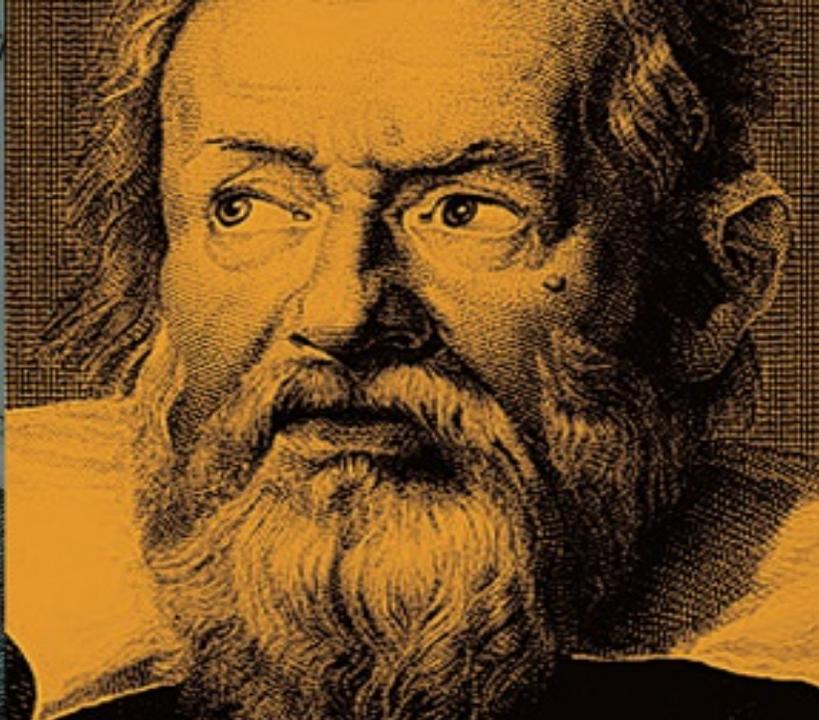
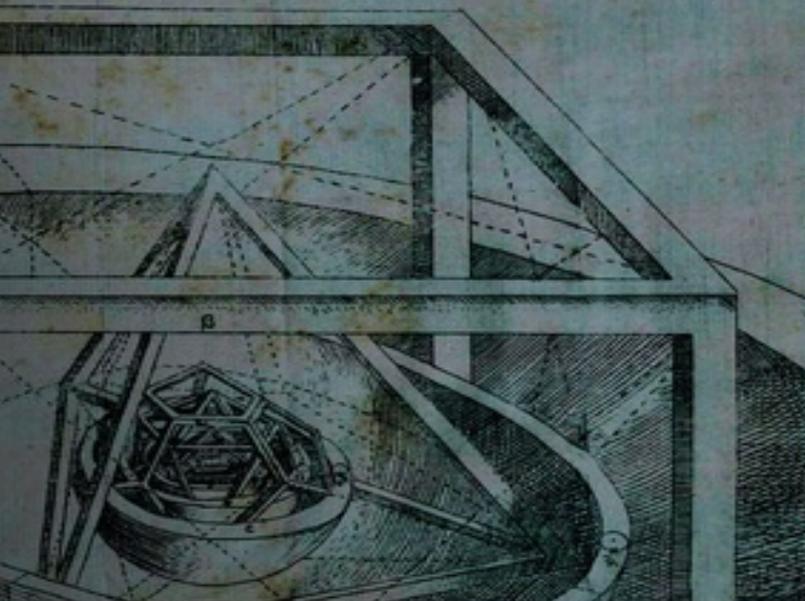


CORPORA GEOMETRICA EXHIBENS.
AC DÑO. DÑO. FRIDERICO, DVCI W
COMITI MONTIS BELGARVM, ETC. CONSECRATA.



Геннадий Горелик

КТО ИЗОБРЕЛ СОВРЕМЕННУЮ ФИЗИКУ?

От маятника Галилея
до квантовой гравитации



Династия

Современная наука родилась сравнительно недавно — всего четыре века назад, в эпоху Великой научной революции. Причины этой революции и отсутствие ее неевропейских аналогов до сих пор не имели признанного объяснения. А радикальность происшедшего ясна уже из того, что расширение и углубление научных знаний ускорились раз в сто.

Эта книга рассказывает о возникновении новых понятий науки, начиная с изобретения современной физики в XVII веке и до нынешних стараний понять квантовую гравитацию и рождение Вселенной. Речь идет о поворотных моментах в жизни науки и о драматических судьбах ее героев, среди которых — Г. Галилей, И. Ньютон, Дж. Максвелл, М. Планк, А. Эйнштейн, Н. Бор, А. Фридман, Ж. Леметр, М. Бронштейн, Л. Ландау, Г. Гамов, А. Сахаров и др.

По словам академика РАН, лауреата Нобелевской премии В.Л. Гинзбурга, Геннадий Горелик «является выдающимся историком физики. Он доказал это своими статьями и книгами, последняя из которых посвящена биографии А.Д. Сахарова в контексте советско-американской истории водородной бомбы».

-
- [Геннадий Горелик](#)
 - [Предисловие](#)
 - [Глава 1](#)
 - [С Архимедом против Аристотеля](#)
 - [Как Галилей повернул ход истории](#)
 - [Первый современный физик?](#)
 - [Глава 2](#)
 - [Астрономические картины](#)
 - [Астрофизика, астрономия и астрология](#)
 - [Рождение экспериментальной астрофизики](#)
 - [Вера и знание](#)
 - [Скорость света — первая фундаментальная константа](#)
 - [Глава 3](#)
 - [С небес на землю и обратно](#)
 - [Мог ли Галилей открыть закон всемирного тяготения?](#)
 - [Рождение теории гравитации](#)
 - [Глава 4](#)
 - [Вопрос Нидэма](#)
 - [Физика современная и физика фундаментальная](#)
 - [Источник веры в фундаментальную закономерность](#)
 - [Постулаты и предрассудки Библейской цивилизации](#)
 - [Пред-рассудок свободы](#)
 - [Глава 5](#)
 - [Атомы, физика и этика](#)
 - [Вглубь микромира и во всю ширь Вселенной](#)
 - [Что было в самом начале?](#)

- [«Великий фундаментальный закон прогресса»?](#)
- [От силовых линий Фарадея до поля Максвелла](#)
- [Глобальное электромагнитное объединение](#)
- [Глава 6](#)
 - [Профессор, не желавший делать открытия](#)
 - [Фотоэффектная роль \$h\$](#)
 - [Атом, который понял Бор](#)
 - [Драма квантовых идей](#)
 - [Новая вероятность](#)
- [Глава 7](#)
 - [Что = Где + Когда](#)
 - [Принцип относительности и поиск абсолютного](#)
 - [Теория относительности или закон всемирного тяготения?](#)
 - [Гравитация — геометрия пространства-времени](#)
 - [Как приходит мирская слава](#)
- [Глава 8](#)
 - [Александр Фридман: «Вселенная не стоит на месте»](#)
 - [Закон красного смещения](#)
 - [Жорж Леметр, астрофизик в сутане](#)
 - [Расширяется Вселенная или стареют фотоны?](#)
 - [Три фундаментальные константы \$c\$, \$G\$ и \$h\$](#)
 - [Звуки физики Джаз-банда](#)
- [Глава 9](#)
 - [Квантовая гравитация во Вселенной 1916 года](#)
 - [В ожидании \$sh\$ -революции](#)
 - [Альфа, бета, Гамов и «Новый кризис теории квант»](#)
 - [\$sh\$ -контрреволюция](#)
 - [Матвей Бронштейн и проблема \$sGh\$ -теории](#)
 - [Критерии правильной теории и квантовые границы гравитации](#)
 - [Галилей, 1937](#)
- [Глава 10](#)
 - [«Работа в области теории взрыва»](#)
 - [Георгий Гамов — прадед водородной бомбы](#)
 - [Незаконное рождение Горячей Вселенной](#)
 - [Подарок судьбы Андрея Сахарова](#)
 - [Симметрии асимметричной Вселенной](#)
 - [Три условия для ранней Вселенной](#)
 - [Гравитация как упругость вакуума](#)
 - [«Мировая наука и мировая политика» в 1967 году](#)
 - [Теоретик-изобретатель](#)
- [Послесловие](#)
 - [13,7?](#)
 - [«...Квантовая гравитация физически бессмысленна?»](#)
 - [Кризис фундаментальной физики?](#)

- [Исторический источник оптимизма](#)
 - [Благодарности](#)
 - [Хронология важнейших событий, упомянутых в книге](#)
 - [Основные источники](#)
 - [Физики](#)
 - [История науки](#)
 - [Работы автора книги](#)
 - [notes](#)
 - [1](#)
 - [2](#)
 - [3](#)
 - [4](#)
-

Геннадий Горелик

**Кто изобрел современную физику? От маятника
Галилея до квантовой гравитации**

Предисловие

Обитатели интернета — а это уже около трети человечества — встречают слово «наука» чаще, чем слова «мама» или «воздух». Немудрено: в интернете плодами науки пользуется каждый. А главная наука, стоящая за изобретением интернета, — это физика.

Если наукой называть все, чему можно научить другого, то ее родословная сплетена с родословной человека. Согласно генетикам, все нынешние люди произошли от одной женщины, жившей около двух тысяч веков назад. Ее назвали Евой Митохондриальной — по причинам, связанным с Библией и с механизмом наследственности. Генетические преимущества и удача помогли потомкам этой праматери пережить всех не ее потомков и образовать наш вид — Хомо Сапиенс, то бишь Человек разумный. Одним из преимуществ нашей праматери был, вероятно, любознательный разум.

На протяжении многих тысячелетий потомки любознательной Евы Сапиенс приобретали полезные знания благодаря счастливым случаям и передавали их новым поколениям вместе с приемами изготовления инструментов, кулинарными рецептами и прочими сокровищами народной мудрости.

Современная наука работает совсем иначе, и появилась она лишь недавно в масштабах возраста Человека разумного — всего четыре века назад, в эпоху Великой научной революции. Ее главные герои хорошо известны — Николай Коперник, Галилео Галилей, Иоганн Кеплер, Исаак Ньютон. Причины этой революции и отсутствие ее неевропейских аналогов до сих пор не имеют убедительного объяснения. Но радикальность происшедшего четыре века назад ясна и без решения этой загадки — расширение и углубление научных знаний ускорились раз в сто.

Если верить Эйнштейну, «отцом современной физики и, по сути, всего современного естествознания» был Галилей.

«Драма идей» — сказал тот же Эйнштейн об истории науки. Науку отличает способность к точным предсказаниям, однако ее главные открытия совершенно непредсказуемы, что означает драму людей. Эти две драмы переплетаются в поворотные моменты жизни науки. О таких моментах и пойдет у нас речь. А начнем с того, как Галилей изобрел современную физику.

Глава 1

Как Галилей изобрел современную физику?

