицу гравитон – квант гравитации, точно так же как фотон – квант света.

Наличие фотонов легко обнаружить, как показал Эйнштейн, по электронам, выбитым с поверхности металла под действием света. Но гравитационное взаимодействие неизмеримо слабее электромагнитного, и, чтобы обнаружить гравитон по электрону, выбитому с поверхности металла под действием гравитационных волн, пришлось бы ждать дольше, чем позволяет возраст Вселенной. Но, если отдельные гравитоны невозможно наблюдать в эксперименте, значит, они не имеют никакой физической реальности. Можно считать их несуществующими, подобно эфиру девятнадцатого века. И тогда гравитационное поле, описываемое теорией Эйнштейна, — это чисто классическое поле безо всякого квантового поведения”. Фактически Дайсон заявил, что квантовая гравитация физически бессмысленна, и еще никто из физиков не ответил на этот критический довод.

Говоря о “неизмеримой слабости” гравитации, Дайсон исходил из общепринятой традиции сопоставления электрической и гравитационной сил взаимодействия электрона и протона в атоме водорода. Элементарный расчет показывает, что электрическая сила в 10^{39} раз больше. В данном сопоставлении сил в качестве элементарных масс выступают массы протона и электрона. Но квантом массы, как мы показали, является планковская масса. А что, если сравнить электрическую силу притяжения между протоном и электроном с гравитационным притяжением двух планковских масс (максимонов), находящихся на том же расстоянии? Максимон тяжелее протона в 10^{19} раз, а электрона в 10^{22} раз. Теперь гравитационная сила будет даже больше ($22 + 19 > 39$), но силы двух взаимодействий в нашем примере уже не так сильно разнятся между собой. Нет, квантовая гравитация не так слаба, как до сих пор казалось. Физическая же реальность гравитонов проявляется в том, что закон всемирного тяготения работает как часы.

Вместе с тем остаются вопросы. Прежде всего, предложенный метод вывода закона всемирного тяготения не может объяснить, почему сила взаимодействия между двумя массами будет силой притяжения. Мы нашли ее величину, но не направление действия. При вычислениях нам не понадобилось знание спина гравитона. Структура гравитационных волн, диктуемая общей теорией относительности, указывает, что его предполагаемое значение равно 2. Видимо, именно с величиной спина связано свойство притяжения гравитирующих масс.

6.4. Яблоко Ньютона

В уме своем я создал мир иной
И образов иных существованье;
Я цепью их связал между собой,
Я дал им вид, но не дал им названья...

М. Лермонтов. Русская мелодия

В 2016 году я получил приглашение на научную конференцию в Кембридж. Для меня оно стало неожиданностью. Во-первых, никакой заявки на участие я не отправлял. Я уже много лет не ездил никуда, кроме своей деревни, и никакого желания путешествовать не испытывал. Во-вторых, приглашал меня авторитетный профессор, и я был единственным российским участником. Обычно наши ученые, наоборот, бомбардируют иностранных коллег просьбами о приглашении и оплате расходов. С моей стороны ничего такого не было. Но оба эти обстоятельства совершенно меркли по сравнению с третьим, которое совершенно не укладывалось в голове.



Рис. 42. Институт математических наук имени Исаака Ньютона

Кембридж – город Ньютона, родина его научного гения. Здесь он познавал тайны науки, корпел над формулами и придумывал эксперименты. Здесь он открыл знаменитый закон тяготения, самый красивый закон природы. Почему самый? Это закон притяжения, а притяжение всегда любовь, дружество, верность и желание помочь, это самая грандиозная сила в космосе и самая “человечная” из сил природы. Стоит только снизойти до земного и начать разглядывать отдельные части мира, как появляются силы отталкивания. Без них, конечно, ничего устойчивого не сложилось бы, но это уже конфликты, противостояния и интриги.

Я со школы полюбил закон тяготения. Есть в нем какая-то внутренняя правда жизни. Вот допустим, один человек в пять раз тяжелее другого, ну, то есть один взрослый, а другой ребенок. Один несет уже огромный груз пережитого, а другой только-только готовится взвалить его на свои плечи. Оба они очень разные, но закон Ньютона равно уважает и того, и другого, утверждая, что притягиваются они с одинаковой силой. Разве это не есть формула идеальной любви?

Говорят, что к догадке Ньютона подтолкнуло наблюдение падающего яблока, когда он мирно попил чай в своем саду. Ученого заинтриговало, что оно летит к центру Земли. Это означает, что притягивающая сила планеты сосредоточена в ее центре. Но тогда планету можно уподобить крошечной точке с массой Земли. Или образно: яблоко и Земля – две точечные массы, между которыми действует тяготение. Поняв это, Ньютон нашел математическое выражение закона. Его открытию предшествовала умозрительная ассоциация: яблоко подсказало ученому путь расчета.

Ньютон открыл формулу притяжения, но для него остался неизвестным механизм действия гравитации. Почему действует тяготение? Что таится внутри пустоты, так что между телами возникает притяжение? Может, наше пространство заполнено невидимой средой, которую называют эфиром? Физики до сих пор не проникли в тайну гравитации. Они научились рассчитывать движения планет, но, увы, так и не осознали, по какой причине те притягивают друг друга.

Я придумал свою теорию гравитации. И теперь самое время сказать о главной неожиданности приглашения. Оно пришло сразу после того, как я оформил свою теорию в виде статьи, а выступать я должен был в Институте Исаака Ньютона. И хотя тема доклада не была связана с гравитацией, меня не покидало ощущение, что мое путешествие задумано и поддерживается какими-то высшими силами.

* * *

При прохождении паспортного контроля в лондонском аэропорту женщина-офицер доброжелательно улыбалась. Узнав, что я ишу автобусную станцию, она нарисовала мне схему прохода. Автобус – самый простой способ добраться до Кембриджа, так как не требует пересадок. Я купил билет и спустя час ожидания удобно устроился в кресле автобуса. Теперь в течение трех часов мне предстояло разглядывать Англию из окна. Но оказалось, что рассматривать нечего. Маршрут огибал Лондон, и пустые поля быстро наскучили. Другое дело, что были остановки в небольших городках. Дома в них исключительно двухэтажные. Это стильно. Не знаю, насколько комфортно живется в таких каменных строениях, но внешне они выглядят замечательно.

Только я вышел из автобуса, как начал накрапывать дождик. Он был настолько мелкий, что не хотелось доставать зонтик. Поблизости стояли такси, но я настроился на пешую прогулку. Карту города и маршрут я выучил еще дома, сумка удобно висела на плече, и я не сомневался, что в течение получаса спокойно дойду до Института. А еще хотелось увидеть город.

Дождь, однако, становился сильнее, так что пришлось развернуть зонт. На улицах было полно людей, большинство из них шли без зонтиков, и эта всеобщая бесшабашность веселила и умиротворяла. Я почти сразу же вышел к Тринити-колледжу. В его стенах учился и преподавал сэр Исаак Ньютон. Стены колледжа поражали своей монументальностью. За ними можно было держать оборону, думал я, ускоряя ход, поскольку зонт уже не спасал, а туфли промокли насквозь.

Выбирая нужный поворот, я вдруг осознал, что город спланирован как лабиринт. Проулки уводили в сторону от основного пути. Таблички с названием улицы находились только в ее начале, и для ориентировки часто приходилось ходить из конца в конец. Однажды сбившись с пути, я стал ходить кругами. К тому времени я уже полностью промок, сырая сумка оттягивала плечо, и я уже жалел, что не воспользовался такси.

Я давно покинул центр, и теперь навстречу попадались лишь единичные прохожие. Пришло время спрашивать дорогу: я стал задавать вопросы всем подряд, но никто не мог сказать мне, где находится Институт Ньютона. Наконец один молодой человек, выслушав меня, понятливо закивал и указал рукой на виднеющееся вдали здание. Надо ли говорить, как я лихо одолел небольшой подъем, ведущий к нему. Но увидел нечто совсем неожиданное. Над входной дверью здания красовалась вывеска “Бар Исаака Ньютона”. Не буду хвалить свой английский. Скорее всего, англичанин разобрал только имя ученого и указал на ближайшее заведение, связанное с его именем.



Рис. 43. В баре сэра Исаака Ньютона

Позже я узнал, что для многих ученых, впервые попавших в Кембридж, поиски Института Ньютона превращались в путешествие по лабиринту. Но какая сила направила меня от Тринити-колледжа к бару Ньютона? Или это случайность? Не ведаю, только вот что определенно. Бар Ньютона знаменит тем, что внутри развешаны фотокопии страниц из знаменитых “Математических начал”, где и был опубликован закон всемирного тяготения. Для ученых этот бар – культовое место, и я почему-то должен был сразу засвидетельствовать в этом месте свое прибытие.

* * *

Институт Ньютона – прекрасная задумка. В нем нет постоянных научных сотрудников. Ученые из разных стран приезжают сюда на короткое время, чтобы обсудить определенную проблему. Для работы им предоставляются кабинеты, оборудованные всем необходимым. Что называется, живи и твори, тем более что прогулки по Кембриджу не могут не вдохновлять.

Включившись в жизнь института, я, однако, не забывал, что приехал в гости к Ньютону. Я погулял по Тринити-колледжу и увидел окно, где жил гений, посетил знаменитый бар его имени, где сфотографировался на фоне страницы “Начал”, пообедал в модном кафе “Тринити”, находящемся на одноименной улице прямо напротив входа в знаменитый колледж. За обедом я помянул сэра Исаака Ньютона бокалом эля. Наконец, приобрел эксклюзивные майки с его портретом.

В один из дней я отправился погулять в центр. К тому времени я уже хорошо ориентировался в городской топонимике и для разнообразия выбирал неизведанные до того тропы. Институт Ньютона является частью Центра математических исследований при Кембриджском университете. Раньше я обходил этот центр по периметру, а в тот раз решил пройти его насквозь. Дорожка, которую я выбрал, проходила мимо забора, за которым росла яблоня. Ее ветви свисали над забором, и на них красовались спелые желто-красные плоды. Одно из таких яблок лежало на земле, и я поднял его. Яблоко упало совсем недавно и подгнивало только в одном небольшом кружочке. Я аккуратно вытер яблоко и с наслаждением надкусил его. Оно было сочным, сладким и невероятно вкусным. Августовское солнце пробивалось сквозь кроны, и было ощущение, что ты оказался в раю и вкушаешь плод дерева познания. Время застыло, как и пространство вокруг. Каждая клеточка тела ощущала безмятежность и абсолютное счастье.

Забор был аккуратно сделан из струганых досок и выкрашен в темно-зеленый цвет. Высота его не позволяла заглядывать внутрь сада и уж тем более пытаться рвать яблоки. Для прохожего каждое из них олицетворяло запретный плод. Правда, спелое яблоко могло свалиться на землю точно так же, как это случилось с ньютоновским яблоком. Я вдруг подумал, что очутился в схожей с Ньютоном ситуации. И произошло это не где-нибудь в родной глубинке, а в Кембридже, в двух шагах от института, носящего имя ученого. Опять случайность?

Ньютон не был “сухарем”. Он не только не чурался мистики, но и осознанно причислял себя к числу избранных мыслителей, способных понимать шифры текстов и интерпретировать аллегории библейских книг. Он также прекрасно знал, что со Средних веков живописная традиция прочно связывала яблоко с символическим плодом дерева познания. Почему же в тот памятный вечер в своем саду он не поднял заветное яблоко и не надкусил его?..

Я стал внимательно изучать полянку. На ней во множестве лежали только гнилые плоды. Все они находились на земле уже долго, и ни на одном из них не было живого места. Выходило, что у найденного яблока – особая судьба, не связанная с историей остальных плодов. Оно ждало меня...

Я назвал его яблоком Ньютона.

* * *

Статью о гравитации я посылал в самые престижные журналы. Все они печатать ее отказались.

Но я твердо убежден в ее правильности.

- Откуда такая уверенность? – спросите вы.

- Я съел яблоко Ньютона.

ГЛАВА 7

Лик светоносного эфира

Свет перед нами летел над волнами эфира.

Мне открывалось иное сияние мира.

Полный восторга и трепета, я произнес:

- Мы над Землей? – Над Вселенной! – ответил Христос...

Ю. Кузнецов

Гравитационный эфир – основа Сетки эфиров, ее низший, глубинный слой. Все другие структурные составляющие Сетки погружены в него. Одной из таких составляющих служит фотонный конденсат – виртуальная среда, ответственная за распространение электромагнитных взаимодействий. Электромагнитное поле описывается в терминах электрического и магнитного полей, но само описание является формальным, поскольку внутренняя природа этих полей абсолютно неясна. На вычисления это никак не влияет, и расчеты на основе уравнений электродинамики блестяще согласуются с экспериментами. Но вопрос о том, что же колеблется в вакууме при распространении в нем электромагнитной волны, продолжает висеть в воздухе уже который век.

Физики принципиально не могут дать ответа на него, так как в свое время отказались от идеи светоносного эфира. Уравнения Максвелла допускают существование электромагнитных волн в пустом пространстве. Оно не содержит ни молекул, ни атомов, ни заряженных частиц – традиционных источников излучения. Какое же материальное наполнение воспроизводит и поддерживает электромагнитные колебания в вакууме? Ответ на этот вопрос выходит за рамки электродинамики, но его отсутствие свидетельствует о недостаточном понимании структуры вакуума.

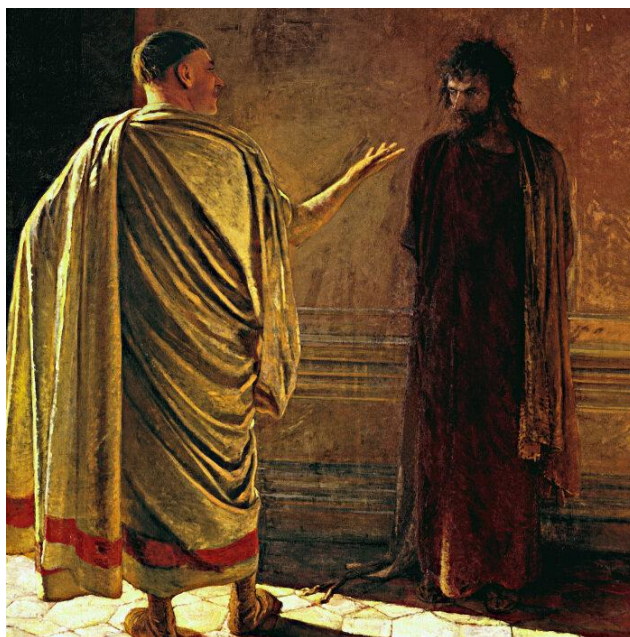


Рис. 44. Н. Ге. Что есть истина? Христос и Пилат

За семью печатями для физиков остается и природа света. Разговор о его сущностном наполнении они перевели опять-таки на формализованный уровень корпускулярно-волнового дуализма света. Квантовые представления о свете хорошо согласуются с законами его излучения, поглощения и взаимодействия излучения с веществом, а волновая концепция объяснила интерференцию, дифракцию и поляризацию света. Но концепция корпускулярно-волнового дуализма игнорирует тему среды, порождающей свет. Физики чураются ее, предпочитая говорить о частицах с нулевой массой покоя (фотонах). На нелепость такого термина мы уже обращали внимание при обсуждении гравитона. Повторимся, правильность математических выкладок от этого понятийно-терминологического казуса никак не страдает, но он указывает на неполноту и искаженность истинной картины мира. Ну, нелепо говорить о частицах с нулевой массой покоя.

В культурологическом аспекте свет – неизменный спутник Истины, а в христианстве – неотъемлемый атрибут Христа. Геометрофизика лишила свет сущностного начала, обезличила его. Но пришла пора восстановить Истину и открыть лик светоносного эфира.

7.1. Что есть свет?

Хотя существуют чрезвычайно убедительные доказательства в пользу предположения, что свет распространяется посредством колебаний, мы находимся, однако, почти в полном неведении в вопросе о том, что именно колеблется и каков характер этих колебаний.

Лорд Рэлей,
нобелевский лауреат 1904 года

Зачем же ты, бродяга, <...> смущал народ, рассказывая про истину, о которой ты не имеешь представления? Что такое истина?

В конце XVII века почти одновременно возникли две, казалось бы, взаимоисключающие теории света. Исаак Ньютон предложил теорию, согласно которой свет представляет собой поток частиц (корпускул), вылетающих из источника света. В отличие от него нидерландец Христиан Гюйгенс выдвинул волновую теорию, в которой свет рассматривался как упругая волна, распространяющаяся в мировом эфире.

В восемнадцатом столетии физики почти единодушно придерживались ньютоновской теории, волновая же теория насчитывала лишь несколько сторонников (в их числе был и великий математик Леонард Эйлер). Однако положение вещей в корне изменилось к началу XIX века, когда благодаря открытию Юнга выяснилось, что при интерференции два световых луча могут взаимно ослаблять друг друга - явление, совершенно необъяснимое с корпускулярной точки зрения. В ходе дальнейших исследований Томас Юнг и Огюст Френель объяснили на основе волновых представлений все известные в то время оптические явления (дифракцию, интерференцию, поляризацию и дисперсию). В результате волновая теория получила всеобщее признание, а корпускулярная была забыта почти на столетие. В эпоху доминирования волновой концепции Джеймс Максвелл указал, что свет - это поперечные электромагнитные волны, а Генрих Герц (1857-1894) доказал их существование.

Новый поворот во взглядах на свет произошел после эпохальной работы Макса Планка о квантах излучения. Развивая его идею, Альберт Эйнштейн предположил, что не только испускание света, но и его распространение происходит в виде потока световых квантов - фотонов. Используя эту идею, ученый объяснил фотоэффект, и за это достижение получил в 1921 году Нобелевскую премию. Сам Эйнштейн поначалу использовал понятие "световой квант", а термин "фотон" ввел американский химик Гилберт Льюис в 1926 году.

Современная наука рассматривает фотон как безмассовую частицу, способную существовать в вакууме, только двигаясь со скоростью света. В этом месте мы предлагаем читателю остановиться и задуматься – что же это за странная "частица"? В абсолютной пустоте (современная наука исключила существование эфира) со скоростью света летит "нечто", не обладающее ни массой, ни размером, ни какой-либо внутренней структурой. Наше научное определение в данном случае сродни сказочному выражению "ни мышонок, ни лягушка, а неведома зверушка". Но все становится на свои места, если признать, что роль вакуума играет светоносный (электродинамический) эфир, и в нем со скоростью света распространяется волновое колебание, или квазичастица.

Понятие "безмассовая частица" означает, что фотону нельзя приписать массу покоя. Согласно формулам специальной теории относительности для частицы, движущейся со световой скоростью, она должна равняться бесконечности. Покоящихся фотонов не существует (в действительности, не существует и фотонов, движущихся в вакууме с любой другой скоростью, отличной от скорости света), что принципиально отличает фотон от других фундаментальных частиц, тех же электронов и протонов. Это не обычные (в привычном смысле) частицы, вернее, это вообще не частицы. И надо со всей определенностью признать, что

фотон – это квазичастица.

Разумеется, наше переопределение никак не скажется на математическом описании распространения фотонов, это философско-методологический аспект естественнонаучной картины мира, но он крайне важен.

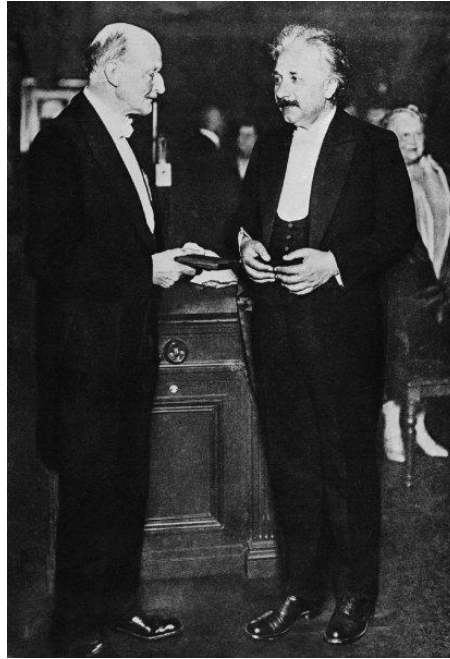


Рис. 45. Макс Планк и Альберт Эйнштейн

После такой преамбулы имеет смысл вновь вернуться к разговору о светоносном эфире. В разделе 2.2 уже говорилось, что максвелловские уравнения электромагнетизма можно получить из модели турбулентного движения жидкости. Это доказали независимо лорд Кельвин (смотри упоминавшуюся ранее книгу Э. Уиттекера) и О.В. Трошкин (Доклады АН СССР. 1989. Т. 307. № 5. С. 1072-1076). Но их результаты имели формальный характер: ни тот, ни другой не указали, какая среда выступает в роли эфира. Наш подход, однако, позволяет наполнить математические построения исследователей конкретным содержанием и предложить полное решение проблемы электромагнитного эфира.

Мы исходим из идеи, что вакуум есть структурированная среда, представляющая Сетку эфиров, “вложенных” один в другой. Основной слой Сетки – гравитационный эфир (бозе-конденсат эфиронов), служащий переносчиком гравитационных взаимодействий. Электромагнитный эфир – более сложная структура, возникшая внутри него. Наша ключевая идея состоит в предположении, что электромагнитный эфир является турбулентной фазой эфиронного конденсата (изначального вакуума).

Рассмотрим ансамбль виртуальных эфиронов как сплошную турбулизованную среду. Выделим в ней элементарный объем с линейным масштабом L , существенно превышающим длину Планка ($L \gg l_{pl}$). Он будет включать огромное число эфиронов. Они движутся со скоростью света, но в самых разных направлениях, поэтому, когда их достаточно много (масштаб L достаточно велик), то скорость этого выделенного объема \vec{u} будет заведомо мала (много меньше) скорости света. Это значит, что для описания движения “эфиронной” жидкости можно использовать уравнения классической (нерелятивистской) гидродинамики:

$$\frac{\partial u_k}{\partial x_k} = 0; \quad \frac{\partial u_k}{\partial t} + u_\alpha \frac{\partial u_k}{\partial x_\alpha} = 0, \quad (7.1)$$

где $\vec{u} = \{u_k\}$, x_k – декартовы координаты, нижние индексы пробегает значения 1, 2, 3, по повторяющимся индексам подразумевается суммирование. Первое из этих соотношений – уравнение непрерывности (условие $div \vec{u} = 0$), а второе – уравнение Эйлера, где мы пренебрегли влиянием давления (как-никак это вакуум). Влияние вязкости тоже не учитывается, так что “жидкие” частицы движутся по инерции. Уравнения (7.1)

инвариантны по отношению к галилеевым преобразованиям (не меняют своего вида при переходе в другую инерциальную систему).

В турбулентном движении скорость в данной точке является случайной функцией. Ее можно представить так:

$$u_k = \overline{u_k} + u'_k, \quad (7.2)$$

где черта означает усреднение по достаточно большому промежутку времени T (в нашем случае намного превосходящему планковское время). В правой части формулы (7.2) первое слагаемое – это усредненная скорость, а второе описывает случайные отклонения от него. Оно связано с флуктуациями, вносимыми эфиронами, и может принимать самые разные значения, даже равные скорости света. Но при усреднении по периоду $T \gg t_{pl}$ оно даст ноль:

$$\overline{u'_k} = 0. \quad (7.3)$$

Усреднение уравнений (7.1) приведет к следующим соотношениям:

$$\frac{\partial \overline{u_k}}{\partial x_k} = 0; \quad \frac{\partial \overline{u_k}}{\partial t} + \overline{u_\alpha} \frac{\partial \overline{u_k}}{\partial x_\alpha} + \frac{\partial \tau_{kl}}{\partial x_l} = 0, \quad (7.4)$$

где $\tau_{kl} = \overline{u'_k u'_l}$ - напряжения Рейнольдса. Наличие пульсационных скоростей в турбулентном потоке приводит к образованию дополнительных напряжений, которые имелись бы в ламинарном потоке, если бы распределение скоростей в нем совпадало с распределением осредненных скоростей в турбулентном потоке. Они квадратичны по пульсациям скорости, и потому, в отличие от выражения (7.3), имеют ненулевые значения.

Используя уравнения (7.1), найдем также уравнение для напряжений Рейнольдса:

$$\frac{\partial \tau_{kl}}{\partial t} + \overline{u_\alpha} \frac{\partial \tau_{kl}}{\partial x_\alpha} + \tau_{k\alpha} \frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_\alpha} + \tau_{l\alpha} \frac{\partial \overline{u_k}}{\partial x_\alpha} = 0. \quad (7.5)$$

В этом выражении мы пренебрегли “незамкнутым” членом – третьим моментом турбулентных пульсаций, записываемым в виде $\frac{\partial}{\partial x_\alpha} \overline{u'_k u'_l u'_\alpha}$. Оправданность такого шага будет обсуждаться в конце раздела.

Итак, относительно средней скорости и напряжений Рейнольдса мы имеем нелинейную систему трех уравнений (7.4), (7.5). У нее имеется решение

$$\overline{u_k} = \overline{u_k^0} = 0; \quad \tau_{kl} = \tau_{kl}^0 = c^2 \delta_{kl}; \quad \delta_{kl} = \begin{cases} 1, & k = l \\ 0, & k \neq l \end{cases}, \quad (7.6)$$

описывающее покоящуюся в среднем турбулизованную среду с изотропным распределением пульсаций скорости. Величина постоянной c здесь определяется равенством

$$c = \sqrt{(\tau_{11} + \tau_{22} + \tau_{33})/3} = \sqrt{(u_1'^2 + u_2'^2 + u_3'^2)/3}. \quad (7.7)$$

Она определяется лишь пульсационной составляющей скорости и равна корню квадратному из третьей части энергии пульсаций. Естественно выбрать ее равной скорости света.