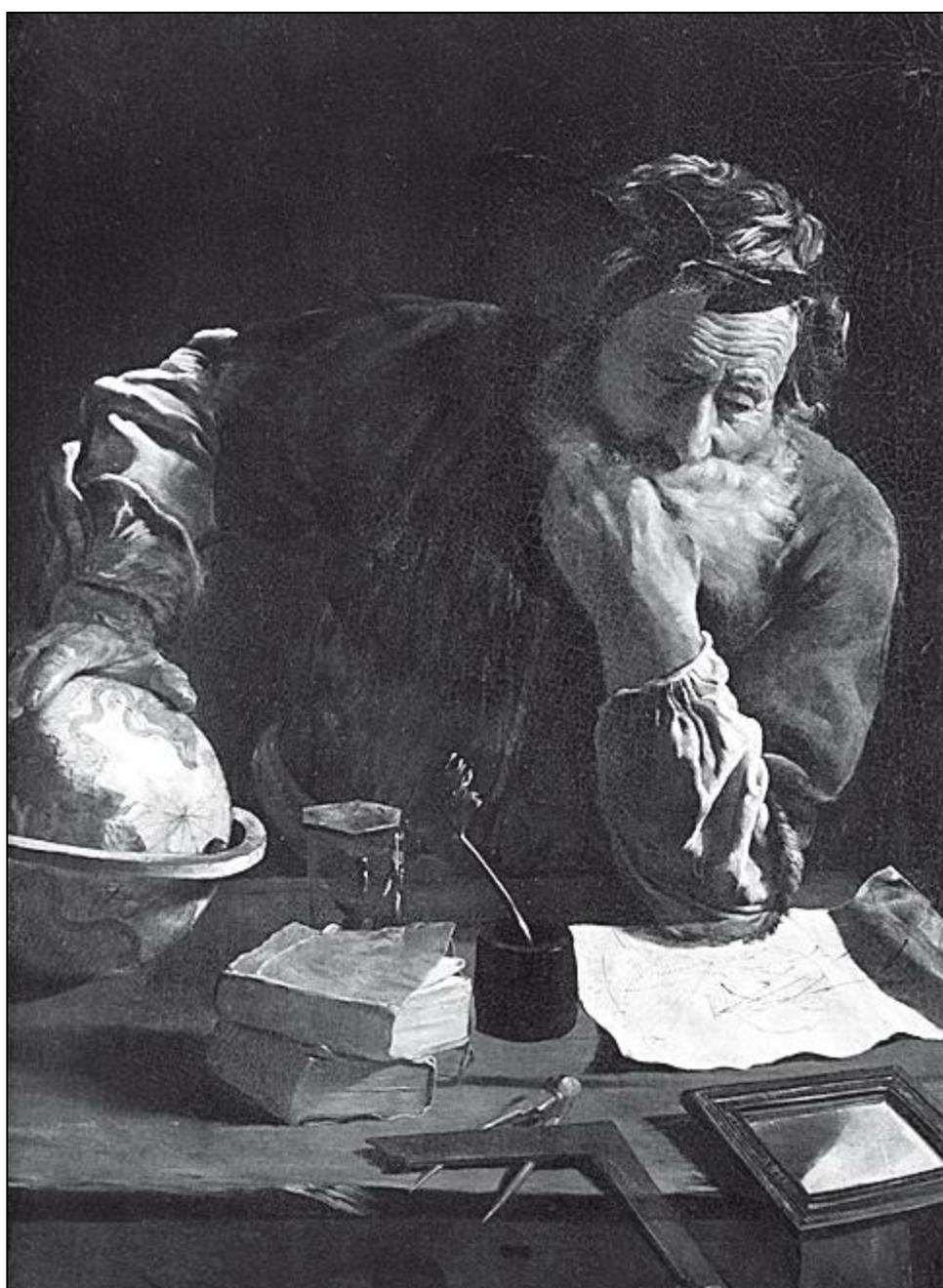
С Архимедом против Аристотеля

Галилея иногда называют первым физиком. Это не так, и сам он наверняка возразил бы. Он внимательно изучал Архимеда и высоко чтит его. Тот был самым настоящим физиком. Знаменитый закон Архимеда о плавании тел работает поныне безо всяких поправок и известен каждому школьнику. Когда же Галилей учился в университете, первым и главным физиком почитался другой древний грек — Аристотель, живший за век до Архимеда и за двадцать веков до Галилея. Именно Архимед помог Галилею усомниться в физике Аристотеля.

Прежде чем разбираться в этом драматическом треугольнике, прочувствуем разницу. Две тысячи лет отделяли Галилея от его коллег-предшественников, выводы которых он принимал или оспаривал. А коллеги-последователи Галилея взялись за его выводы — проверять, уточнять, исправлять, развивать — практически сразу. Что же он такое изобрел, если темп науки так ускорился?

Сомнения возникли у Галилея еще в студенческие годы, еще в шестнадцатом веке, когда физика считалась частью философии, где царил Аристотель. Труды Архимеда не входили тогда в учебную программу, и можно понять почему: он решал лишь отдельные задачи, а Аристотель давал общие ответы на главные вопросы. Кроме того, Архимед был тогда, как ни странно, в новинку — книгу его трудов издали незадолго до того, а Аристотеля штудировали в университетах уже веками, притом с благословения святого Фомы Аквинского.





Аристотель (фрагмент фрески Рафаэля, 1509) и Архимед (Д. Фетти, 1620). Оба изображения вполне мог видеть Галилей.

Для студента Галилея общие философские ответы звучали неубедительно и авторитет имен мало что менял. Гораздо убедительней и интересней была математика, хоть ее в учебной программе было мало. Студент стал искать пищу для ума за пределами программы и за пределами университета. И нашел книгу Архимеда, получив ее от математика-профессионала, но в той же книге, помимо красивых теорем о математических фигурах, Галилей нашел утверждения о реальных явлениях — о действии рычага, о центре тяжести, о плавании. Утверждения эти были не менее убедительны своей математической точностью, и к тому же их можно было проверить на опыте.

Свое первое изобретение Галилей сделал под впечатлением от самой знаменитой задачи Архимеда. Задачу ту поставил царь, получив от ювелира заказанную золотую корону. Царя вполне устроила форма изделия, и весила корона сколько полагалось, но не заменил ли ювелир часть золота на серебро? С этим сомнением царь обратился к Архимеду. Согласно

преданию, решение задачи пришло к ученому мужу, когда он погружался в ванну, и его радостное восклицание «Эврика!» известно ныне даже тем, кто не знает, что по-гречески оно значит «Нашел!». Суть найденного решения, по мнению Галилея, — сравнить корону и равный ей по весу слиток золота, положив их на чаши весов, погруженных в воду: если в воде слиток перевесит корону, значит, ювелир сжульничал.

Так действует великий закон Архимеда, точнее — Архимедова выталкивающая сила, еще точнее — различие в выталкивающих силах. А чтобы с ювелирной точностью измерять такое различие (и заодно честность ювелиров), 22-летний Галилей придумал особые весы со шкалой в виде проволоки, ровно намотанной кольцами на плечо коромысла. Место, в котором надо прицепить чашу весов, чтобы она уравнилась, даст число колец и значение измеряемой величины.

Скромное начало для основоположника современной физики?

Не такое уж и скромное. В своем изобретении Галилей соединил математическую точность теоретического закона с физическим измерением — соединил два главных инструмента современной физики.

Да и началом это вряд ли можно назвать. Не только потому, что юный Галилей уже решал и другие задачи Архимеда. Начало личности — это формирование взгляда на мир и на себя самого еще в детстве. Юному Галилею повезло с отцом, искусным музыкантом и теоретиком музыки, который к тому же исследовал музыку как явление природы.

Еще Пифагор в Древней Греции вслушивался в звучание струн в зависимости от их длин и сделал поразительное открытие: если длины струн относятся, как целые числа 1:2, 2:3, 3:4, то их совместное звучание гармонично. Свое открытие Пифагор обобщил до принципа «Все есть число», провозгласив ключевую роль математики в устройстве мира. А что касается музыкальной гармонии, то со времен Пифагоровых считалось, что «гармоничные» числа должны быть небольшими. Отец Галилея, однако, в оценке созвучий верил собственным ушам и, обнаружив, что отношение 16:25 тоже дает благозвучие, смело отверг авторитетное мнение. А сын получил от отца урок поиска истины, в котором сошлись эксперимент, математика, свобода мысли и доверие к собственным чувствам и разуму.

Будущему физики повезло с отцом не только в этом. Отец платил за его образование, рассчитывая, что старший сын станет врачом и поможет ему поддерживать их немалую семью, — заработка музыканта хватало с трудом. Можно представить себе досаду отца, узнавшего, что сын, вместо медицинской премудрости, углубляется в математику, которая не обещала никакой практической профессии, а значит, и надежного достатка. Однако, прежде чем принять решение, отец побеседовал с тем математиком, который давал сыну книги. Математик убеждал его, что у сына талант, который заслуживает поддержки. Отец внял доводам математика и призванию сына. И сын оправдал доверие — после смерти отца стал опорой семьи и к тому же прославил их родовое имя.

Путь к мировой славе начался с сомнений и неудач.

Сомнения возникли еще в студенческие годы, когда Галилей изучал Аристотеля. На первый взгляд Архимед не сопоставим с Аристотелем, поскольку получил свои результаты для узкой области явлений. Ну что такое закон рычага?! Неловко здесь звучит даже слово «закон». Кому не понятно, что грузы на коромысле уравновешены, если произведение величины груза на плечо одно и то же по обе стороны?! Да, с помощью этого простого закона Архимед находил центры тяжести хитрых фигур, рассуждая математически. Но результат можно проверить, подвесив фигуру за теоретически найденный центр тяжести и

увидев, что она не шелохнется. Это уже физика, а в целом, значит, математическая физика. И все же в бесконечном разнообразии явлений природы Архимед исследовал лишь немногие. Он не претендовал на то, чтобы объяснить устройство мира. Пообещал лишь повернуть мир, то бишь земной шар, если ему дадут надлежащую точку опоры и крепкий рычаг.

Аристотель же своих амбиций не ограничивал — он писал о земном и небесном, о живом и неживом, об этике и политике и, наконец, о физике и метафизике. Слово «физика» ввел сам Аристотель, производя его от греческого слова «природа». А вот слово «метафизика» придумал издатель сочинений Аристотеля, назвав так том, *следующий за «Физикой»*, что «*мета-физика*» и означает по-гречески. Фактически же Аристотель рассуждает там о *пред-физике*, или о первофилософии — о самых общих основах любого знания.

Дух захватывает от такой широты. Но широта не требует глубины, как показывает физика Аристотеля. Веками ее считали вершиной науки. Одна из причин столь долгосрочного авторитета — согласие этой науки с обыденным здравым смыслом. Аристотель, к примеру, отверг идею о том, что природа устроена из невидимых атомов, движущихся и взаимодействующих в пустоте, — раз никто не видел атомов, значит, их и нет, как нет и пустоты. Он, по сути, не исследовал природу, а наводил порядок в ее описании, опираясь на свой здравый смысл. И пришел к выводу, что движения на небе и на земле принципиально различны. В небесном мире всякое движение — естественное, вечное и круговое. В мире земном насильственное движение определяется силой, а естественное движение рано или поздно непременно прекращается. Аристотель считал, что тела бывают по сути своей тяжелые или легкие: тяжелое тело естественно движется вниз, а легкое — как огонь или дым — вверх. Выглядит правдоподобно, если особенно не вглядываться в физические явления.

Галилей вглядывался, имея образцом точную физику Архимеда. И обратил внимание на утверждение Аристотеля, претендующее на точность: «Более тяжелое тело падает быстрее легкого во столько же раз, во сколько раз оно тяжелее». Эта фраза дала Галилею точку опоры, с помощью которой он повернул ход истории науки, а то и мировой истории.

Как Галилей повернул ход истории

Опровергнуть Аристотеля было нетрудно. Наблюдая за падением шаров, одинаковых по размеру, но различающихся по весу, скажем в десять раз, легко убедиться, что время падения различается вовсе не в десять раз. Похоже, уже в начале своих сомнений Галилей догадался, что быстроту падения определяет не сама по себе разница в тяжести. Вопрос был в том, что же определяет?

Надо отдать должное и Аристотелю, которого недаром относят к величайшим мыслителям. Вопрос-то первым поставил он. А значит, осмелился предположить, что на такой вопрос можно ответить. Ответ был неправильным, но было уже от чего отталкиваться. Неправильность Галилей заподозрил еще на уровне рассуждений. Если скорость падения пропорциональна тяжести тела, то, разделив тело на две части мысленно или реально и оставив части в непосредственной близости, следует ожидать, что каждая из частей будет падать медленнее, чем целое. Абсурдный вывод показывает неправоту Аристотеля, но отсюда совершенно не следует, что сам вопрос правилен, что на него возможен определенный ответ. В оправдание Аристотеля можно сказать, что он говорил о падении тел, различающихся только тяжестью. Но, скорее, ему было просто... некогда. Для него падение тел было лишь одним вопросом одной из многих наук, которыми он занимался. К главным его заслугам относят создание логики как дисциплины мышления. Через его школу логики прошел в студенческие годы и Галилей, и все люди науки той эпохи. Глядя же на Аристотеля из нашего времени, можно сказать, что мощный мыслитель слишком крепко держался за свой «здравый смысл», основанный, как обычно, на собственных жизненных наблюдениях. А двигаться вперед можно, опираясь не только на землю под ногами, но и на воздух под крыльями, как это делают птицы. Тогда можно преодолеть и непроходимый, скажем, сильно заболоченный, участок земли. Галилей фактически изобрел такой — крылатый — метод опоры в поиске научной истины.



Портрет Галилео Галилея. Художник Оттавио Леони, 1624 г.

Научными амбициями Галилей не уступал Аристотелю, но стремился не столько вширь, сколько вглубь и ввысь. Он не претендовал на владение всеми науками, зато верил, что в основе всей физики Вселенной — и подлунной и надлунной — действуют некие общие фундаментальные законы, и верил, что может выяснить закон свободного падения. На выяснение потребовались десятилетия исследований. И понадобились еще годы, чтобы изложить свои результаты убедительно.

Основное его открытие состояло в том, что *в пустоте все тела, независимо от их тяжести, падают с одинаковой быстротой, но что эта быстрота определяется не скоростью самой по себе, а скоростью изменения скорости, то есть ускорением.* Его результаты, писал он, «столь новы и на первый взгляд столь далеки от истины, что если бы [он] не нашел способов осветить их и сделать яснее солнца, то предпочел бы скорее

умолчать о них, нежели их излагать».

Главная новизна кроется в «пустоте». Мало того, что, согласно Аристотелю, пустоты нет и быть не может, как он «доказал» разными способами (например, говоря, что «пустота» — это «ничто», а ничто и не заслуживает никаких обсуждений). Важнее то, что Галилей пустоты никогда не видел — ни в каких своих опытах. Как же он мог что-либо о ней узнать?!

Это было потруднее, чем просто опровергнуть старый закон Аристотеля, опираясь на очевидный результат прямого опыта. И Аристотель опирался на очевидность. А Галилей знал, что «большинство людей и при хорошем зрении не видит того, что другие открывают путем изучения и наблюдения, отделяющих истину ото лжи, и что остается скрытым для большинства».

Так Галилей написал в своей последней книге, умудренный полувековым опытом научных размышлений и экспериментов. Но когда он, 25-летний, только начинал свои исследования, он надеялся на простую прямую проверку — проверку не столько Аристотеля, сколько своей собственной гипотезы.

Под впечатлением от физики Архимеда Галилей предположил, что быстрота падения, как и плавучесть, определяется не тяжестью тела, а его плотностью, то есть тяжестью единицы объема. Если взять два шара одинакового размера, сделанные из дерева и из свинца, и выпустить их из рук в воде, то деревянный шар не то что будет падать медленнее свинцового, он станет подниматься. А если дать им падать в воздухе? *Оказалось, что деревянный шар вначале немного опередил свинцовый, но затем тяжелый догнал и перегнал его.* Это Галилей зафиксировал в своей рукописи «О движении», которую... не опубликовал, — результат его эксперимента опровергал и закон Аристотеля, и собственную гипотезу. Тут надо было думать.

Этот странный рукописный результат побудил одного знаменитого историка сказать, что Галилей такого опыта вообще не делал; то был якобы риторический прием. Однако в наше время опыт воспроизвели, и результат совпал с Галилеевым. Объяснение нашлось не физическое, а физиологическое. Рука, удерживающая тяжелый шар, сжимает его крепче, чем другая рука — легкий, и крепче сжатой руке требуется немного большее время, чтобы разжаться, получив команду от головы. Поэтому легкий шар начинает свое падение раньше на то самое «немного».

О такой неловкости рук Галилей вряд ли догадывался, он думал о физике. Думал десять лет и понял, что изучать свободное падение впрямую не получится — слишком быстро оно происходит. Если шар падает с небольшой высоты, не успеваешь глазом моргнуть, не то что измерить. А падая с большой высоты, шар наберет большую скорость, и, значит, увеличится сопротивление воздуха. Всякий, державший в руках веер, знает: чем быстрее им махать, тем труднее.

Галилей придумал два способа «замедлить» свободное падение.

Один — пускать шары по наклонной плоскости. Чем меньше угол наклона, тем движение более растянуто и тем легче его изучать. Но можно ли скатывание назвать свободным падением? Назвать можно как угодно. Важнее реальное физическое родство. Чем глаже плоскость, тем свободнее движение. А чем больше угол наклона, тем движение больше похоже на падение, становясь обычным падением, когда плоскость станет вертикальной. Прodelывая такие опыты с наклонной плоскостью, Галилей первым делом убедился, насколько неверной была его исходная гипотеза. Ведь он предполагал, что всякое

тело падает с некой постоянной быстротой, подразумевая, что мера быстроты — это расстояние, проходимое за единицу времени. Так он мог думать лишь потому, что обычное свободное падение длится слишком недолго. Растянув падение в движение по пологой наклонной плоскости, легче заметить, что в начале движения тело движется медленнее, чем в конце. Значит, быстрота движения увеличивается?

А что такое вообще *быстрота*? В обыденном языке это — *скорость, стремительность*, а если еще быстрее, то можно сказать *молниеносность* и даже *мгновенность*. Все эти слова в обыденном языке — синонимы. Но в языке науки — для определенности ее утверждений и для проверки их на опыте — нужны слова четко определенные — научные понятия. Пример четкой определенности слов давала математика, но всего лишь пример: в математике нет времени, движения, скорости, тяжести. Чтобы сказать свое новое слово в науке, нередко надо ввести в науку новые слова-понятия. Особенно не хватало научных понятий, когда Галилей начинал современную физику. Ему приходилось уточнять, что скорость — это изменение положения за единицу времени. А ускорение — изменение скорости за единицу времени. Надо сказать, что тогда точное измерение времени само по себе было проблемой. Галилей время взвешивал: открывал струйку воды в начале и закрывал в конце измеряемого интервала, а сколько времени утекло, определял на весах. Весы тогда были самым точным прибором.

Другой способ изучать свободное падение родился у Галилея в церкви, но не в связи с грехопадением Евы. Во время церковной службы, глядя поверх священника, он обнаружил удивительное явление. Вверху висела люстра и раскачивалась — по воле сквозняка — то сильнее, то слабее. Галилей сравнил длительность отдельных качаний, измеряя время ударами собственного пульса, и обнаружил, что большое колебание люстры длится столько же, сколько малое. С этого начались его исследования маятника, а это — любой груз, висящий на нити. Галилей наблюдал за колебаниями маятника, меняя грузы, длину нити и начальное отклонение.

Наблюдая сразу за двумя маятниками, он убедительно подтвердил свое церковное наблюдение. Если взять два одинаковых маятника, слегка отклонить грузы на разные углы и отпустить, то маятники будут колебаться в такт, совершенно синхронно: период малого колебания — тот же, что и большого. Ну а «если с какой-нибудь балки спустить два шнура равной длины, на конце одного прикрепить шарик из свинца, а на конце другого шарик из хлопка, одинаково отклонить оба, а затем предоставить их самим себе»? Период колебаний опять одинаков, хотя размах колебаний быстрее уменьшается у легкого шарика. В движении более легких тел сопротивление среды заметнее. Это ясно, если сравнить движения в воздухе и в воде: «мраморное яйцо опускается в воде во сто раз быстрее куриного яйца; при падении же в воздухе с высоты двадцати локтей оно опережает куриное яйцо едва ли на четыре пальца». Свободное колебание маятника мало похоже на свободное падение, но оба определяются тяжестью. А при уменьшении размаха колебаний уменьшится скорость маятника и, значит, уменьшится роль сопротивления среды.

Результаты своих опытов и рассуждений Галилей подытожил в новом законе природы: *в пустоте все тела свободно падают с одним и тем же ускорением.*

Ну а как же знаменитая история о том, как Галилей якобы сбрасывал шары с Пизанской «падающей» башни? А наблюдавшая за этим ученая публика якобы тут же после одновременного приземления разных шаров признала триумфальную победу Галилея над

Аристотелем.

Это — легенда. Не было такого триумфа. Да и приземлиться одновременно разные шары не могли из-за сопротивления воздуха. А ученые коллеги, за малым исключением, охраняли авторитет Аристотеля, которого выучили еще студентами и преподавали новым поколениям. Именно неприятие его идей побудило Галилея, помимо современной физики, заняться еще и научно-популярной литературой. Его главные книги имеют форму бесед между тремя персонажами. Один — Симпличио — представляет взгляды почитателей Аристотеля. Второй — Сальвиати — самостоятельный исследователь, похожий на Галилея. А третий — Сагрето — похож на здравомыслящего человека, быть может, и не искушенного в науках, но готового выслушать обоих оппонентов и задать уточняющие вопросы, прежде чем решить, кто прав. Именно для таких читателей Галилей писал. Ради них он перешел с латыни — языка тогдашней учености — на живой итальянский язык, чтобы рассказать о драме идей, в которой сам участвовал, о слепой уверенности тех, кому все ясно, о духе сомнения в поисках истины и о способах установления истинных законов природы.

Историю о «падающей башне» впервые рассказал ученик Галилея в биографии, написанной спустя десятилетие после смерти учителя и полвека спустя после предположительных опытов. Ученик был физиком, а не историком, и когда он пришел в науку, было уже совершенно ясно, кто прав. Он, похоже, усмотрел автобиографическое свидетельство Галилея в словах его литературного персонажа:

Сальвиати. Аристотель говорит, что «шар весом в сто фунтов, падая с высоты ста локтей, достигнет земли прежде, чем однофунтовый шар пролетит один локоть». Я утверждаю, что они долетят одновременно. Делая опыт, вы увидите, что, когда больший достигнет земли, меньший отстанет на ширину двух пальцев. За этими двумя пальцами не спрятаешь девяносто девять локтей Аристотеля.

Сам Галилей нигде не утверждал, что сбрасывал шары с Пизанской башни. Для него гораздо важнее был новый закон свободного падения, чем опровержение старого. А движение шаров по наклонной плоскости и малые колебания маятников были гораздо убедительнее эффектных публичных демонстраций.

Первый современный физик?

Настал момент, чтобы читатель типа Сагрето, поздравив Галилея с открытием нового закона, спросил: а чем уж так он отличается от закона Архимеда и чем, собственно, Галилей заслужил титул «отца современной физики»?

Преимущество закона Архимеда очевидно. Плавание — практически важное явление, а свободное падение — явление редкое, краткое и... фатальное. Кому важно знать, сколько точно секунд длится падение с крыши до земли?! К тому же закон Галилея дает точную величину лишь для падения в пустоте, которую в те времена никто не видел, а учетом влияния воздуха Галилей не занимался.

Объясняя вклад Галилея, говорят, что он основал науку экспериментальную или экспериментально-математическую, что он «математизировал» природу и изобрел «гипотетико-дедуктивный» метод. Все эти утверждения, однако, применимы и к Архимеду, по книгам которого Галилей учился и которого называл «божественнейшим». Физик Архимед был еще и великим математиком, и инженером-изобретателем, а гипотеза и логическая дедукция служили инструментами мышления и до Архимеда. Более того, и эксперименты Галилея, и используемая им математика не выходили за пределы возможного у Архимеда.