Рассмотрим теперь течение эфирной среды, соответствующее малым отклонениям от движения (7.6). Обозначим отклонения от равновесных значений новыми переменными

$$\xi_k = \bar{u}_k - \bar{u}_k^0, \quad \eta_{kl} = \tau_{kl} - \tau_{kl}^0$$

и подставим их в уравнения (7.4), (7.5). После пренебрежения квадратичными слагаемыми получим следующую систему уравнений:

$$\frac{\partial \xi_k}{\partial x_k} = 0, \quad (7.8)$$

$$\frac{\partial \xi_k}{\partial t} + \frac{\partial \eta_{kl}}{\partial x_l} = 0, \quad (7.9)$$

$$\frac{\partial \eta_{kl}}{\partial t} + c^2 \left(\frac{\partial \xi_k}{\partial x_l} + \frac{\partial \xi_l}{\partial x_k} \right) = 0. \quad (7.10)$$

Введем векторные поля $\vec{E} = \{E_k\}, \vec{A}, \vec{H}$ с помощью тождеств

$$E_k = \frac{\partial \eta_{kl}}{\partial x_l}, \quad \vec{A} = c \cdot \vec{\xi}, \quad \vec{H} = \text{rot } \vec{A} = c \text{ rot } \vec{\xi}, \quad (7.11)$$

где $\vec{\xi} = \{\xi_k\}$ – вектор усредненной скорости. Это стандартные обозначения электромагнитной теории – напряженности электрического поля \vec{E} , векторного потенциала \vec{A} и напряженности магнитного поля \vec{H} . Из самого определения магнитного поля следует, что

$$\text{div } \vec{H} = 0. \quad (7.12)$$

Уравнение (7.8) эквивалентно соотношению $\text{div } \vec{A} = \text{div } \vec{\xi} = 0$ (условие лоренцевой калибровки). Учитывая его при применении операции дивергенции к уравнению (7.9), получаем, что

$$\text{div } \vec{E} = 0. \quad (7.13)$$

Взятие ротора от выражения (7.9) приводит к уравнению

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}. \quad (7.14)$$

Наконец, если взять дивергенцию от выражения (7.10) и, помня об условии калибровки, воспользоваться тем, что

$$\Delta \vec{\xi} = -\text{rot rot } \vec{\xi},$$

то придем к уравнению

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}. \quad (7.15)$$

Соотношения (7.12)-(7.15) совпадают с уравнениями Максвелла в вакууме. Они, как и исходные уравнения (7.4), (7.5), описывают распространение поперечных электромагнитных волн в вакууме. Сопоставляя эти системы уравнений, мы можем сделать заключение о сущностной основе электрического и магнитного полей. Она связана с усредненным полем скорости виртуальных эфионов. Магнитное поле пропорционально ротору его усредненной скорости (завихренности), а k – компонента электрического поля равна дивергентности от соответствующей строки тензора напряжений Рейнольдса (точнее, дивергенции от вектора, координатами которого являются элементы данной строки этого тензора). Магнитное поле отражает меру закрутки эфиронной среды, электрическое поле, если вспомнить теорему Остроградского-Гаусса, потоковые свойства напряжений Рейнольдса.

В этом месте некоторые физики-профессионалы должны хмыкнуть, мол, ну и что в том, что мы наконец-то выяснили природу электромагнитного поля. Что от этого изменилось? Мол, как решали задачи, используя уравнения Максвелла, так и будем продолжать в том же духе, а эфиронный конденсат – не нужная электродинамике реальность. Что ж, здоровый консерватизм – дело понятное. Но рано или поздно даже консервативно настроенные физики перестанут называть фотон частицей: в самом деле, сколько же можно смешить людей?

Уравнения Максвелла (7.12)-(7.15) инвариантны по отношению к преобразованиям Лоренца. Этим же свойством обладают и линеаризованная система для отклонений усредненных величин (7.8)-(7.10). Поскольку добавление к \vec{u} заданного (не случайного) векторного поля $\vec{a} = \vec{a}$ не меняет пульсационной составляющей \vec{u}' , то есть

$$(\vec{u} + \vec{a})' = (\vec{u} + \vec{a}) - \overline{(\vec{u} + \vec{a})} = \vec{u} - \overline{\vec{u}} = \vec{u}',$$

величина c оказывается инвариантом (см. формулу (7.7)), а значит, не зависит от выбора инерциальной системы отсчета. Автор этого результата О.В. Трошкин пишет по этому поводу довольно бесстрастно: “Получение уравнений Максвелла, инвариантных к преобразованиям Лоренца, из уравнений классической механики, инвариантных к преобразованиям Галилея, выявляет, по-видимому, некоторый новый сюрприз статистического осреднения, дополняющий известные парадоксы” (Этюды о турбулентности. М.: Наука, 1994. С. 59-74). Данный результат, помимо своей парадоксальности, подталкивает к весьма серьезным методологическим размышлениям. Классическая гидродинамика (механика) порождает полевую модель Максвелла, что заставляет усомниться в первичности лоренц-инвариантных (геометрофизических) теорий вакуума. Вместе с тем это служит серьезным аргументом в пользу нашей эфиронной концепции вакуума и вытекающих из нее следствий.

При записи уравнения (7.5) было отброшено слагаемое, представляющее дивергенцию от третьего момента пульсаций скорости. Оно не выражается через компоненты средней скорости и тензора напряжений Рейнольдса. Этот “незамкнутый” член описывает турбулентную диффузию. Его учет приводит к появлению в уравнении (7.15) тока, обусловленного диффузией напряжений Рейнольдса. При распространении электромагнитных волн в вакууме он несущественен, и пренебрежение им было вполне законной операцией.

7.2. Физический смысл постоянной тонкой структуры

Постоянная тонкой структуры, определяющая интенсивность электрического силового поля, вычисляется исключительно путем измерений. Мы понятия не имеем, почему приблизительно

она равна $1/137$.

Д. Гросс,
нобелевский лауреат по физике 2004 г.

Начну с истории, которая случилась со мной на конференции в Мюнхене в 2008 году (про поездку на нее я упоминал в предисловии). Моя специализация в науке – гидродинамика, и все, что я пишу в этой книге, является отклонением от основного направления научной деятельности – изучения движения вихрей в жидкости и волн на воде. Вступать в чужую епархию, да еще с новыми идеями – дело практически обреченное. Сейчас, спустя двенадцать лет, с удивлением думаю, как я вообще отважился ехать на мероприятие, где никого не знаешь, мало что понимаешь, да еще имеешь в активе идею эфироподобного вакуума. Мера моей наивности явно зашкаливала, но я почему-то не сомневался, что делаю все правильно. Задача была предельно проста: зафиксировать идею эфиронов на международном уровне.

Говорить о каком-то интересе к моему стендовому докладу вообще не стоит. Люди подходили, но текст их совсем не впечатлял. Меня это нисколько не задевало, поскольку я чувствовал, что уровень моей наглости запредельный. В самом деле, вводить новую элементарную частицу, да еще утверждать, что она является первичной, – дорогого стоит. Подавляющее большинство физиков избегает размышлений на подобные темы, поскольку они знают, что за отступление от канонов пресс академической системы тебя торжественно раздавит. Во всяком случае имя твое попадет в черный список возмутителей спокойствия, а это верный конец успешной научной карьеры. Плыть против течения не очень приятное занятие, но я интуитивно чувствовал, что делаю все правильно. Почему?

Параметры всех элементарных частиц физики определяют из экспериментов. Почему электрон или протон обладают именно такой массой, никто объяснить не в состоянии. Но это частицы, появившиеся в процессе эволюции мира, на втором, третьем и т. д. шаге его развития. Если же говорить о первичных объектах, составляющих структуру вакуума, то их параметры не должны быть случайными числами и должны соотноситься с физическими законами нашего мира. Идея выразить параметры первичной частицы через планковские константы очень красивая. Я влюбился в нее сразу же...

Даже после самых великих умов в науке остается, как правило, два-три их результата. Современные ученые имеют в активе сотни работ, но редко кто из них перешагивает этот “барьер”. Значительные идеи – большая редкость, и модель эфирона с самого начала представлялась мне крайне перспективной. Я решил озвучить ее на всех возможных уровнях, невзирая на очевидные негативные последствия для репутации, так что дорога на Мюнхен выросла в голове вполне естественно.

Ньютон признавался, что своими успехами обязан тому, что стоял на плечах гигантов. Преемственность идей и подходов исследования – непереносимое условие творчества. Планковские масштабы прочно вошли в арсенал теоретической физики, но, я думаю, Макс Планк мечтал о более значительной их роли. Я исходил из внутреннего убеждения, что программа, намеченная Планком, не доведена до логического конца. Это обстоятельство вдохновляло меня идти своим путем и подталкивало ехать в Мюнхен, где Планк “счастливо провел юные годы”, учился в Университете и защитил диссертацию. Меня не покидала уверенность, что я ищу воплощения надежд Планка о понимании реальности, существующей в пределах введенных им масштабов.

Среди участников конференции был еще один ученый-россиянин – Вячеслав Иванович Докучаев. Он-то и подошел первым к моему стенду. Мы познакомились, много беседовали и гуляли по городу. Предельно доброжелательный и чрезвычайно корректный в общении, Вячеслав Иванович, как большой профессионал в космологии, разъяснял всякие “мелочи”, о которых я и не задумывался. Однажды, путешествуя по мюнхенским

улочкам, мы оказались вблизи моей гостиницы, и я предложил зайти попить чайку. Перед входом в мой номер Вячеслав Иванович неожиданно остановился и сказал:

- Номер комнаты – 137, как в знаменателе постоянной тонкой структуры, - и затем непринужденно добавил: это похоже на вызов вам.

- Объяснить ее смысл? – спросил я.

- Да, - засмеялся Вячеслав Иванович, - типа того.

Мы еще порядком пошутили, обыгрывая это “случайное” совпадение. Но чем больше я думал о нем, тем оно высвечивалось все в более интересном ракурсе. На некотором этапе жизненного пути неотвратимо приходит осознание, что ничего случайного с нами не происходит. Во всех самых неожиданных поворотах судьбы есть причинно-следственные предпосылки. Мюнхен – “город шпионов”, и его воздух, как деликатно нашептывает культурологическая традиция, напичкан тайнами. Номер комнаты со временем я стал воспринимать как знак судьбы. Если брать “сухой остаток”, с научной точки зрения поездка в Мюнхен обернулась лишь “заданием” объяснить постоянную тонкой структуры. Кто его поставил и почему так произошло – вопрос отдельный (уже не относящийся к физике). Но если признать, что во всем, что происходит с нами, нет ничего бессмысленного, то логика жизненных событий должна вписываться в том числе и в выбор тем для размышлений. В общем, с некоторых пор я стал думать над тайной постоянной тонкой структуры и верить, что однажды смогу прояснить ее смысл.

Из физических экспериментов следует, что сила взаимодействия двух электронов (или любых частиц, заряды которых численно равны кванту электрического заряда e) определяется формулой:

$$F_e = \frac{\alpha \hbar c}{r^2}. \quad (7.16)$$

Где α - безразмерная постоянная, характеризующая силу электростатического взаимодействия. Численное значение α вычислено с большой точностью:

$$\alpha = 1/137,03599911(46) \cong 1/137,$$

однако до сих пор так и остается теоретически необъясненным.