Что же сделало Галилея «отцом современной физики», по выражению Эйнштейна, или, проще говоря, первым современным физиком? Читателю, который хотел бы сам найти ответ на этот вопрос, стоит поразмыслить над законом свободного падения в пустоте и учесть при этом, что Галилей не делал опытов в пустоте — только в воздухе и в воде.

Уже после смерти Галилея его ученик Торричелли научился создавать (почти полную) пустоту, названную «торричеллиевой». Для этого нужна пробирка длиной, скажем, около метра, заполненная ртутью. Перевернув пробирку вверх дном и опустив ее открытый конец в сосуд с ртутью, получим вблизи дна пробирки, оказавшегося наверху, примерно 24 сантиметра пустоты (если давление воздуха нормальное — 760 мм ртутного столба). В такой пустоте пушинка и монета падают совершенно одинаково.

Три века спустя, в 1971 году, подобную картину увидели миллионы телезрителей, когда на их телеэкранах участник лунной экспедиции «Апполон-15» астронавт Дэйв Скотт, находясь на поверхности Луны, выпустил из рук молоток и перышко, и те прилунились одновременно — в полном согласии с законом Галилея, поскольку там нет воздуха. Репортаж об этом лунном эксперименте занял всего 40 секунд:

Итак, в левой руке у меня перышко, а в правой — молоток. Одна из причин, почему мы попали сюда, связана с джентльменом по имени Галилей, который давным-давно сделал важное открытие о падении тел в гравитационных полях. Мы подумали, что показать вам его открытие лучше всего на Луне. Сейчас я выпущу из рук перо и молоток, и, надеюсь, они достигнут поверхности за одно и то же время... Вот так!.. [аплодисменты в Хьюстоне] <...> что и доказывает правоту мистера Галилея.

Присоединяясь к аплодисментам в Хьюстоне, историк науки заметил бы, что Галилей понятия не имел о «гравитационных полях», а говорил просто о свободном падении. И что для физиков закон Галилея вполне подтверждался малыми колебаниями маятника,

поскольку их период не зависит от того, какой груз висит на нити.

Пустота была первым важным «не-наглядным» понятием в физике. Затем появились другие — всемирное тяготение, электромагнитное поле, атомы, электроны, кванты света... Никто их не видел и не щупал, но лишь на основе этих ненаглядных понятий стали возможны технические изобретения, преобразившие обыденную жизнь. И нынешние физики применяют эти понятия столь же уверенно, как самые обычные слова «стол» и «стул», «любовь» и «дружба».

Изобрести фундаментальную физику Галилею помогли его природные таланты и вера в познаваемость мира, в фундаментальность мироздания.

Сейчас, когда наука и основанная на ней техника достигли гигантских успехов, познаваемость мира кажется очевидной, но до всех этих успехов — в шестнадцатом веке — ситуация была совершенно иной. Тогда сама власть законов в природе отнюдь не была общепризнанной. С начала размышлений Галилея и его первых опытов до публикации итогов работы прошло около полувека. Полвека настойчивых поисков истины — и такой простой закон, «ежу понятный», как скажут нынешние школьники.

А Галилей считал, что «лишь открыл путь и способы исследования, которыми воспользуются более проникательные умы, чтобы проникнуть в более удаленные области обширной и превосходной науки», и что «таким образом познание может охватить все области природных явлений».

Глава 2

Первый астрофизик во Вселенной

Современники Галилея очень удивились бы, узнав, что в рассказе о его главном научном достижении не упомянуты его астрономические открытия. Открытия и впрямь великие, однако сделал их не астроном, а *астрофизик* Галилей, самый первый астрофизик, и задолго до появления этого слова. Вторым был Ньютон. А их соучастников в Великой Научной Революции — Коперника и Кеплера — лучше назвать *астроматематиками*, и далеко не первыми: астрономия испокон веков опиралась на математику. Астроном стремится точно описать происходящее на звездном небе, а физик хочет объяснить наблюдаемое причинами, доступными для опытного исследования. Речь идет о двух взаимно плодотворных, но разных взглядах на мир, и каждый взгляд в одной ситуации может вести к успеху, а в другой — к конфузу.

Прежде чем говорить о замечательных открытиях и заблуждениях первого астрофизика, напомним картину Вселенной, какой ее тогда видели астрономы.

Астрономические картины

Картина эта пришла из античности и называли ее системой мира Птолемея, по имени астронома, подытожившего тогдашние знания. В книгах, по которым учился Галилей, эту картину мира изображали набором концентрических окружностей, где самый малый круг в центре обозначал Землю. Систему эту называют геоцентрической, поскольку в центре ее — Гея, что по-гречески — Земля. Профессионалы, конечно, знали, что эта плоская картинка переупрощает объемную конструкцию Птолемея, не вполне даже геоцентрическую: Земля там не в самом центре, а на некоем расстоянии от него. Вокруг пустого центра — восемь концентрических небесных сфер. На внешней сфере закреплены несметные неподвижные звезды, а на остальных поодиночке расположены звезды *блуждающие*, по-гречески *планеты*: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн, и два светила — Солнце и Луна. Каждая из сфер вращается вокруг своей оси со своей скоростью. Сфера неподвижных звезд вращается как целое и делает ровно один оборот за сутки. А планеты движутся более хитрым образом — каждая закреплена на некой малой сфере под названием «эпицикл» с центром, прикрепленным к своей большой небесной сфере. Так что каждая планета участвует сразу в двух вращениях. Все большие и малые сферы абсолютно прозрачны и каким-то образом не мешают друг другу.

Причины этих хитрых расположений и вращений заменяли ссылкой на Аристотеля, согласно которому небесные явления принципиально отличаются от земных: на небе все сделано из особо небесного материала — эфира, и все небесные движения круговые. А единственной суперпричиной всего небесного устройства объявлялся его Творец.

Как же люди узнали это устройство, и соответствует ли оно реальности? На это астроном шестнадцатого века ответил бы ссылкой на божественный гений Птолемея и на возможность с помощью его системы рассчитать положение небесных светил в любой момент времени. Для таких расчетов, впрочем, не нужен был ни эфир, ни Бог, достаточно было знать лишь положение планет в данный момент времени, радиусы и скорости вращения небесных сфер. Так предсказывали солнечные и лунные затмения и объясняли диковинные попятные движения планет, когда планета останавливается и движется в обратном направлении.

Система Птолемея исправно служила астрономам много столетий, прежде чем в середине шестнадцатого века Коперник поставил ее с ног на голову, по мнению подавляющего большинства коллег, или с головы на ноги, как сочли совсем немногие. Коперник, в сущности, спросил, как выглядело бы звездное небо, если смотреть с Солнца. И ответил гелиоцентрической системой, столь же полно описав движения на небе, как и система Птолемея. Коперник использовал прежний способ описания — большие и малые небесные сферы, только в центре поместил Солнце, а не Землю. Картина небесных движений радикально изменилась: сфера неподвижных звезд и сама стала неподвижной, Земля вращалась вокруг своей оси и вокруг Солнца, став одной из планет, также вращавшихся вокруг Солнца. Лишь Луна осталась в прежней роли — так же вращалась вокруг Земли. И картина неба, наблюдаемая с Земли, разумеется, осталась прежней. Только астрономы понимали, что эта — реально наблюдаемая — картина рассчитывается двумя разными математическими теориями.

Система Коперника настолько отлична от птолемеевской, что непостижимой кажется

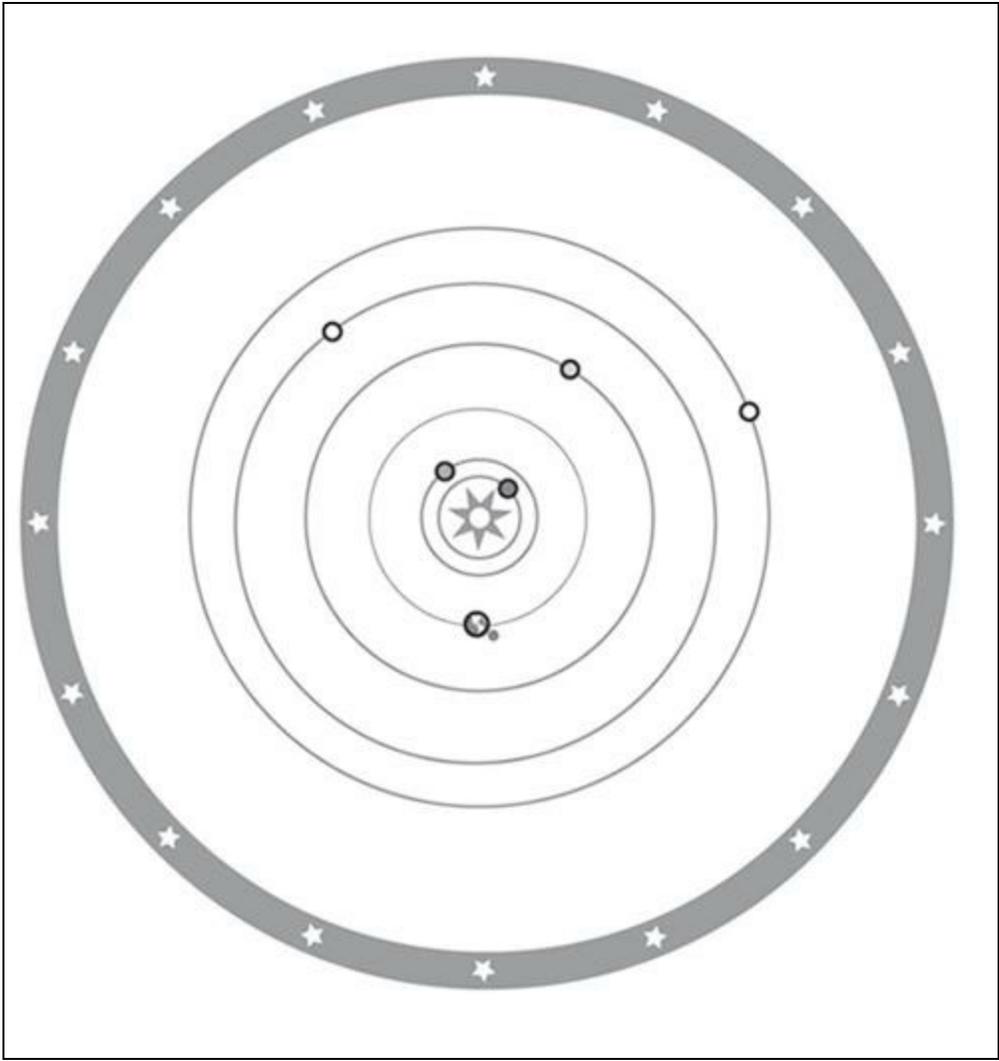
сама исходная мысль: посмотреть на Вселенную с солнечной точки зрения. Помогла Копернику, похоже, его гуманитарная образованность. Он прекрасно знал древнегреческий язык, и труд Птолемея был для него лишь одной из античных книг. Из других книг он знал о древнем греке Аристархе Самосском, который сумел оценить количественно размер Солнца, много больший размера Земли, и предположил, что Земля вращается вокруг Солнца — малое вокруг большого. Для Птолемея, как и других древних астрономов, этот довод никак не перевешивал очевидную неподвижность Земли, и он гелиоцентрическую идею даже не рассматривал. Почему и как Коперник решил эту идею исследовать, почему его интуиция взлетела на такую странную высоту, сам он не объяснил. Ясно лишь то, что в великом Птолемея он видел коллегу, а не безошибочного гения.