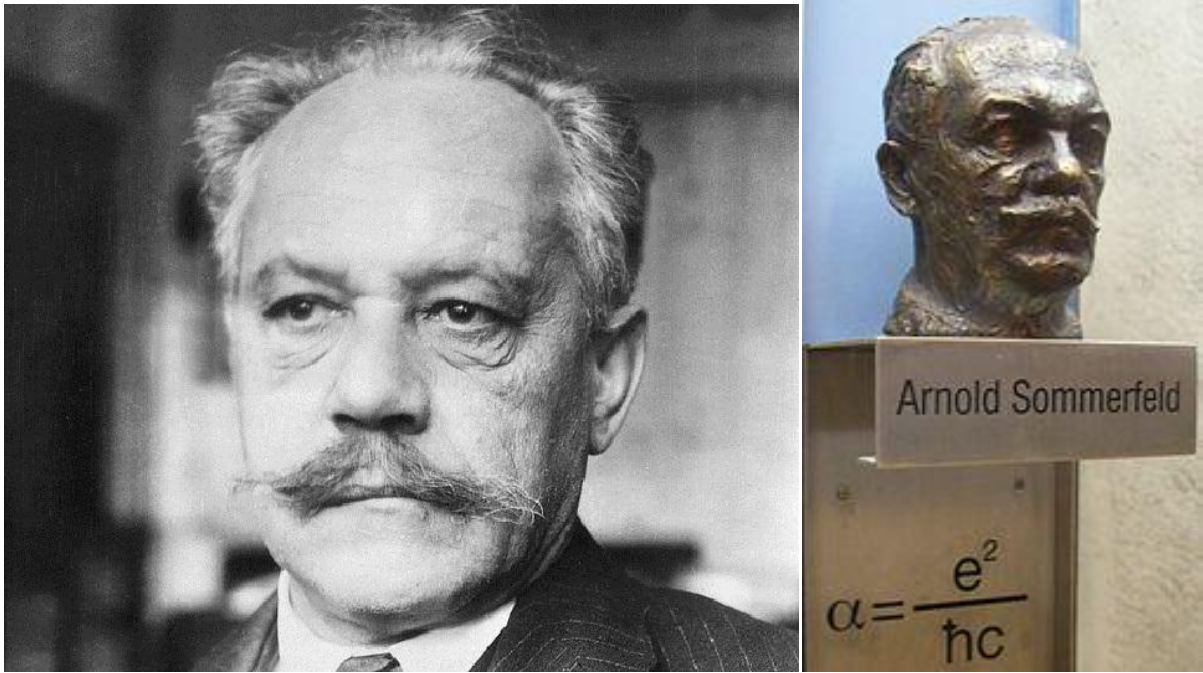


Рис. 46. Немецкий физик Арнольд Зоммерфельд, с 1917 по 1951 год почти ежегодно выдвигался на Нобелевскую премию в общей сложности 84 раза (больше всех), но так и не получил ее. Справа – мемориал ученому в Мюнхенском университете

История этой постоянной начинается с работ профессора Мюнхенского (!) университета Арнольда Зоммерфельда (1868–1951). Он ввел ее в 1915 году в качестве меры релятивистских поправок при описании атомных спектральных линий в рамках модели атома Бора для характеристики так называемой тонкой структуры спектральных линий (расщепления энергетических уровней атома). Иногда ее называют также постоянной Зоммерфельда, который записал ее в виде

$$\alpha = \frac{e^2}{\hbar c}. \quad (7.17)$$

Это выражение, рассматриваемое независимо, является определением элементарного заряда в гауссовой системе единиц. С учетом соотношения (7.17) сила взаимодействия двух электронов переписывается так:

$$F_e = \frac{e^2}{r^2}. \quad (7.18)$$

Формула (7.18) представляет запись хорошо известного всем со школьных времен закона Кулона для двух электронов. Константа Зоммерфельда присутствует в ней виртуально (через определение заряда электрона).

В 1920-е годы численное значение постоянной тонкой структуры было известно еще недостаточно точно, и измерения показывали, что α^{-1} близка к числу 135,9. В этот период некоторые физики, основываясь на принципе простоты законов природы, полагали, что это число может быть целочисленным и равным 136. К их числу относились Эддингтон, Зоммерфельд и многие другие. Так, в 1928 году Эддингтон опубликовал статью, где представил релятивистское уравнение Дирака для электрона на основе 16-мерной геометрии. В его описании число 136 соответствовало числу независимых элементов симметричной матрицы 16×16 , которое ученый интерпретировал как число степеней свободы электрона. Уже в 1930 году, когда выяснилось, что постоянная Зоммерфельда близка к 137, Эддингтон изменил свою теорию, просто прибавив электрону еще одну степень свободы. В течение нескольких лет его гипотеза казалась

приемлемой, но в конце 1930-х годов стало окончательно ясно, что постоянная α^{-1} - число нецелое.



Рис. 47. Вольфганг Паули, нобелевский лауреат за 1945 год

Зоммерфельд поначалу поддерживал “пифагорейскую” идею Эддингтона и даже восхищался ею, называя “гениальной догадкой”. Но для его ученика Вольфганга Паули (1900-1958) спекулятивный характер эддингтоновских построений был очевиден сразу же. В письме шведскому физика Оскару Клейну (1894–1977) от 18 февраля 1929 года он писал: “Я теперь рассматриваю “труд-136” (“136-Arbeit”) Эддингтона как полную чушь; более точно – как романтическую поэзию, но не физику”. Паули воспитал в себе и ценил в других стремление к совершенству высказываемых идей. Он безжалостно критиковал ошибки своих коллег и часто отзывался об их работах как о совсем неверных или комментировал статью примерно так: “Это не только неправильно, это даже не дотягивает до ошибочного!” В кругах физиков ходила по этому поводу такая шутка: “После смерти Паули удостоивается аудиенции у Бога. Паули спрашивает Бога, почему постоянная тонкой структуры равна $1/137$. Бог кивает, идет к доске и начинает со страшной скоростью писать уравнение за уравнением. Паули смотрит сначала с большой удовлетворенностью, но вскоре начинает сильно и решительно отрицательно качать головой”.

Эта история варьировалась и пересказывалась на разные лады. Артур Миллер в своей книге “Расшифровывая космическое число” написал: “Паули однажды сказал, что если бы Господь позволил спросить его о том, чего Паули хочет, то его первым вопросом было бы: “Почему $1/137$?” Злые языки утверждают, что после своей смерти физик хотел адресовать этот вопрос по прямо противоположному адресу – предводителю темных сил. Упоминание потусторонних сил в околонуточном фольклоре – большая редкость, свидетельствующая о запредельности проблемы. Вот и один из величайших физиков XX столетия Ричард Фейнман писал о числе 137: “Оно было окутано тайной с тех самых пор, как было обнаружено более пятидесяти лет тому назад, и все физики-теоретики повесили его в рамке на стене у себя в кабинетах, от чего беспокойство их не стало меньше. Оно является величайшей тайной физики: магическое число, которое пришло к нам, оставшись непонятным для человека. Можно было бы сказать: “Рука Бога написала это число, и мы не знаем, что двигало его карандашом”.

Со студенческих лет, проведенных в Мюнхенском университете, Вольфганг Паули стал думать о смысле постоянной тонкой структуры. Не случайно именно его, ученика Зоммерфельда, молва связала с ее тайной. Возможно, тут не обошлось и без одного рокового совпадения. В 1958 году Паули заболел и попал в больницу. Когда его помощник Чарльз Энц пришел к больному, Паули спросил его: “Вы видели номер палаты?” Это был номер **137**. Паули умер в этой палате 15 декабря того же года.

Постоянная Зоммерфельда – главное “магическое” число современной физики. Часто замки физических кафедр кодируют шифром 137, а студенты-романтики, попадающие в комнату общежития с таким номером, начинают проявлять повышенный интерес к этой загадочной постоянной. “Игра” эта заразительная, и в коридоре мюнхенского отеля Вячеслав Иванович, сам того не ведая, вовлек меня в нее.

Физики-профессионалы обычно довольствуются заключением, что постоянная тонкой структуры является отношением двух энергий:

- энергии E_{el} , необходимой, чтобы преодолеть электростатическое отталкивание между двумя электронами, сблизив их с бесконечности до некоторого расстояния s (она равна e^2/s),

- и энергии фотона E_{ph} с длиной $2\pi s$ ($E_{ph} = \hbar c/s$).

Очевидно, что это всего лишь грамотная терминологическая эквилибристика. И Паули, и Фейнман знали про такую возможность интерпретации постоянной, но считали ее поверхностной. Она не выводит мысль за пределы квантовой электродинамики, и заведомо не ее мечтали узнать лучшие физики планеты.

В своем истолковании формулы (7.17) мы будем следовать логике и духу нашего исследования. Легко убедиться, что постоянная Зоммерфельда равна отношению силы электростатического взаимодействия двух квантов электрического заряда F_{el} (электрона и протона или двух электронов) к силе притяжения двух квантов массы F_m (двух частиц с планковской массой – максимонов):

$$\frac{F_{el}}{F_m} = \frac{e^2}{r^2} : \frac{Gm_{pl}^2}{r^2} = \frac{e^2}{\hbar c}. \quad (7.19)$$

Здесь мы воспользовались формулой (6.3) для гравитационной постоянной G . Тем самым, постоянная Зоммерфельда определяет соотношение характерных величин сил для двух фундаментальных взаимодействий – гравитационного и электромагнитного.

Традиционно их относительный уровень действия рассматривают на примере атома водорода и сравнивают по величине электростатическую и гравитационную силы взаимодействия в нем электрона и протона. Первая из них в 10^{39} раз больше второй, что служит основанием говорить о слабости гравитации при взаимодействии элементарных частиц. Но выбор масс электрона или протона в качестве эталонной меры гравитации ничем не обосновывается. Мы привели достаточное количество доказательств, что квантом массы следует считать планковскую массу. И сила притяжения между квантами массы оказывается в 137 раз больше, чем сила электростатического взаимодействия между квантами электрического заряда. Постоянная тонкой структуры открывает путь к пониманию квантовой гравитации, и это есть тот глубинный смысл, который предчувствовал в ней Паули.

Особо подчеркнем, что к представлению постоянной Зоммерфельда в виде (7.19) прийти довольно просто. Это хорошо известно физикам, и те же Паули и Фейнман прекрасно знали об этом. Но решающий шаг для использования формулы состоит в том, что планковская масса выступает в качестве кванта гравитационного взаимодействия. Шаг этот был подготовлен ходом нашего исследования, и мы первыми сделали его.

ГЛАВА 8

О темной материи

Я обратил внимание на то, что открытие темной материи очень напоминает описанные Куном научные революции. А в 1985 году в Принстонском университете состоялась конференция, посвященная темной материи. В заключительном слове Скотт Тремейн назвал историю ее обнаружения типичной научной революцией.

Яан Эйнасто

Эпиграфом к главе выбрана цитата из книги “Сказание о темной материи”. В ней известный эстонский астрофизик Яан Эйнасто (родился в 1929 году) рассказывает о череде научных исследований, приведших ученый мир к неопровержимому выводу о существовании в нашем мире нового вида материи, отличающегося от обычных веществ, из которых состоим мы и с которыми имеем дело на Земле.

При изучении динамики звезд в галактиках астрономы заметили, что звезды на периферии вращаются так же быстро, как и в центре. Расчеты, однако, показывали, что вращение отдаленных звезд должно происходить намного медленнее. Правильным разрешением этого противоречия стало предположение о наличии в галактиках значительной доли невидимого вещества, увеличивающего их массу, - темной материи. По существу новое понятие было введено в науку для объяснения гравитационных аномалий.

Томас Сэмюэл Кун (1922-1996)

«Структура научных революций»

Научное знание развивается скачкообразно,
посредством **научных революций**

Любой критерий имеет смысл только в рамках
определённой **парадигмы**, исторически
сложившейся системы воззрений

Научная революция — это смена научным
сообществом объясняющих парадигм

Ход научной революции:

Нормальная наука — каждое новое открытие
поддается объяснению с позиций
господствующей теории;

Экстраординарная наука — кризис в науке,
появление аномалий — необъяснимых
фактов



Рис. 48. На фотографии Томас Кун. Его книга “Структура научных революций” является одним из самых цитируемых изданий по философии науки

В эпиграфе к разделу упоминается американский философ и историк науки Томас Кун, который в середине XX века выступил с оригинальной трактовкой развития науки и утверждения в ней открытий. Согласно его модели, подавляющее большинство научных исследований проводится в рамках “нормальной науки”. Следуя определенным постулатам (правилам или образцовым теориям – парадигмам), ученые плодотворно развивают свои представления о природе. Порой в ходе исследования выявляются

расхождения с некоторыми парадигмами. Как правило, они несущественны, и их можно объяснить: иногда просто ошибками, иногда – неучетом определенного фактора, что только повышает авторитет парадигмы.

Однако время от времени выявляются весьма значительные отклонения от существующих правил. В 1933 году швейцарский физик Фриц Цвикки (1898–1974) измерил радиальные скорости восьми галактик в скоплении Кома (созвездие Волосы Вероники) и обнаружил, что для устойчивости скопления приходится предположить, что его полная масса в десятки раз больше, чем масса входящих в него звезд. На основании этого ученый сделал вывод о наличии “скрытой массы” во Вселенной. Новаторская идея швейцарского астрофизика, однако, не была принята коллегами.

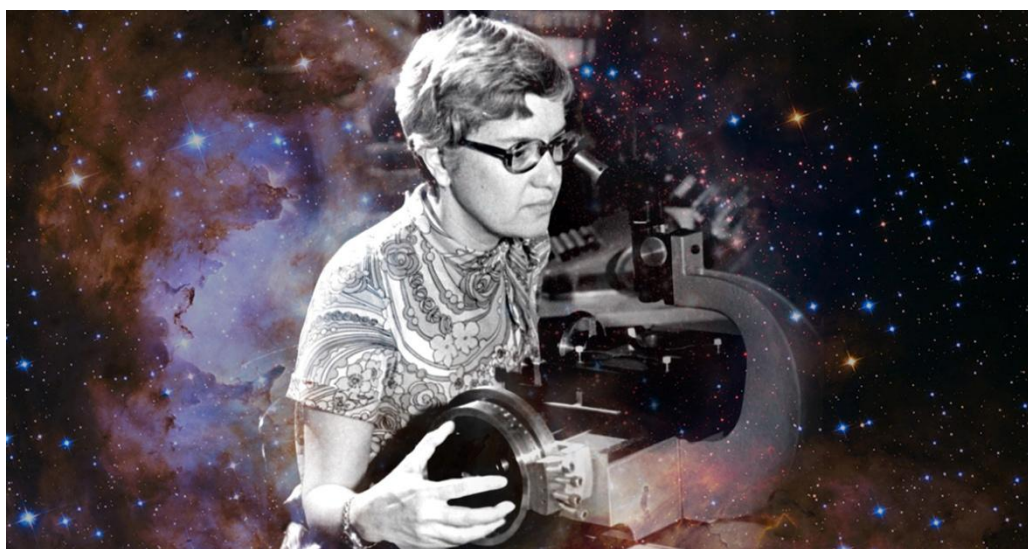
Конечно, всегда можно придумать какую-либо причину, а то и сразу несколько, по которым экстраординарное научное достижение остается незамеченным научным сообществом. Но главное препятствие тому – исключительная новизна работы и нарушение ею определенной парадигмы. Исследователь выступает против основополагающей концепции, которая разделяется самыми авторитетными учеными. От них автор обязательно получит отрицательные рецензии на свои статьи, а в среде коллег-ученых о нем станет распространяться мнение как о выскочке и дилетанте, посмевшем нарушить правила нормальной науки. Новоявленного гения обязательно постараются “поставить на место”. Единственной возможностью “застолбить” идею для него остается публикация в журнале (обычно малопрестижном), где рецензенты не так тверды в охоте на инакомыслие. Так, тот же Цвикки опубликовал свою статью в швейцарском журнале на немецком языке. У нас нет сведений, что главные мировые физические журналы ее отвергали, но совершенно очевидно, что в своих исследованиях швейцарский астрофизик плыл против течения и потому никак не мог рассчитывать на скорое принятие физиками сверхнеординарной идеи.



Рис. 49. Фриц Цвикки – первооткрыватель темной материи

Фриц Цвикки умер в 1974 году, не дожив до признания своей правоты (а это один из важнейших шагов к Нобелевской премии): первая организованная Международным астрономическим союзом конференция, посвященная изучению темной материи, состоялась в 1985 году в Принстоне. Всю жизнь Цвикки, подобно Бруно, Галилею и подобным им, доказывал несправедливость парадигмы о существовании только обычной материи. Такая научная деятельность, следуя Куну, характеризуется как занятия “ненормальной” (экстраординарной) наукой. Понятно, что, если ее творцам и достаются гранты и премии, то только “большой кровью”.

Кстати, настоящая книга в оригинальной своей части – плод экстраординарной науки. Мы выступаем против засилья геометрофизической парадигмы, точнее, против ее использования применительно к квантовой гравитации, и планомерно движемся по всем “кругам ада” ненормальной науки. Статьи с идеей эфиронного вакуума направлялись автором в очень солидные журналы: “Physica D”, “Proceedings of Royal Society”, “Physical Review Letters”, ЭЧАЯ (“Физика элементарных частиц и атомного ядра”), но в двух последних случаях даже не было ответа редакции. Редактор “Physica D” прислал письмо, где очень вежливо объяснил, что правила журнальной политики запрещают публикацию статей, не вписывающихся в разряд общепринятых теорий (парадигм). В конечном итоге я опубликовал результаты в журнале “Нелинейный мир”, который на английский язык не переводится и вряд ли попадет на глаза специалистам по теории вакуума. Представители нормальной науки игнорируют коллег-экстраординарщиков и всячески препятствуют их карьере. Так устроена научная политика, и было бы верхом глупости таить на них обиду. Они делают, что умеют. В этом плане ясно, что статья Цвикки не случайно появилась в швейцарском журнале. Она осталась незамеченной, но ее автор закрепил за собой право первооткрывателя.



Илл. 48. Астроном Вера Рубин.

О теории Цвикки вспомнили лишь спустя почти 40 лет. Этому в значительной степени способствовала американский астроном Вера Рубин (1928–2016) – первая, кто провел точные и надежные наблюдения, указывающие на наличие темной материи (кстати, свою диссертацию она защитила под руководством Георгия Антоновича Гамова). Исследовательница работала с новым, более чувствительным спектрографом, который мог гораздо точнее измерять скорости звезд в диске спиральной галактики даже при виде “с ребра”. Из ее вычислений следовало, что большинство звезд в спиральных галактиках движутся по орбитам примерно с одинаковой угловой скоростью, что приводит к мысли об однородном распределении плотности массы в галактиках, в том числе на краю диска, где звезд мало. Интересно, что сама Вера Рубин поначалу связывала данный эффект с отклонением от закона всемирного тяготения. Она признавалась: “Если бы я выбирала, то я бы хотела открыть, что это именно ньютоновские законы должны быть изменены для правильного описания гравитационных взаимодействий на больших расстояниях. Это более привлекательно, чем Вселенная, наполненная новым типом субъядерных частиц”. Допущение о другом законе притяжения также является отходом от общепринятых положений, но с точки зрения внешней критики оно более безопасно и менее революционно. Именно потому оно и выглядит более привлекательным. В этом смысле

следует удивиться научной смелости Фрица Цвикки, отважившегося предложить объяснение, которое и через 40 лет многие даже не допускали в мыслях.

Началом научной революции Томас Кун считает момент, когда ведущие специалисты в данной области начинают обсуждать новую парадигму. Споры ее сторонников и противников растягиваются потом на годы, а то и десятилетия, но начальный момент во многом является определяющим. В истории с темной материей это были 1970-1980-е годы. Ян Эйнасто так вспоминает о перипетиях борьбы на третьем Съезде европейских астрономов (Тбилиси, июль 1975 г.): “Я был на съезде членом организационного комитета и благодаря этому смог дать совет посвятить темной материи одно из заседаний. Организаторы съезда пожелали ограничиться наблюдательными аспектами проблемы. Очевидная их цель была затруднить выступление теоретикам. <...> Моя попытка включить в программу доклад Якова Зельдовича (академика, трижды Героя Социалистического Труда. – А. А.) провалилась. <...> Включение темной материи в программу тоже вызвало противостояние: в то время ее рассматривали только как теоретическую модель. Так или иначе, пришлось ограничиться лишь эмпирической стороной дела. <...> Основная дискуссия в Тбилиси развернулась между тартуской группой (во главе с Эйнасто. – А. А.) и Густавом Тамманом (немецким физикохимиком, признанным корифеем астрономии. – А. А.) <...> Авторитет Таммана был столь велик, что председатель съезда и наш добрый друг и коллега Евгений Харадзе в обзоре съезда написал, будто “концепция темной материи не нашла подтверждения”. Даже Зельдович, который до той поры поддерживал нас, стал сомневаться и сожалеть, что как-то связал свое имя с темной материей. Он вопрошал: “Покажите нам хотя бы одну галактику, где темная материя точно имеется?” В Тбилиси экстраординарщики проиграли, но их победа, как сегодня ясно, была делом времени.

В историческом развитии научного познания Томас Кун выделяет три типа революций:

- частная - микрореволюция, затрагивающая одну область знания;
- комплексная - революция, затрагивающая ряд областей знания;
- глобальная - всеобщая революция, радикально меняющая основания науки.

Подлинно глобальными в истории человечества можно назвать революции VI-V веков до н.э., XVI-XVII веков и научно-техническую революцию XX века. В результате первой из них появилась наука, вторая представляла революционный скачок в науках, изучающих механическую форму движения материи. Она ознаменовала становление классического естествознания. Третья же была связана с пересмотром исходных идеализаций пространства, времени, движения в контексте создания теории относительности и квантовой механики.

В середине XIX века произошло несколько комплексных революций одновременно. Среди них особое значение имели революции, связанные с открытием клетки немцами М. Шлейденем и Т. Шванном, эволюционной теории Ч. Дарвина и А. Уоллеса, Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева. Примерами микрореволюций в XX веке могут служить, например, открытие структуры ДНК и РНК в биологии, явлений сверхтекучести и сверхпроводимости в физике и доказательство существования темной материи в астрономии. Но вполне вероятно, что статус последнего открытия вскоре придется повысить. Поиск структурных частиц, составляющих темную материю, как теперь ясно, требует кардинального пересмотра начальной фазы Большого Взрыва, когда формировались два разных типа вещества. Он в том числе предполагает и пересмотр современной теории элементарных частиц, а это уже относится к проблемам революционной (комплексной) перестройки в физике, о которой говорил Дэвид Гросс в московской лекции (см. Введение).

В настоящее время общепризнано, что темная материя ответственна за крупномасштабную структуру Вселенной. В центре каждой галактики обязательно имеется состоящее из нее гало, но облака темной материи могут располагаться и в других

частях галактик (или в межгалактическом пространстве). Данные наблюдений космической обсерватории “Планк”, интерпретированные с учетом стандартной космологической модели, указывают, что общая масса-энергия наблюдаемой Вселенной состоит на 4,9 % из обычной (барионной) материи, на 26,8 % из темной материи и на 68,3 % из темной энергии. Согласно предсказаниям теорий среднее количество темной материи в окрестности Солнца должно было составить примерно 0,5 кг в объеме земного шара. Однако измерения дали значение 0,06 кг темной материи в этом объеме. Это означает, что попытки зарегистрировать темную материю на Земле, например, при редких взаимодействиях частиц темной материи с “обычной” материей, вряд ли могут быть успешными.

Состав необычной материи крайне неясен и служит предметом широких поисков. Доподлинно известно, однако, что темная материя существует в нескольких формах. Считается, что от 0,3 до 3% ее массы составляют нейтрино. Масса их чрезвычайно мала, но количество во Вселенной в миллиард раз превышает число нуклонов, так что эффект их присутствия обеспечивается не массой, а общим количеством. Небольшая (4–5%) часть темной материи — это обычное вещество, которое не испускает или почти не испускает собственного излучения и поэтому невидимо. Существование нескольких классов таких объектов можно считать экспериментально подтвержденным. Сложнейшие эксперименты, основанные на гравитационном линзировании, привели к открытию массивных компактных объектов, расположенных на периферии галактических дисков. Для этого потребовалось следить за удаленными галактиками в течение нескольких лет. Когда темное массивное тело проходит между наблюдателем и далекой галактикой, ее яркость на короткое время уменьшается (или увеличивается, поскольку темное тело выступает в роли гравитационной линзы). В результате кропотливых поисков такие события были выявлены. Природа массивных компактных галактических объектов ясна не до конца. Скорее всего, это либо остывшие звезды (коричневые карлики), либо планетоподобные объекты, не связанные со звездами и путешествующие по галактике сами по себе. Еще один представитель барионной темной материи — недавно обнаруженный в галактических скоплениях методами рентгеновской астрономии горячий газ, который не светится в видимом диапазоне.

Упомянутые компоненты темной материи являются хорошо известными объектами современной физики. Они не требуют для своего описания новых гипотез и теорий. Но также верно и то, что они составляют крайне малую долю темной материи и не могут быть целиком ответственными за гравитационные эффекты, связанные с ее существованием. Поэтому наряду с ними физики рассматривают еще ряд гипотетических частиц, наделяющих темную материю известными нам свойствами. В качестве главного кандидата на небарионную темную материю выступают так называемые WIMP (сокращение от английского Weakly Interactive Massive Particles – слабо взаимодействующие массивные частицы). Особенность WIMP состоит в том, что они почти никак не проявляют себя во взаимодействии с обычным веществом. Именно поэтому они и есть самая настоящая невидимая темная материя, и именно поэтому их чрезвычайно сложно обнаружить. Предполагается, что из четырех фундаментальных взаимодействий вимпы участвуют только в слабом и гравитационном. Масса WIMP должна быть как минимум в десятки раз больше массы протона. Поиски WIMP ведутся во многих экспериментах в течение последних 20–30 лет, но, несмотря на все усилия, они до сих пор обнаружены не были.

По части популярности с вимпами конкурирует гипотеза аксионов. Это незаряженные частицы, которые, скорее всего, в миллиард раз массивнее электрона. Аксионы были введены в квантовую хромодинамику в 1970-е годы для объяснения математической симметрии, присутствующей в описании кварков. Многолетние их поиски пока тоже остаются безуспешными.

В списке возможных конкурентов вимпов называются также (предложенные нами ранее) максимоны. “Малость сечения взаимодействия нейтральных максимонов с веществом приводит к тому, что значительная (или даже основная) часть материи во Вселенной в настоящее время могла бы состоять из максимонов, не приводя к противоречию с наблюдениями. В частности, максимоны могли бы играть роль невидимого вещества, существование которого признается в настоящее время в космологии” (Новиков И.Д., Фролов В.П. Физика черных дыр. М.: Наука, 1986. С. 297). Рождение максимонов – обязательное условие нашего сценария Большого Взрыва. Их появление предопределено предложенной нами структурой первичного вакуума. Никакая другая концепция темной материи не может объяснить механизм возникновения своего кандидата: существование каждого типа гипотетических частиц в определенный момент после Взрыва просто постулируется. Наше же описание вместо такого разрывного по времени подхода предлагает связанную последовательность развития событий, когда рождение темной материи (максимонов) и есть, в сущности, Большой Взрыв. Расталкивание этих частиц темной материи объясняет эффект расширения пространства. Но и это еще не все достоинства идеи отождествить максимоны с частицами темной материи.

В момент своего рождения максимоны двигались с нерелятивистскими скоростями. Это означает, что максимоны не разглаживали неоднородности плотности материи на масштабах порядка хаббловского (равного произведению средней скорости максимонов на величину, обратную постоянной Хаббла). Собираясь в сгустки, они выступали центрами образования крупномасштабных космологических структур.