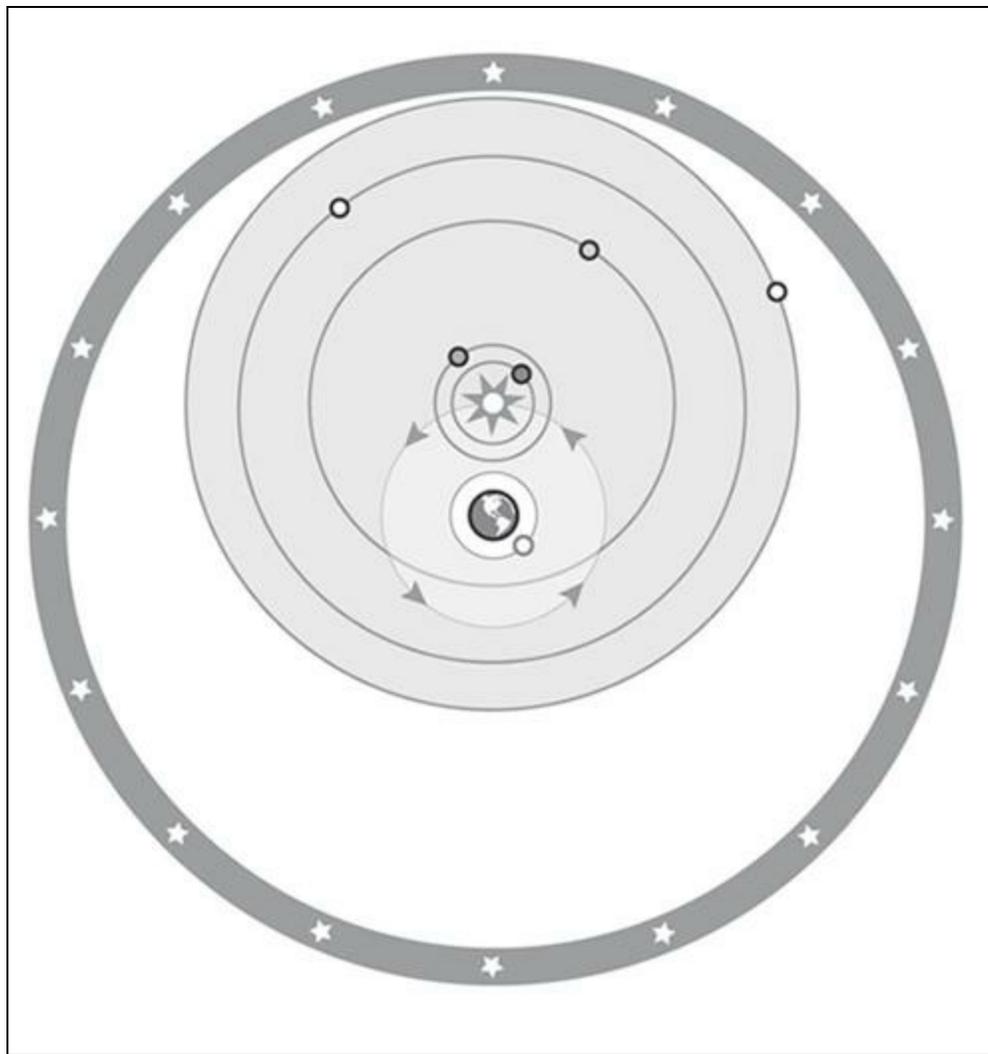
Чтобы исследовать гелиоцентрическую идею, Копернику надлежало проделать большую работу: детально описать конструкцию гелиоцентрической системы, чтобы можно было рассчитать положение любой планеты. Из своей системы он извлек несколько замечательных следствий: планеты перестали «пятиться», орбиты почти круговые, а периоды обращения тем больше, чем дальше от Солнца. Закончив многолетний труд, он долго откладывал публикацию. Астрономические преимущества — прежде всего отсутствие попятных движений планет — дались не даром: в системе Коперника Земля вместе с ее обитателями движется с огромной скоростью — тысячи километров в час. Цена была слишком велика для тех, кого небо интересовало лишь на предмет завтрашней погоды: ну как можно мчаться с такой сумасшедшей скоростью, не замечая этого?! Цена была чрезмерной и для людей образованных, но не желающих свое образование повышать.

Были, однако, и другие.

Первым следует назвать Тихо Браге, заслужившего титул «короля астрономов» за количество и точность наблюдений. Он принял систему Коперника и... сделал шаг в обратном направлении, никак не влияющий на расчеты и наблюдения, но аннулирующий скорость Земли. Он предложил в системе Коперника смотреть на мир с Земли. Тогда Земля — опять неподвижный центр Вселенной, а вращается Солнце, вокруг которого вращаются все другие планеты. Это была гелиоцентрическая система с геоцентрической точки зрения. Астронома-наблюдателя не смущало, что вокруг Земли вращается нечто гораздо большее ее по размеру. Как Всевышний сотворил Вселенную, так она и вращается. Если систему Коперника непочтительно сравнить с игрушечным заводным автомобилем, то можно сказать, что Тихо Браге держал заведенную машину за колесо в воздухе: колесо не двигалось, а машина вращалась вокруг него. Неуклюже, но игрушка та же самая.



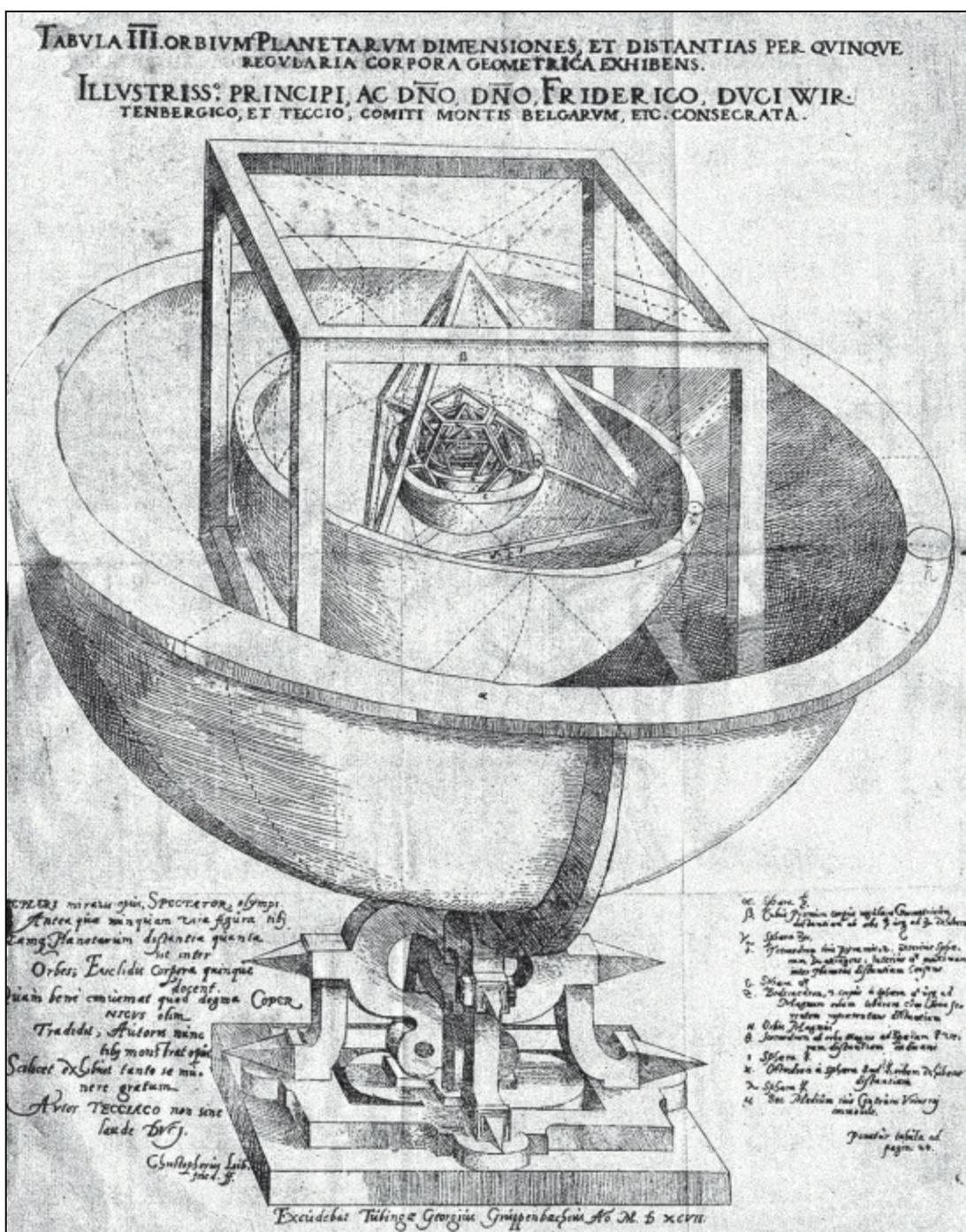




Геоцентрическая система Птолемея, гелиоцентрическая система Коперника и геогелиоцентрическая система Тихо Браге.

Для астронома Кеплера математическая стройность системы Коперника перевешивала все земные проблемы. А для астрофизика Галилея самым интересным стал как раз земной вопрос: почему планетное движение неощутимо? Усилиями обоих содержание картины мира Коперника расширилось и углубилось. А неожиданным «побочным» результатом этого стало рождение современной науки. Именно поэтому труд Коперника считают началом Научной Революции.

Участники этой революции, если смотреть из нашего просвещенного будущего, не отличали свои поражения от побед, как рекомендовал поэт Пастернак. И правильно делали. В истории науки, чтобы ясно отличить поражение от победы, человеческой жизни обычно не хватает. А главное, в современной науке, как пояснял физик Эйнштейн, разум, свободно взлетая с твердой почвы фактов, заранее не знает, чем полет завершится и не придется ли взлетать заново, в другом направлении.



Гелиоцентрический кубок шести планет Кеплера.

Первая книга 25-летнего Кеплера «Космографическая тайна» (1596) стала первой публикацией в защиту системы Коперника, в которой Кеплер видел лишь первый шаг к объяснению картины Космоса. Он был уверен, что сделал следующий шаг — объяснил число планет, равное шести. Объяснил с помощью точной и красивой математики. Еще античные математики знали, что имеется всего пять *правильных многогранников* (у которых все грани равны). Кеплер обратил внимание, что если эти пять многогранников расположить матрешкой так, чтобы каждый касался двух сфер — гранями касался вписанной сферы, а вершинами — описанной, то получится ровно шесть сфер. Шесть планетных сфер! Оставалось подобрать нужный порядок многогранников, чтобы размеры сфер совпали с наблюдаемыми. И это ему удалось, что и убедило его в правильности догадки. Он, стало быть, не допускал мысли, что откроют еще хотя бы одну планету, исходя, вероятно, из того, что все шесть планет известны с незапамятных времен.

Свою книжку Кеплер послал Галилею. Тот ответил письмом, всецело поддержав гелиоцентризм:

Как и Вы, я давно уже принял идеи Коперника и на их основе открыл причины явлений природы, необъяснимых для нынешних теорий. Много обоснований и опровержений я записал, но опубликовать их до сих пор не решился, остерегаясь участи Коперника, нашего учителя, заслужившего бессмертную славу у немногих и осмеянного толпами глупцов.

В движении Земли Галилей видел не только проблему, но и возможность объяснить хорошо известное и загадочное явление — морские приливы. Подсказку он нашел, наблюдая за баржей, перевозившей (пресную) воду. Он заметил, что при ускорении или замедлении баржи вода поднимается у задней или передней стенки емкости, а если баржа плывет с постоянной скоростью, вода в емкости выглядит точно так же, как и на барже, неподвижной. Чтобы сопоставить баржу с Землей, а воду в емкости с океаном, надо быть смелым физиком, верящим в единство законов Вселенной. Галилей был именно таким, что само по себе, однако, не гарантировало успех каждому взлету его разума.