Сегодня астрофизики наблюдают космическое микроволновое излучение, которое возникло приблизительно через 300 000 лет после Большого Взрыва. Независимо от направления оно выглядит одинаково, и потому можно заключить, что в начале своего существования Вселенная была достаточно однородна. Но в наше время она уже довольно комковатая. “Комки” – это то, что мы видим как галактики, скопления галактик и т. д. Между ними всегда есть относительно пустое пространство. Например, прямо по соседству с Млечным Путем находится “локальная пустота”, область космического вакуума, простирающаяся на сотни миллионов световых лет. Вселенная эволюционировала от сверходнородного до комковатого состояния, и причиной тому – темная материя. Возникнув поначалу как однородная пространственная решетка, максимоны впоследствии приобрели неоднородное распределение. Причинами тому стали распад значительной их части уже в первые мгновения после Взрыва и расширение пространства. Даже в самые первые “дни” существования Вселенной в некоторых ее областях находилось чуть больше темной материи, чем в других, соседних с ними. Максимоны скапливались в определенных областях, разделенных вакуумными пустотами. Их “избыточная” масса в зонах концентрации обладала большей гравитацией. Как результат, образовавшаяся внутри пустот обычная материя по-разному притягивалась к областям с разной плотностью темной материи, перемешиваясь с частицами невидимой темной материи. Сначала в галактики сгущивалось огромное количество частиц темной материи – и только потом, за счет сил тяготения, на них собирались элементы обычного вещества.

Здесь важно отметить, что масса частиц темной материи на много порядков превосходила массу элементарных частиц обычной материи. К примеру, масса максимона в 10^{19} раз больше, чем масса атома водорода. Это огромная величина. Достаточно сказать, что примерно во столько же раз масса нашей галактики Млечный Путь больше массы Земли. Максимоны притягивали к себе рождавшиеся элементарные частицы. В конечном итоге эти “очаги” материи воспламенились как звезды, дав толчок образованию планетных систем. Тот факт, что Вселенная структурирована, является еще одним доказательством существования темной материи. Если ее роль в формировании галактик была определяющей, то в образовании меньших по масштабу структур она практически

не участвовала. Этим как раз и объясняется ничтожное ее присутствие в Солнечной системе.

Теория Большого Взрыва не указывает, вследствие чего ранняя Вселенная была горячей. Это условие принимается как данность. Инфляционный сценарий, приходя на помощь, связывает разогрев Вселенной с колебаниями поля инфлатона. В нашем же сценарии эта роль отводится темной материи. Значительная часть рожденных максимонов распадалась с выделением огромной (планковской) энергии, которая разогревала вакуумную среду. Эта энергия, запасенная в максимонах, работала на создание привычного для нас материального мира. При таком взгляде становится понятной причина колоссальной разницы в массах частиц обычной и темной материи. Максимоны самым активным образом участвовали в строительстве Вселенной и должны быть признаны реальными “кирпичиками” мироздания.

Идея частиц темной материи с планковской массой не привлекала ранее особого внимания, поскольку ее трудно проверить (масштаб планковских энергий недостижим в экспериментах). Значительный интерес физиков к вимпам был продиктован в первую очередь тем, что частицы, участвующие в слабых взаимодействиях, могут быть уловлены детекторами. Но предположение об участии частиц темной материи в слабых взаимодействиях – это не более, чем ничем не подкрепленная гипотеза. С другой стороны, кажется естественным и логичным принять, что темная материя в виде максимонов появилась в первые мгновения Вселенной, когда определяющими параметрами выступали как раз планковские величины плотности и температуры. Массы частиц обычной материи весьма далеки от планковской. А вот частицам темной материи она подходит идеально.

Группа датско-швейцарских физиков: М. Гарни, М. Сандора, М. Стоз предложила на роль частиц темной материи фермионы с массой, близкой к планковской (Physical Review Letters. 2016. № 101302. P. 116). Эти частицы названы ими – PIMP (Plankian Interacting Massive Particles – планковские взаимодействующие массивные частицы). Пимпы участвуют только в гравитационном взаимодействии, и их масса – единственный свободный параметр теории. Они рождаются на постинфляционной стадии. Авторы статьи не упоминают о максимонах, что довольно странно. Ведь именно их в первую очередь и следовало бы называть пимпами. Но сам факт обращения физиков к изучению свойств ансамблей частиц с планковской массой представляется нам знаменательным.

Ниже предлагается теоретическая модель, описывающая динамику бозе-конденсата максимонов. Ее уникальность в том, что она выступает той самой неведомой нерелятивистской теорией гравитации, которая фигурирует в кубе физических теорий (см. раздел 4.1).

8.1. Нерелятивистская квантовая гравитация

Красотой нашего мира можно восхищаться по-разному: любоваться восходом Солнца, богатством красок осеннего леса или звездным узором ночного неба. Но ученому-естествоиспытателю открывается также и другая сторона нашей Вселенной, связанная с существованием физических законов и совершенством математического описания природных явлений. В этом смысле нельзя не удивиться, что максимонная модель темной материи является вещественным воплощением изначальной “пустоты”, гравитационного эфира. И виртуальные эфироны, и стабильные максимоны – гипотетические объекты, поставленные в центр теоретической модели, но их причастность к объяснению разных структурных уровней организации материи вселяет хорошее исследовательское волнение и обоснованный оптимизм.

Максимоны участвуют только в гравитационном взаимодействии, это бесструктурная частица, которая представляет сгусток планковской энергии, заключенной в планковском объеме. Максимоны – это материализовавшиеся эфироны, поэтому их спин равен единице, они бозоны. Этим максимоны отличаются от частиц, составляющих

обычную материю: нейтронов, протонов и электронов, которые являются фермионами (их спин равен одной второй \hbar). Это означает, что на квантовом уровне коллективная динамика частиц темной материи может иметь свои особенности, отличные от поведения сгустков обычной материи. Бозоны при низких температурах способны образовывать особые состояния – бозе-конденсаты. Являясь квантовыми состояниями систем, они оказывают влияние на их макроскопическую динамику. Другими словами, помимо участия в ньютоновском гравитационном взаимодействии (свойственном всем частицам, обладающим массой), темная материя может таить в себе и другой (дополнительный) механизм гравитации, обусловленный квантовой природой составляющих ее частиц. Попробуем выявить его для максимонной гипотезы темной материи.

Предположим, что пространство заполнено ансамблем однородно распределенных максимонов, которые не взаимодействуют между собой. Вообще говоря, это очень сильное ограничение, поскольку по меркам теории элементарных частиц масса максимонов колоссальна, и их гравитационным притяжением пренебрегать нельзя. Но этот эффект можно “исключить”, если считать, что максимоны распределены в пространстве более-менее однородно. В таком случае гравитационное воздействие на выделенную частицу всех остальных ее “сородичей” будет практически скомпенсировано (в силу их симметричного расположения относительно нее). Подобное допущение выглядит искусственным, но оно позволяет в явном виде отделить квантовую часть задачи и отстроиться от хорошо известного механизма ньютоновского притяжения.

Примем также, что все максимоны находятся в одинаковом квантовом состоянии, то есть образуют бозе-конденсат. Обозначим через ψ волновую функцию максимона. Она будет изменяться в соответствии с уравнением Шредингера для свободной частицы (внешние поля отсутствуют):

$$i \frac{\partial \psi}{\partial t} = - \frac{\hbar}{2m_{pl}} \Delta \psi, \quad (8.1)$$

где i - мнимая единица, а Δ - знак лапласиана. В этом уравнении учтено, что максимон имеет планковскую массу. Присутствие этой величины в уравнении (8.1) требует некоторых пояснений. Уравнение Шредингера инвариантно к преобразованиям Галилея, оно нерелятивистское. Но формула для массы Планка включает скорость света. С учетом выражений (0.1) уравнение (8.1) принимает следующий вид:

$$i \frac{\partial \psi}{\partial t} = - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\hbar G}{c}} \Delta \psi. \quad (8.2)$$

Присутствие величины c в уравнении Шредингера – оригинальный элемент описания, придающий ему дополнительную интригу. Вместе с тем сопоставление уравнений (8.1) и (8.2) дает основание вспомнить об идее “вторичности” гравитационной постоянной G в наборе фундаментальных мировых констант, обсуждавшуюся в главе 4. Идею куба физических теорий можно переформулировать, взяв за основу не $c\hbar$ подход, а $cm_{pl}\hbar$ подход. В таком случае уравнение (8.1) будет соответствовать случаю нерелятивистской квантовой гравитации.

Следуя работе немецкого физика Эрвина Маделунга (1926 г.), положим, что

$$\psi(\vec{r}, t) = f(\vec{r}, t) \exp i\theta(\vec{r}, t), \quad (8.3)$$

где $f(\vec{r}, t), \theta(\vec{r}, t)$ – действительные функции пространственной координаты \vec{r} и времени t . Подставим равенство (8.3) в уравнение (8.1). Оно сведется к системе двух уравнений:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\hbar}{m_{pl}} \left(\nabla f \nabla \theta + \frac{1}{2} f \nabla^2 \theta \right) = 0; \quad (8.4)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\hbar}{2m_{pl}} (\nabla \theta)^2 - \frac{\hbar}{2m_{pl}} \frac{\nabla^2 f}{f} = 0. \quad (8.5)$$

Введем новые обозначения

$$f^2 = \rho, \quad \vec{v} = \frac{\hbar}{m_{pl}} \nabla \theta, \quad (8.6)$$

тогда система (8.4), (8.5) переписывается так:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \vec{v} = 0; \quad (8.7)$$

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \frac{1}{2} \nabla v^2 - \frac{\hbar^2}{2m_{pl}^2} \nabla \left(\frac{\nabla^2 \sqrt{\rho}}{\sqrt{\rho}} \right) = 0. \quad (8.8)$$

Она получается из уравнения Шредингера для системы свободных, тождественных, невзаимодействующих между собой частиц, где

$$\rho = |\psi|^2, \quad \vec{v} = \frac{\hbar}{m_{pl}} \nabla \arg \psi,$$

ψ – волновая функция. Уравнение (8.7) представляет уравнение непрерывности для сплошной среды, поэтому величину ρ естественно принять за плотность “максимонной” среды (квантового “газа” максимонов), а вектор \vec{v} описывает скорость его движения. Уравнение (8.8) представляет уравнение Эйлера (уравнение движения невязкого газа), правда, теперь в нем присутствует квантомеханическое давление P , определяемое формулой:

$$\nabla P = -\frac{\hbar^2}{2m_{pl}^2} \rho \nabla \left(\frac{\nabla^2 \sqrt{\rho}}{\sqrt{\rho}} \right). \quad (8.9)$$

Его необычность заключается в том, что, во-первых, оно нелокально связано с плотностью, а во-вторых, может быть отрицательным. С точки зрения классической гидродинамики, система (8.7), (8.8) описывает потенциальные течения идеальной сжимаемой жидкости с нелокальной зависимостью давления от плотности.

Рассмотрим одномерные линейные колебания плотности максимонного газа на фоне его однородного состояния покоя ($\rho = \rho_0$, $v = v_0 = 0$). Уравнение для возмущений плотности $\tilde{\rho} = \rho - \rho_0$ и скорости $\tilde{v} = v - v_0$ имеют следующий вид:

$$\frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial t} + \rho_0 \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x} = 0;$$

$$\frac{\partial \tilde{v}}{\partial t} - \frac{\hbar^2}{4m_{pl}^2 \rho_0} \frac{\partial^3 \tilde{\rho}}{\partial x^3} = 0,$$

или после перехода к одной переменной –

$$\frac{\partial^2 \tilde{\rho}}{\partial t^2} + \frac{\hbar^2}{4m_{pl}^2} \frac{\partial^4 \tilde{\rho}}{\partial x^4} = 0.$$

Полагая $\tilde{\rho} \sim \exp i(\omega t - kx)$, найдем дисперсионное уравнение волн:

$$\omega = \frac{\hbar k^2}{2m_{pl}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\hbar G}{c}} k^2,$$

здесь выбрана ветвь решений, соответствующая положительным частотам. В дисперсионное соотношение входит гравитационная постоянная, поэтому колебания плотности максимонов - это квантовые гравитационные волны темной материи. В отличие от гравитационных волн обычной материи они являются продольными.

Групповая скорость найденных волн равна

$$V_{gr} = \frac{\hbar k}{m_{pl}} = ck l_{pl}.$$

Формально волновое число изменяется от нуля до бесконечности, а значит, и скорость найденных волн не ограничена. Но следует вспомнить, что планковский масштаб выступает в качестве минимально возможной длины. Тогда максимально возможное волновое число равно обратной планковской длине $k_{max} = l_{pl}^{-1}$, откуда следует, что V_{gr} не может превышать скорости света, как того и требует специальная теория относительности.

Это обстоятельство, как теперь ясно, проясняет причину присутствия скорости света в нерелятивистском уравнении. В математическом плане согласие квантовой модели с релятивистским законом выглядит “чудом” и служит, по крайней мере для автора дополнительным аргументом в пользу максимонной модели темной материи.

Темная материя, согласно нашему сценарию, доминировала в ранней Вселенной, а потому именно с ней следует соотносить первичные гравитационные волны, с которыми физики связывают наблюдаемую анизотропию реликтового излучения. Вполне понятно, что нашу теорию можно расширить и усложнить (за счет учета гравитационного взаимодействия максимонов и их неоднородного распределения). Но идея определяющего влияния волн темной материи на распределение вещества в крупномасштабных структурах космоса представляется нам крайне перспективной.

Вместо заключения.

Темные сущности физики и гесиодовский миф творения

Итак, окончен труд. Мечты, в последнем гимне
Явились вы ко мне на серый небосвод.
Взмах ваших мощных крыл огнем обдал виски мне.
В бездонную лазурь направьте свой полет!

П. Верлен

В книге впервые сформулирован целостный сценарий Большого Взрыва. Для этого пришлось обратиться к рассмотрению сущностной природы вакуума и ввести в рассмотрение частицы с планковской массой. В этом смысле наш подход в корне отличается от традиционных методов, исповедуемых физиками-теоретиками.

Существование темных сущностей в физике – явное свидетельство ее кризиса. Эпитет “темная” применительно к обеим субстанциям можно трактовать в двух значениях: как “невидимая” (скрытая от света), так и “непонятная” (по своей природе). Какие тайны таят два этих “темных облачка”? Естественно думать, что, как и век назад, нас ожидают открытия, затрагивающие основы естествознания. Сегодня физики-теоретики еще стараются обойтись “малой кровью” и остаться в рамках прежних теорий и старых парадигм. Но, бесспорно, физика подошла к интереснейшему этапу своего развития, который потребует пересмотра ряда ее основополагающих положений.

Вакуум, или Сетка эфиров, станет предметом самого пристального внимания в будущем. Грядущая революция будет связана с отказом от диктата геометродинамики и порожденных ею экзотических теорий вроде космологической инфляции и многомерных струн. Хочется думать, наша книга – движение в этом направлении.

Несмотря на неизменную приверженность эксперименту, физики-теоретики утратили связь с реальностью и сущностями, составляющими ее “плоть”. Восстановление ее – задача будущих прозрений. Таким даром, в частности, обладали создатели греческих мифов творения. Хотя эти мифы создавались на донаучном этапе формирования знаний, поражает удивительное согласие (на уровне аналогий) мифологической и современной картин мироздания. Вот почему автору хотелось бы завершить книгу естественнонаучной интерпретацией гесиодовского мифа творения.

* * *

1. Гесиод и его миф творения. Гесиод - историческая личность, он жил в VIII–VII веках до н.э. Его отец, спасаясь от кредиторов, перевез семью в Грецию из Малой Азии. Гесиод занимался крестьянским трудом, но прославился своими стихами. В поэме “Теогония” (строфы 116–124) поэт рассказывает о происхождении мира:

Прежде всего во Вселенной Хаос зародился, а следом
Широкогрудая Гея, всеобщий приют безопасный,
Сумрачный Тартар, в земных залегающих недрах глубоких,
И, между вечными всеми прекраснейший, - Эрос.
Сладкоистомный - у всех он богов и людей земнородных
Душу в груди покоряет и всех рассужденья лишает.
Черная Ночь и угрюмый Эреб родились из Хаоса.
Ночь же Эфир родила и сияющий День иль Гемеру:
Их зачала она в чреве, с Эребом в любви сочетавшись.

Гесиод предельно лаконичен. Он указывает иерархию первоначал, но сколько-нибудь подробной характеристики им не дает. Для Геи, Эроса, Ночи, Эреба и Дня поэт приводит лишь эпитеты, для Тартара – эпитет и его местонахождение, а вот о Хаосе и Эфире вообще не оставляет никаких конкретных сведений. Правда, указание на братские узы Эфира и Дня настраивает на возможное прояснение их реальной природы, но особой уверенности в том нет. Исключительная общность формулировок и очевидные недоговоренности относительно сущности первоначал оставляют широкий простор для интерпретации мифа, и античные писатели воспользовались такой возможностью в полной мере. О происхождении и вероятном содержательном значении каждого из персонажей мифа, кажется, сказано все, что только можно. В книгах по мифологии и

античной философии выделяются и анализируются разные аспекты гесиодовского мифа. Вместе с тем его глубинное, естественнонаучное содержание с позиций физики XXI века до сих пор не обсуждалось.

Существуют два основных направления трактовки гесиодовских первоначал – естественнонаучное и мифологическое. Первое использовалось ранее только для Хаоса и Эфира. Пора исправить эту ситуацию. Мы будем исходить из предположения, что Гесиод представил сведения об очень древней системе устройства природы, которую дополнил элементами мифологического восприятия мира. В своем изначальном варианте эта система носила неантропоморфный характер, то есть не наделяла первоначала человеческими качествами. У Гесиода они присутствуют в крайне незначительном количестве: Гея названа широкогрудой, Эрос сладкоистомным, а Ночь и Эреб представлены парой возлюбленных. Все это похоже на легкую художественную декорацию к уже имевшейся ранее естественнонаучной схеме строения природы. Во всяком случае, Хаос, Эфир и Тартар фигурируют в мифе как природные субстанции, а мыслить Ночь, День и Мрак человекоподобными рациональное сознание противится. Оживотворение космоса происходило, очевидно, на более поздних этапах человеческой истории и предполагало уже наличие пласта сложившейся мифологической культуры. Безжизненная (почти научная) схема развития Вселенной, как нам представляется, была первичной. Это исходная аксиома, которой мы будем придерживаться в дальнейшем.

На первый взгляд, такое предположение кажется надуманным и даже неразумным. В самом деле, это означает, что изначально существовала смелая естественнонаучная схема происхождения мира, которая впоследствии “деградировала” в мифологическую историю, включающую в качестве действующих лиц антропоморфных богов. Но, во-первых, именно так и было. Теория четырех первостихий, господствовавшая в сознании древних греков, с какой стороны ни посмотри, является шагом назад и насилием над здравым смыслом. Гесиод (напомним, уроженец Малой Азии) передал грекам элементы более древнего знания, которое те так и не смогли “переварить” в естественнонаучном контексте. Греки, если говорить о мифе в целом, выбрали мифологическую линию его интерпретации. Это факт, от которого никуда не деться.

Во-вторых, в истории науки есть удивительный пример гениального предвидения, который придает нашей позиции весьма солидную поддержку. Это физика Эпикура, которого можно считать прародителем принципа неопределенности. Но это не единственное его достижение.

Эпикур, признавая бесконечность пространства, допускал его анизотропию в вертикальном направлении. Эта анизотропия, по его гипотезе, проявляется в том, что атомы в силу своей тяжести летят вниз с одной и той же скоростью. “Эпикуровский образ Вселенной – это безграничный поток бесчисленного множества атомов, несущихся сверху вниз в бездонную бездну пространства. Эта картина совсем не похожа на демокритовскую (принятую в классической физике. – А. А.), в которой атомы движутся беспорядочно во все стороны наподобие пылинок, пляшущих в солнечном луче” (Рожанский И.Д. История естествознания в эпоху эллинизма и Римской империи. М.: Наука, 1988). Отличие существеннейшее, которое было предметом постоянной критики эпикуровской теории. Но открытие ускоренного расширения Вселенной переворачивает ситуацию. И неважно, что скорость падения атомов “в бездну” ничтожна и на земные процессы никак не влияет. Мы должны признать, что философ затронул важнейшую сторону организации космоса. Правда, следует говорить об антигравитирующей причине движения атомов, но эффект, заявленный философом, существует. Как он пришел к своей картине мира, неясно, и это, по-видимому, так и останется тайной. Только отрицать ее физическую содержательность уже невозможно. Так же, как и принцип неопределенности, темная энергия – достояния новейшей физики. Оба открытия нашли отражение в атомистике Эпикура, и это добавляет уверенности в попытках естественнонаучного осмысления гесиодовского мифа.

2. Хаос – первичный вакуум. Хаос (греческое *χαος*) означает “зев”, “зевание”, “зияние”, “разверстое пространство”, “пустое протяжение”. Как видим, изначальный смысл Хаоса имеет совсем не тот смысл, который вкладывает в него нынешняя наука. Это не есть нечто беспорядочное и постоянно изменяющееся, противоположное упорядоченному и устойчивому состоянию. Греческий Хаос следует понимать как бесконечное и пустое мировое пространство. С точки зрения современной физики, его следует назвать “первичный вакуум”.

Гесиод, описывая войну богов с титанами, использует оборот (Теогония, 700):

Жаром ужасным объят был Хаос.

Материальная среда, находясь в огне, объята пламенем, жар же заполняет пустое пространство. Пустота – важнейшее (и, похоже, основное) свойство Хаоса. Это в полном смысле естественнонаучный образ, не содержащий элементов мифологии. В мифах наиболее древних народов (шумеры, египтяне) первичная водная среда скрывает внутри себя бога-творца. Та же идея отражена и в Библии, где божий дух носится над водами. У греков первичная сущность лишена мифологического содержания. Процесс творения начинается Гея, появившаяся вслед за Хаосом, то есть из него. Хаос – первичное бесформенное состояние мира. Во многих мифологиях отсчет мироздания начинается с разделения неба и земли, с образования между ними зияния, свободного пространства. У Гесиода эта последовательность переворачивается. Пустота предшествует появлению земли и неба. Это отличительная и крайне необычная черта греческого мифа. Хаос в виде великой бездны лежит в основании мироздания (Теогония, 736-745):

Там и от темной земли, и от Тартара, скрытого в мраке,
И от бесплодной пучины морской, и от звездного неба
Все залегают один за другим и концы, и начала,
Страшные, мрачные. Даже и боги пред ними трепещут.
Бездна великая. Тот, кто вошел бы туда чрез ворота,
Дна не достиг бы в течение целого года:
Ярые вихри своим дуновеньем его подхватили б,
Стали б швырять и туда, и сюда. Даже боги боятся
Этого дива. Жилища ужасные сумрачной Ночи
Там расположены, густо одетые черным туманом.

Гесиод определяет Хаос как бездну, скрывающую в себе концы и начала природы. Философы признают, что, тем самым, он вплотную подходит к идее субстанционального первоначала, то есть к началам философии. Но мы должны также признать, что данный отрывок можно представить как художественное описание первичного вакуума. Более того, поэт, говоря о “ярых вихрях”, признает наличие внутренних колебаний в самой бездне, своего рода “нулевых колебаний”. Если же мы предположим, что масштаб этих вихрей порядка планковской длины (10^{-33} см), то с необходимостью должны будем заключить, что Гесиод держит в уме вакуум современной физики.

Естественнонаучное содержание гесиодовской идеи Хаоса принимали Платон и Аристотель, она, безусловно, была революционной на фоне разного рода мифологических построений. Но поэт не стал развивать их до полновесной теории. Более того, тот факт, что он ограничился лишь краткими обмолвками, дает основание предположить, что вовсе не он является автором идеи. Он специально оговаривает, что пересказывает то, что ему поведали геликонские (живущие на горе Геликон) Музы. На наш взгляд, Гесиод воспользовался уже имевшейся более древней системой представлений о происхождении мира. Иначе трудно объяснить, почему он столь краток. Опять-таки греческие мыслители, изъясняя образы первоначал, в подавляющем большинстве склонялись к мифологической

Земля. А атомы элементов, в свою очередь, складываются из барионов (протонов, нейтронов) и электронов в числе, равном числу протонов. Масса барионов значительно превышает массу электронов, поэтому вещество звезд и планет еще называют барионной материей. Таким образом, можно заключить, что в схеме мироустройства Гесиода Гея играет роль барионной материи.

4. Тартар – темная материя. Значение понятия “Тартар” не выводится из греческого языка. Оно чуждое для греков. Гесиод привнес его в греческую мифологию, он же был единственным, кто обозначил более-менее подробное местонахождение Тартара и оставил его описание:

<...> настолько отстоит от нас сумрачный Тартар:
Если бы, медную взяв наковальню, метнуть ее с неба,
В девять дней и ночей до земли бы она долетела;
Если бы, медную взяв наковальню, с земли ее бросить,
В девять же дней и ночей долетела б до Тартара тяжесть.
Медной оградой Тартар кругом огорожен. В три ряда
Ночь непроглядная шею ему окружает, а сверху
Корни земли залегают и горько-соленого моря.

В своем глубинном определении Тартар – это область под Землей, окруженная Ночью. Наличие в нем медной ограды - поэтическая вольность, все ж таки Тартар – одно из первоначал. Находится он так же далеко от земли, как и небо. Кстати, свободно падающее тело с ускорением $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ пройдет за девять дней расстояние, равное приблизительно 500 тысячам радиусов Земли, или 20 расстояниям от Земли до Солнца. Если принимать эти числа всерьез, то Тартар следует разместить далеко вне Земли, что называется, у черта на куличках. Сам Гесиод, однако, помещает его около поверхности Земли, у самых ее корней. Налицо противоречие, и грекам надо было как-то разрешить его.