Сравнение баржи с Землей стало началом его пути к великому принципу относительности и к закону инерции, которые освободили систему Коперника от главной трудности. Если вода в емкости «не замечает» постоянную скорость баржи, то это верно при любой скорости, хоть и тысячи километров в час, и эту скорость невозможно обнаружить никаким иным внутренним способом — проделывая опыты на барже в каюте с закрытыми окнами. Тем самым рассеялась главная физическая проблема системы Коперника: в земном опыте астрономическая скорость Земли не заметна.

А изменением скорости «большой баржи» — земной поверхности — Галилей взялся объяснить морские приливы. Изменение это — ускорение и замедление — происходит из-за того, что скорости вращений Земли вокруг Солнца и вокруг своей оси складываются на ночной стороне Земли, но вычитаются — на дневной.

Такое объяснение приливов Галилей считал важным доводом в пользу Коперника, но так и не сумел превратить свой замысел в настоящую теорию. Он так и не понял, что его замысел — заблуждение. Лишь сорок лет спустя после его смерти Ньютон откроет истинную причину приливов — лунное притяжение. К этой драме идей добавилась ирония истории. Дело в том, что Галилей не раз слышал о возможной связи Луны с приливами, но такую возможность категорически отвергал:

Среди великих людей, рассуждавших о приливах, более всех других удивляет меня Кеплер, наделенный умом свободным и острым, хорошо знающий движения, приписываемые Земле, но допускающий особую власть Луны над водой, тайные свойства и тому подобные ребячества.

Читая Кеплера сегодняшними глазами, легко удивиться и жестким словам Галилея, и тому, что объяснение приливов приписывают Ньютону. Ведь уже Кеплер писал: «Луна, находясь над океаном, притягивает воды со всех сторон, и берега при этом обнажаются», а это, казалось бы, и есть краткое изложение нынешней теории приливов. Надо, однако, понимать расстояние между обыденным словом и научным понятием, обозначенным тем же словом. Во времена Галилея у слова «притяжение», как его использовал Кеплер для объяснения планетной системы, и слова «тяжесть» как причины падения тел общим был лишь грамматический корень, а не физическая природа обозначаемых ими явлений. Общую физическую природу этих двух явлений — небесного и земного — установит Ньютон в законе всемирного тяготения. А в объяснении Кеплера Галилей видел лишь слова, безо всякого намека на количественную оценку и проверку: *на сколько именно* вода поднимется к Луне, а берега обнажатся — на дюйм или на милю?

В результате своих исследований Галилей узнал о физике тяжести больше кого-либо из современников, и он понимал, что Кеплер на такой вопрос не ответил бы. Связывая морские приливы и отливы с ускоренным и замедленным движением морского дна, Галилей тоже не мог пока оценить прилив количественно, но, по крайней мере, мог искать ответ, делая опыты с водой в сосуде, меняя форму сосуда и величину ускорения. А слова Кеплера давали лишь некое «художественное» описание наблюдений.

Галилей прекрасно знал также, что о связи положения Луны с приливами говорили задолго до Кеплера. Еще в древнем трактате Птолемея об *астрологии* сказано о влиянии Луны на весь земной мир: на тела одушевленные и неодушевленные, реки и моря, растения и животных.

Нынешние авторы иногда, упрекнув Галилея в том, что он не заметил «здоровое зерно» в описаниях Кеплера, тут же оправдывают эту «слепоту» отращиванием Галилея к «лженауке» астрологии. Это не так. И Кеплер и Галилей профессионально занимались астрологией, составляли гороскопы и для заказчиков, и для своих близких. Тогда это было обычным делом астрономов и врачей, не лженаукой, а скорее искусством. И мало общего имело с нынешней астрологией «для масс», когда сразу сотням миллионов «козерогов» даются универсальные рекомендации, как избежать неудач и добиться успехов.

Во времена Галилея — Кеплера, чтобы дать прогноз и рекомендации, составляли гороскоп для данного момента времени и места — например, для времени и места рождения данного человека. Гороскоп — это положение свода неподвижных звезд и семи звезд подвижных — планет. Ясно, что такие данные давала наука астрономия. А пришедшая из глубин веков астрология наделяла каждую планету и каждое созвездие зодиака своим влиянием. Чтобы сложить все эти влияния в прогноз, астролог — осознанно или неосознанно — помимо астрономических данных опирался на свое понимание земных обстоятельств «пациента» и на воображение, короче, на свое астрологическое искусство.

Но неужели Галилей и его коллеги-астрономы верили, что это «искусство» имеет отношение к реальности?! Встанем на их место. От великого Птолемея они получили двойное наследство: трактат по астрономии («Альмагест») и трактат по астрологии («Тетрабиблос»). Астрономическая теория Птолемея много веков подтверждалась наблюдениями, и теория Коперника по точности ее не превзошла. Подтвердить же

астрологию наблюдениями практически невозможно. Астрологический прогноз всегда вероятностный и говорит о неповторимой ситуации. Поэтому если какой-то прогноз не оправдался, легче усомниться в искусстве данного астролога, чем в самой астрологии. Аналогично искусство врачевания: данный врач, опираясь на медицинские знания, может и не вылечить данного больного, но это не зачеркивает саму медицину и необязательно даже подорвет репутацию врача. Кстати сказать, во времена Галилея врач должен был уметь составить гороскоп пациенту, чтобы оценить перспективы намеченного лечения. И врач знал, что есть силы выше его медицинского искусства и выше астрологии.

Главной опорой астрологии было желание людей, особенно имущих, увеличить свои шансы на успех в жизни. И это вполне материально поддерживало астрономические наблюдения за звездами и планетами. Появление модели Коперника привело к конкуренции двух теоретических описаний одной и той же наблюдаемой астрономической реальности. Поражение астрономии Птолемея подрывало и авторитет его астрологии.

Первый астрофизик оказался последним астрологом среди астрономов. Галилей, в отличие от Кеплера, к концу жизни успел, похоже, исключить астрологию из своего мировоззрения. Однако вовсе не это различало их подходы к явлениям природы. После смерти Кеплера Галилей заметил в письме: «Я всегда ценил ум Кеплера — острый и свободный, пожалуй, даже слишком свободный, но способы мышления у нас совсем разные».

Слишком свободный ум?! Что это значит? Это — разные способы мышления астрофизика и астроматематика. Вспомним разгадку Кеплером «космографической тайны» с помощью правильных многогранников. Эту разгадку Галилей не принял. Почему именно многогранники и почему в такой последовательности? Если учесть, что пять многогранников дают 120 возможных комбинаций, то уже не столь поражает близость радиусов вписанных и описанных сфер — в одной из этих комбинаций — к наблюдаемым орбитам.

Галилей не стремился описать Вселенную какой-то одной красивой формулой, он искал фундаментальные физические законы, определяющие устройство мироздания и многообразие его форм. Для такого поиска астрономическое небо, уникально устроенное, — не лучшая лаборатория для исследователя. Там не изменишь условия проведения опытов-наблюдений, в лучшем случае можно ждать, когда эти условия изменятся сами. В земной лаборатории гораздо больше свободы в постановке опытов и в проверке теоретических идей.

Конечно, звездное небо — с его постоянством и цикличностью перемен — с древних времен вдохновляло на поиск закономерности. Это был замечательный задачник, где все задачи — со звездочками. При этом важную роль играли астроматематики, которые ставили задачи с математической определенностью, несмотря на все физические неопределенности и невероятности. Коперник своей гелиоцентрической системой поставил задачу выбора между двумя системами мира. За эту задачу и взялся физик Галилей. Физически обосновывая новую астроматематическую картину, он свел многосложную систему Коперника фактически к простейшей системе двух тел — очень большого и малого, где малое тело движется равномерно по идеально круговой орбите вокруг большого (планета вокруг Солнца, Луна вокруг Земли). Такова была, можно сказать, *модель Солнечной системы Галилея*.

Такое упрощение озадачивает многих и кажется чуть ли не возвращением Галилея к временам до Птолемея, когда считалось, что все небесные движения — чисто круговые и

равномерные. Ведь и у Птолемея и у Коперника планетные орбиты не круговые: в обеих системах использовались дополнительные малые сферы — эпициклы — для описания движения планет. Особенно смущает, что Галилей проигнорировал главное открытие Кеплера, с которым тот вошел в историю, — три элегантных закона планетных движений, основанные на многочисленных и высокоточных наблюдениях, сделанных Тихо Браге и его помощниками.

Разыскивая гармонию в планетных движениях, Кеплер опирался на тот же — астрономатематический — способ мышления, которым он в юности «разгадал» космографическую тайну расположения планет. В множестве астрономических наблюдений Кеплер искал скрытую там, как он верил, математическую стройность мироздания. Но если первую тайну, оказавшуюся миражом, 25-летний Кеплер «раскрыл» вдохновенным быстрым натиском, то на поиски трех законов Кеплера ушли многие годы.

Перед ним были длинные колонки цифр — обширнейшие данные астрономических наблюдений, а он неустанно искал математическую закономерность за этими сухими цифрами. Он знал, что орбиты овальные, но в математике есть разные овалы. Восемь лет гипотез и проверок привели его к тому, что форма орбиты — эллипс. Окружность описывается одним числом — расстоянием от ее точек до центра, а эллипс — двумя: расстоянием между двумя центрами-фокусами и постоянной суммой расстояний от его точек до фокусов. Чем меньше расстояние между фокусами, тем эллипс ближе к окружности. Это легко понять, если круг рисовать не циркулем, а, привязав шнур двумя концами к гвоздику на плоскости, натянуть полученную петлю карандашом и вести линию. Эллипс получится, если вести линию, привязав шнур к двум разным гвоздикам.

Первые два закона Кеплера утверждают, что орбита — эллипс, в одном из фокусов которого — Солнце, и что скорость планеты тем больше, чем она ближе к Солнцу. В 1609 году Кеплер опубликовал эти законы в книге «Новая астрономия» и послал ее Галилею. Тот не отозвался ни словом.

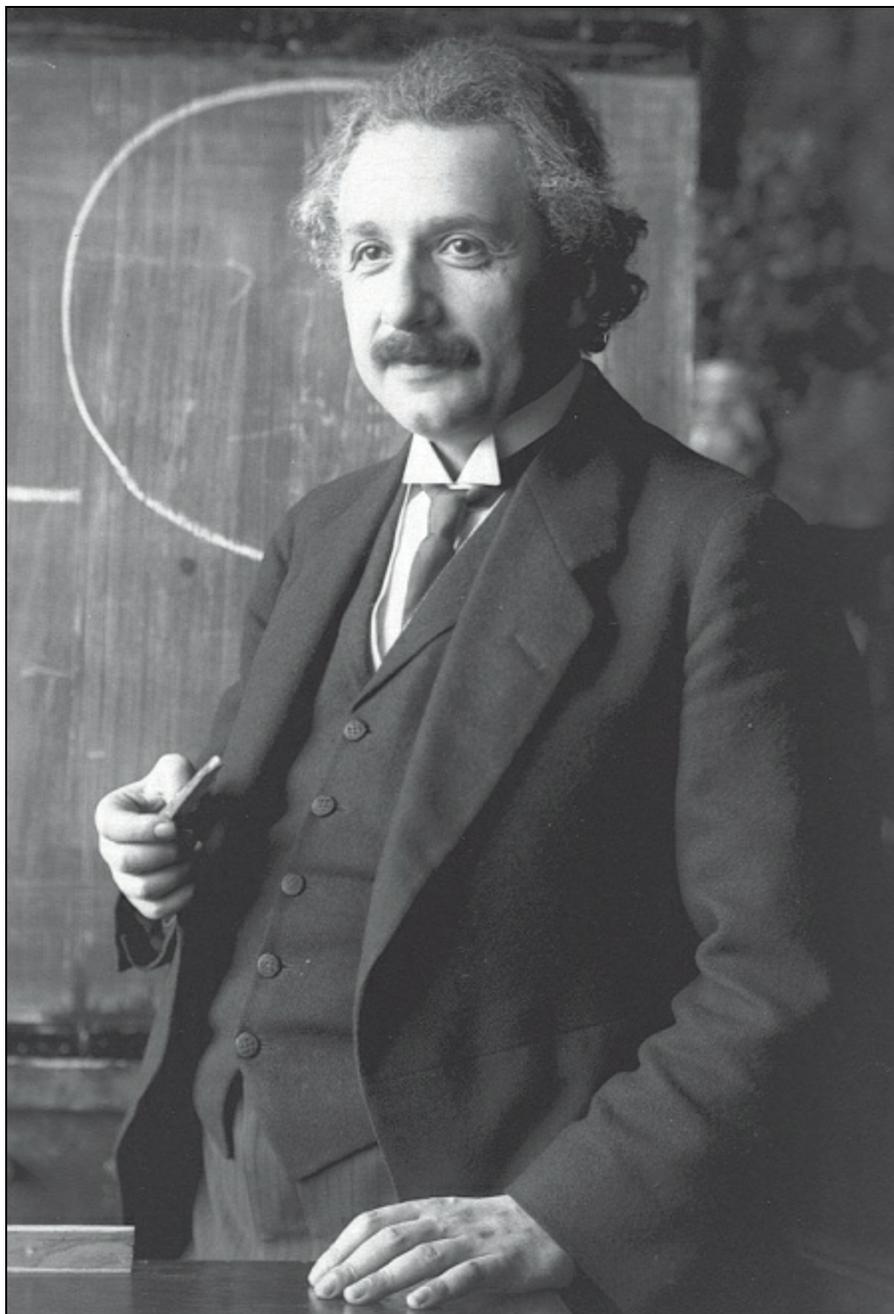
Что это значит? Ведь, в отличие от «космографических» многогранников, угаданных в шести числах, новые закономерности Кеплера основаны на самых обширных и точных наблюдениях того времени. А обнаруженное математическое изящество разве не доказывало правильность солнечной идеи Коперника? Ведь орбиты эллиптические, лишь если смотреть на планеты с солнечной точки зрения.

В текстах Галилея нет прямого ответа на эти вопросы. Ответ можно предложить, опираясь на его слова о «совсем разных способах мышления» его и Кеплера.

Галилей не просто знал и ценил математику, он верил, что наука

написана в великой книге Вселенной — книге, постоянно открытой нашему взору, но понять ее может лишь тот, кто научится понимать ее язык. Написана эта книга на языке математики, и буквы ее — треугольники, круги и другие геометрические фигуры, без помощи которых человек не понял бы в ней ни слова, блуждая в потемках по лабиринту.

Однако в математике Галилей видел лишь инструмент познания. Стремился же он понять *содержание* книги Вселенной, и прежде всего узнать, на каком фундаменте Мироздание стоит. Для этого от математики требуется не элегантность или изощренность, а помощь в изобретении физических понятий и в проведении придуманных экспериментов.



Эйнштейн: «Галилей — отец современной физики и, по сути, всего современного естествознания». «Все надо делать как можно проще, но не проще, чем надо». «Господь изощрен, но не злонамерен».

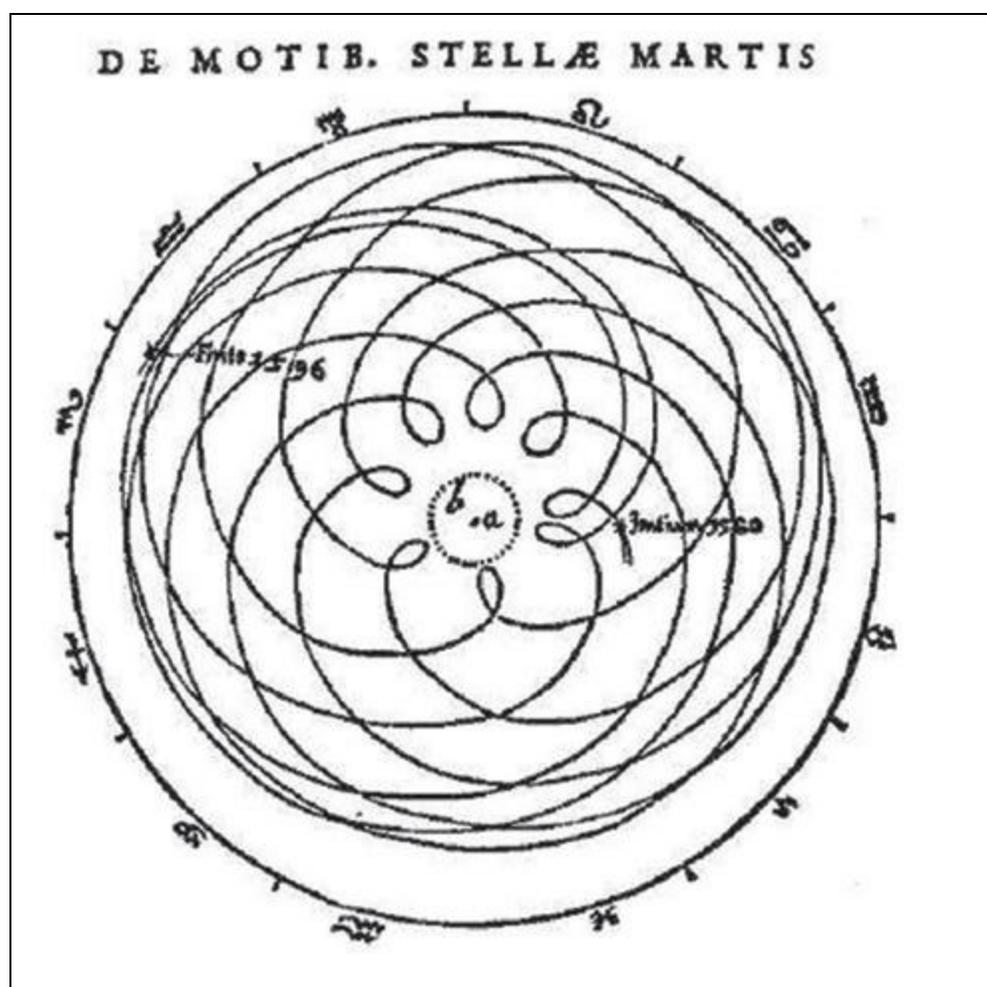
Разумеется, Галилей знал, что некоторые планетные орбиты — не круговые. Но знал он и то, что другие — почти круговые. Значит, для исследования физического фундамента астрономии круговая орбита — разумное упрощение. Подобным образом, в поисках закона свободного падения, Галилей упростил ситуацию, устранив сопротивление воздуха. Об этом же заповедь Эйнштейна: «Все надо делать как можно проще, но не проще, чем надо». Так мыслят физики.

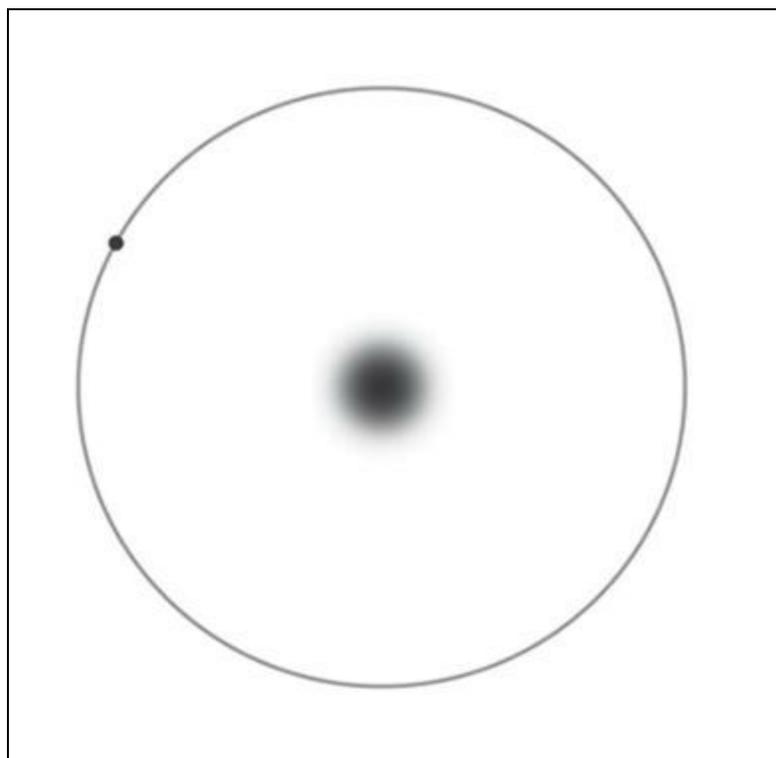
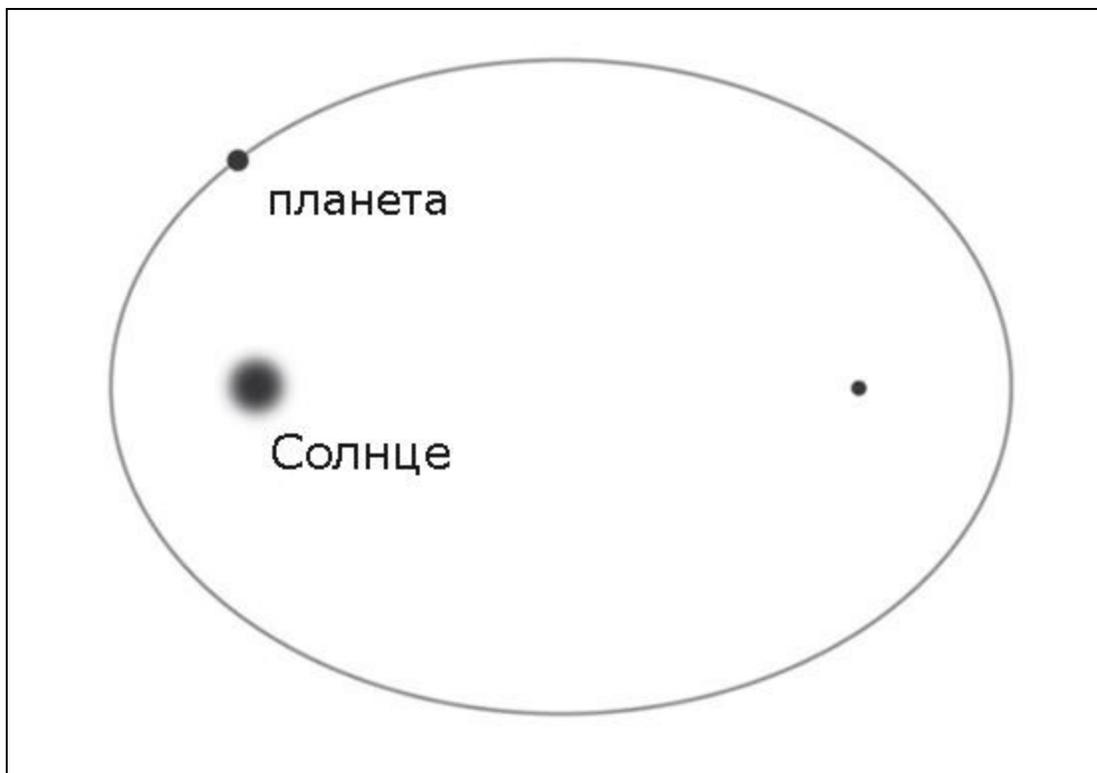
Да, этим способом и своей моделью планетного движения Галилею не удалось создать теорию приливов — явление оказалось дальше от фундамента, чем он полагал. Но эта творческая неудача окупилась «побочными продуктами» исследования — принципом относительности и ключевым понятием ускорения.