Проблема выбора осложнялась тем, что в греческой мифологии существовал образ подземного мира – Аид. Тартар претендовал занять его место (и это еще одно указание на чуждость Тартара грекам). В результате греки стали четко различать понятия Тартара и Аида, представляя последний подземным царством, населенным душами умерших. Тартар они помещали ниже Аида. Восторжествовала промежуточная точка зрения, но она оставляла возможность говорить о крайней удаленности Тартара от поверхности Земли, а значит, и об особой его природе как независимого от Геи (от обычной материи) первоначала.

Тартар “в три ряда” был окружен непроглядной ночью, но это значит, что в Тартаре не было света. Там не могли распространяться световые волны. Вместе с тем он признавался некоторой материальной сущностью. Как же следовало назвать ту особую материальную субстанцию, в которой невозможны световые волны? Очевидно, темная материя.

5. День – электромагнитное поле. Среди первоначал Гесиода существует две группы. Первая включает Гею, Тартар и Эрос, а вторая – День и Эфир. Последние возникли как результат союза Тьмы и Мрака, что указывает на их особую, отличную от первоначал первой группы природу. Интересно, не правда ли?

Естественно, что это не прошло мимо внимания первых комментаторов Гесиода, и они попытались редактировать великого поэта. Так возникла параллельная генеалогия, в которой Эфир, вступая в брачный союз с Днем, породил Землю, Небо, Море, Океан и Тартар. В этом варианте мифа Эрос исключался из числа первоначал, Земля-Гея лишалась роли прародительницы, а “пальма первенства” переходила к Эфиру. Искусственность такого “исправления” очевидна: волевым образом исключался элемент

матриархатного мифа, связанный с верховенством Геи. При этом также нарушалось равновесие в братском союзе Дня и Эфира (“изюминка” гесиодовской схемы).

Теперь о первом из братьев. День – значит “сияющий”, “светоносный”, поэтому в естественнонаучном контексте его следует рассматривать как хранителя световых волн и символ электромагнитного поля. В самом общем смысле это не только день на нашей планете, но и все электромагнитные излучения, присутствующие в космосе, в том числе и реликтовое, хранящее след Большого Взрыва. Но какую природную реальность скрывает в себе гесиодовский Эфир?

6. Эфир Гесиода – гравитационное поле. Начнем с того, что эфир – одно из самых знаменитых и интригующих понятий в физике. Введенный в оборот в античную эпоху, он верой и правдой служил ученым, пока не был изгнан из научных книг и академических обсуждений в первой половине XX века. Нам он интересен прежде всего, поскольку, подобно Хаосу и Дню, свидетельствует в пользу естественнонаучного происхождения схемы первоначал Гесиода. Но греки, как мы уже говорили, переименовали миф Гесиода на патриархальный лад. Присвоив Эфиру верховный статус демиурга, они стали соотносить его с особым воздухом у вершины Олимпа – горы богов (вот вам и Творец мира – смех, да и только).

Ситуацию, однако, исправил Аристотель. Он объявил Эфир пятым началом мироздания наряду с землей, водой, огнем и воздухом. Он не был равноправен первостихиям, а, в соответствии с ролью демиурга, выступал как праматерия, сущность всех вещей, основа для всех элементов природы. Аристотель именовал Эфир божественным и бессмертным, на многие века вперед задав импульс его безусловного почитания.

С позиций современной физики ясна основная методологическая ошибка, которую допускало большинство исследователей. Классический эфир совмещает как гравитационные, так и электромагнитные свойства, поэтому его следовало мыслить в виде суммы двух сущностей: эфира гравитационного и эфира электромагнитного:

Эфир Аристотеля = Эфир гравитационный + Эфир электромагнитный.

После создания специальной теории относительности стало понятно, что эфир электромагнитный следует отождествить с электромагнитным полем, или Днем Гесиода:

Эфир электромагнитный = Электромагнитное поле = День Гесиода.

Сам электромагнитный эфир физикам оказался ненужным, лишним. Это, однако, не означает, что его не существует совсем. Просто электродинамические проблемы можно решать, не обращаясь к вопросу о его природе. Другое дело – гравитация. Ее невозможно понять без выяснения сущностной структуры эфира. Дадим слово Альберту Эйнштейну:

- “Мы не можем в теоретической физике обойтись без эфира, т.е. континуума, наделенного физическими свойствами, ибо общая теория относительности, основных идей которой физики, вероятно, будут придерживаться всегда, исключает непосредственное дальное действие; каждая же теория близкого действия предполагает наличие непрерывных полей, а следовательно, существование эфира” (Об эфире. Собр. научных трудов. Т. 2. М: Наука, 1966. С. 154-160);

- “Физическое пространство и эфир – это лишь различные выражения для одной и той же вещи; поля суть физические состояния пространства” (Проблема пространства, эфира и поля в физике. Указ. соч. С. 275-282);

- “Пространство потеряло свой абсолютный характер. Оно оказалось способным изменять свое состояние, так что оно само смогло взять на себя функции эфира и, поскольку это относится к гравитационному полю, действительно взяло их на себя. Неясным оставался еще формальный смысл электромагнитного поля, которое не могло

быть объяснено одной только метрической структурой пространства. Однако со времени создания общей теории относительности нельзя уже серьезно сомневаться в том, что гравитационное и электромагнитное поля должны объясняться некоей единой структурой (четырёхмерного) пространства” (Указ. соч. С. 283-285).

Эйнштейн методологически безупречен. Нет никакой нужды отказываться от понятия эфира, надо лишь принять, что он в глубинном своем содержании ответственен за гравитацию. Гравитационный эфир – это та реальность, которую называют гравитационным полем, и это в чистом виде эфир Гесиода, который греческий поэт отделил от Дня (электромагнитной субстанции):

Эфир гравитационный = Гравитационное поле = Эфир Гесиода.

Подведем итоги. Эфир Гесиода определяет свойства пространства и гравитационное взаимодействие в нем. В качественном отношении его можно сопоставить с квантовой пеной Уилера или с континуумом струн, размер которых порядка планковского радиуса. Другими словами, природа гесиодовского Эфира должна быть квантовой. В мифе особо подчеркивается родство Эфира и Дня и их отличие от других форм материи и энергии. Это (в духе идей Эйнштейна) позволяет предположить, что День (электромагнитное поле, электромагнитный эфир) является одной из форм или усложненной структурой Эфира. В таком представлении становится понятным, почему внутренняя природа Эфира никак не сказывается на объяснении явлений электромагнетизма.

Электромагнитные и гравитационные излучения вносят свой вклад в суммарную массу-энергию Вселенной, но, оценивая ее относительные доли, приходящиеся на темную энергию, темную и барионную материи, их обычно не учитывают.

7. Тёмная энергия Эроса и пеласгический миф творения. Традиционно (в силу влияния античной культуры) Эрос воспринимается как могучая сила любовного влечения. Вместе с тем в греческой мифологии этому божеству отведена очень скромная роль. В качестве красавца-малыша с волшебным луком и стрелами он сопровождает богиню любви Афродиту. В таком обличье он ничем не напоминает образ одного из первоначал мира. Миф об Эроте – спутнике (буквы “т” и “с” взаимозаменяемы в его имени), как и вся история олимпийского пантеона, достаточно юный. Бог Эрос из гесиодовского мифа – персонаж более древнего происхождения. Его изначальный образ хранит так называемый пеласгический миф творения.

Богиня ночи Никта и северный ветер Борей играют в нем роль Тьмы и Мрака. Плодом их любви стало Космическое яйцо, внутри которого находился бог-демиург, будущий создатель мира - Эрос. Рост Космического яйца в мифе соответствует расширению возникающего в нем светящегося вещества. Его следует отождествить с барионной материей, той ее формой, которую мы можем непосредственно наблюдать в земных условиях. Ее отличительное свойство – переносить световые колебания, она с полным правом может называться еще светящейся или светлой, в противовес темной материи, внутри которой свет не распространяется. Период существования Космического яйца совпадает с так называемой радиационной эрой, продолжавшейся приблизительно треть миллиона лет, - временем появления и расширения огненного шара. Его внутренность представляла горячий, густой “бульон” из первичного вещества и излучения. В это время температура еще недостаточно снизилась для создания атомов водорода: протоны еще не могли удерживать энергичные электроны, и вещество находилось в фазе электрон-фотон-протонной плазмы. Ее плотность была достаточно велика. Фотоны за счет частых столкновений с электронами рассеивались на них. Они не могли распространяться свободно и оставались связанными с электронами. Излучение не выходило за пределы огненного шара, и его расширяющаяся граница в течение всей радиационной эры, подобно “скорлупе” Космического яйца, оставалась резко очерченной.

Ситуация в корне переменилась, когда температура шара упала настолько, что стало возможным образование нейтрального водорода. Фотоны перестали рассеиваться на свободных электронах, и вещество стало прозрачным для излучения. В этот момент возраст Вселенной был около одного миллиона лет. На уровне мифа ему отвечает выход в мир бога-творца. Расколота им “скорлупа” уже не в силах была сдерживать напор световой энергии, и та устремилась во внешнее пространство.

В пеласгическом мифе Эрос принимает на себя функции всех остальных первоначал из гесиодовской истории: и Геи, и Тартара, и Дня, и Эфира. Но мы вправе выделить важнейшее его качество, следующее из рассматриваемого мифа, - способствовать необратимому расширению создаваемого им мира. Принимая это во внимание, будем сопоставлять его с темной энергией.

Итоги проведенной нами интерпретации мифа удобно представить в виде следующей схемы:

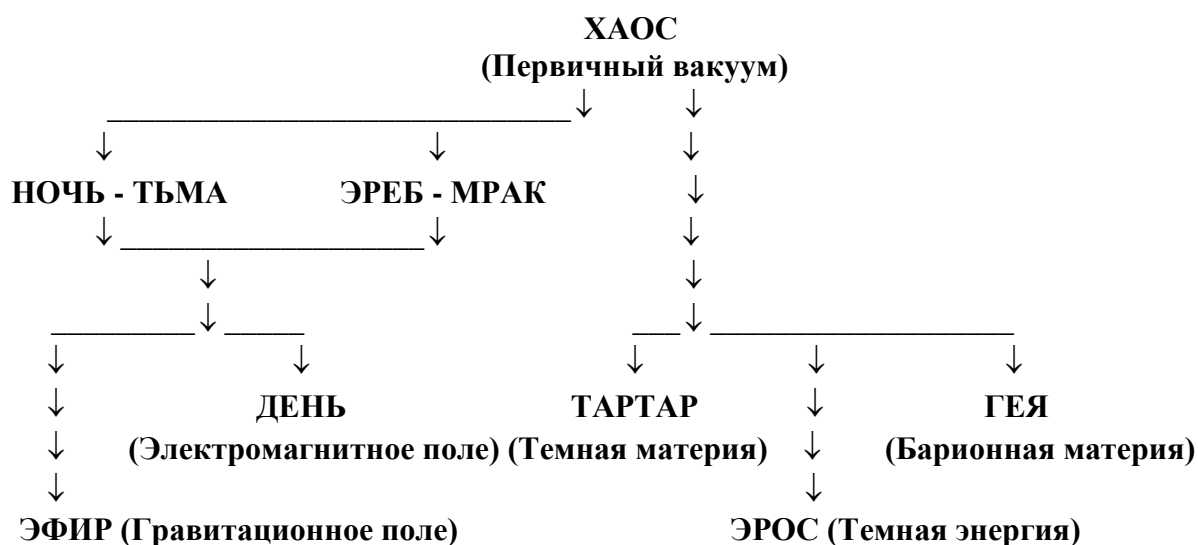


Схема 1. Естественнонаучная интерпретация гесиодовского мифа творения

Не секрет, что подавляющее большинство физиков относится к художественным и чисто логическим (философским) формам постижения мира предельно иронично. Поэтому вполне допускаем, что кому-то приведенная схема покажется случайным совпадением или даже надуманной фантазией. Но надо признать, в ряде положений создатели выбранных нами мифов понимали устройство Вселенной в схожем с современными представлениями ключе. Они не строили замкнутых моделей Вселенной и даже не рассматривали теорию холодного Большого Взрыва. Кажется, уже двух этих аргументов вполне достаточно, чтобы относиться к этим мифам серьезно.

Но мы идем дальше, утверждая, что гесиодовский и пеласгический мифы являются артефактами научного знания. Вот наши основные доводы:

- первоначала гесиодовского мифа в точности соответствуют тем сущностным структурам, которые рассматривает современная физика;
- идея первоначального Хаоса – немифологическая по своему содержанию и предваряет философскую теорию апейрона Анаксимандра и физическую концепцию вакуума;
- первоначала разделены на сущности материальной и полевой природы;
- среди первоначал присутствует темная материя;
- электромагнетизм и эфир введены как разные сущности.

Наконец, и, может быть, это самый важный вывод, следующий из сопоставления Эроса и “антигравитирующей” вселенской субстанции: открыв существование темной энергии, физики доказали существование Бога...