Рождение экспериментальной астрофизики

Послав Галилею в 1609 году свою «Новую астрономию», Кеплер не успел обидеться на молчание итальянского коллеги. Весной 1610 года он узнал сногшибательную новость:

Пришла в Германию весть, что ты, мой Галилей, вместо чтения чужой книги занялся собственной и невероятнейшего содержания — о четырех до сих пор неизвестных планетах, найденных при помощи двух очковых линз, что книга эта уже в печати и придет со следующими гонцами. Новость так изумила меня, что я еле успокоился. Ведь в моей книге «Космографическая тайна», изданной тринадцать лет тому назад, пять правильных многогранников допускают не более шести планет вокруг Солнца. Но если вокруг Земли вращается Луна, не входящая в эти шесть, то почему не может быть лун вокруг Юпитера? И если четыре планеты скрывались до сих пор, то, значит, можно ожидать открытий множества новых?





Слева — траектории планеты, с точки зрения земной (с петлями попятного движения) и солнечной (первый закон Кеплера). Справа — физическая модель Галилея

Весной 1610 года еще не было термина «спутник», да в нем и надобности не было, пока Луна была единственной в своем роде. В книжке «Звездный вестник», изданной в марте, Галилей открытые им «планеты» назвал просто звездами, какими они и увиделись его глазу, вооруженному двумя очковыми линзами, поставленными необычным образом.

Получив эту книжку, Кеплер узнал, что Галилей за считанные недели, помимо четырех спутников Юпитера, обнаружил еще несколько изумляющих фактов. На самом близком астрономическом объекте — Луне — он обнаружил горы и впадины, а самых дальних —

«неподвижных» — звезд оказалось много больше, чем считалось. Некоторые астрономические объекты, наоборот, исчезли, точнее — преобразились: туманности, включая самую большую — Млечный Путь, предстали огромными совокупностями звезд.

Все эти открытия стали первыми результатами экспериментальной астрофизики — астрономическими фактами, добытыми с помощью физического прибора — подзорной трубы.

Для Галилея то был подарок судьбы, или счастливая случайность, или дар Небес — в зависимости от того, как глядеть на мир. Если смотреть глазами историка, то дар вполне заслуженный — за усердный труд исследователя.

Саму подзорную трубу изобрели далеко от Италии — в Голландии. И изобрели вовсе не физики, а очковых дел мастера. По неизвестной причине или от нечего делать посмотрев через две линзы, поставленные не так, как полагается, а одна за другой — выпуклая за вогнутой, они увидели, что далекие объекты заметно приблизились. Изобретение сразу нашло себе важные применения. Например, заранее обнаружить приближение неприятеля, чтобы подготовиться к встрече. Или просто утолить любопытство, подсматривая издали, кто что делает.

Любопытство Галилея было направлено не столько по сторонам — на дела земные, сколько вверх. Поэтому, узнав о новейшем изобретении в самых общих чертах, Галилей сам сделал несколько труб, довел увеличение до тридцатикратного и направил прибор в небо, на объекты далекие, но близкие его мыслям. Так возник телескоп.

Первым делом он обнаружил и зарисовал гористые ландшафты Луны. Затем ему повезло обнаружить рядом с Юпитером совершенно неизвестные маленькие звездочки, а следующей ночью заметить, что положение этих звездочек изменилось. Для такого везения, конечно, требовалось знать звездное небо как свои пять пальцев, а также незаурядная пристальность. Продолжив наблюдения, Галилей обнаружил, что новые звездочки все время оставались вблизи «блуждающей звезды» Юпитера и что их положения относительно Юпитера повторялись через равные промежутки времени. Это напоминало движение Луны вокруг Земли. Галилей понял, что открыл четыре «луны» Юпитера, и завершил свое открытие, измерив периоды их обращения.

Так появился новый и наглядный довод в поддержку основной идеи Коперника: вокруг большого небесного тела — Юпитера — вращаются малые, как планеты вокруг Солнца и как Луна вокруг Земли. У Галилея и Кеплера и без того хватало уверенности в правоте Коперника, но для других астрономов и тем более для *не*-астрономов такая наглядность могла уже перевесить книжный авторитет Птолемея. Если, конечно, смотреть открытыми глазами. А это было не так легко, как видно из письма Галилея полгода спустя после публикации «Звездного вестника»:

Посмеемся, мой Кеплер, над великой глупостью людской. Здешние ученые мужи, несмотря на мои тысячекратные приглашения, так и не взглянули ни на планеты, ни на Луну, ни на телескоп. Для них физика — это некая книга, где и надо искать истину — не в природе, а сравнивая тексты. Как бы Вы смеялись, слушая первого здешнего философа, который старался изо всех сил логическими доводами, как магическими заклинаниями, убраться с неба новые планеты!..

Вот какие доводы, например, приводил тогда некий философический астроном:

В голове животного устроено семь окон, через которые воздух допускается к телесному микрокосму, чтобы его просвещать, согревать и питать: две ноздри, два глаза, два уха и рот. Так же и в небесном макрокосме имеются две благоприятные звезды, две неблагоприятные, два светила, и Меркурий — неопределенный и безразличный. Отсюда и из многих других подобных устроений природы, таких как семь металлов и т. д., что утомительно перечислять, мы понимаем, что планет необходимо именно семь. Более того, эти спутники Юпитера невидимы невооруженному глазу и, следовательно, не могут оказывать влияние на земле, потому бесполезны, а значит, и не существуют. Кроме того, евреи и другие древние народы, как и современные европейцы, разделяют неделю на семь дней, названных в соответствии с именами семи планет. Так что, если мы увеличим число планет, вся эта целостная и прекрасная система рухнет.

На такое Галилею сказать было нечего. И не до смеху ему было среди подобных астрономов, которые, видя неубедительность своих доводов и не желая расставаться с выученным в юности, искали теологические дефекты в новой картине мира. Кто ищет, тот всегда найдет. И нашли строчки в Библии, которые, если понимать их буквально, говорили о неподвижности Земли. Это стало грозным оружием в руках не желающих искать истину в природе. Обвиняя Галилея и Коперника в противоречии Священному Писанию, ученые мужи взывали к церковным властям.

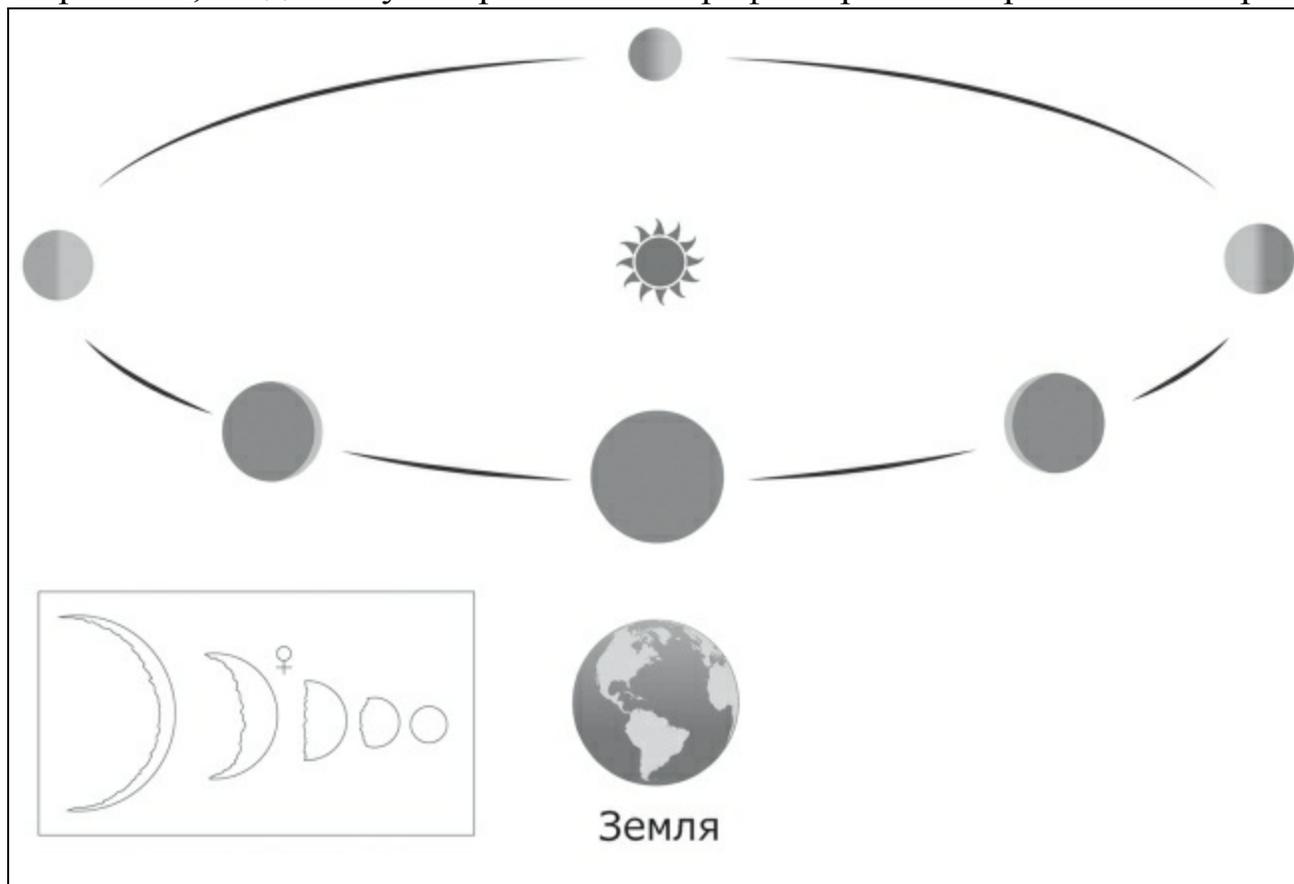
Галилей решил опередить противников и в 1611 году сам направился в Рим, захватив с собой телескоп. У него были основания верить в силу своих доводов и в убедительность астрономических открытий: спустя несколько месяцев после публикации «Звездного вестника» он получил почетный и высокооплачиваемый пост главного ученого при дворе герцога Медичи — правителя Флоренции.

В Риме его чествовала Академия деи Линчеи (Академия рысьеглазых) — одно из первых научных обществ, созданное за несколько лет до того любителями и покровителями науки. Галилей принял приглашение вступить в это общество и впоследствии писал свои книги, ориентируясь на читателей, подобных членам этой Академии, — не претендующих на звание профессионалов в астрономии или физике, но открытыми глазами и с большим интересом глядящих на новые научные идеи и факты.

Не меньший успех ожидал Галилея при дворе Папы Римского. То был период особого внимания к астрономии со стороны Католической Церкви, по инициативе которой западный мир незадолго до того перешел на новый — григорианский — календарь. Разработку календарной реформы возглавлял астроном и математик Клавийус, принадлежавший к Ордену иезуитов вместе с другими весьма квалифицированными астрономами. Главной миссией этого Ордена, учрежденного незадолго до того (в ответ на ересь Реформации), было просвещение и образование. Календарная реформа опиралась на новую астроматематику Коперника. А Галилей добавил новейший довод в пользу системы Коперника, когда в своих телескопических наблюдениях обнаружил фазы Венеры, подобные фазам Луны. В отличие от Луны, Венера виделась маленьким диском, когда была далеко, и крупным серпом — когда была близко. Это доказывало вращение Венеры вокруг Солнца, а не Земли.

Парадоксальный контраст: университетские профессора-астрономы, держась за привычные тексты древних авторитетов, отрицают и телескоп, и наблюдательные открытия Галилея, а папские астрономы одобряют то и другое?! Главное отличие здесь не в близости

к папскому престолу, а в практическом деле, которым в календарной реформе занимались папские астрономы, тогда как университетские профессора лишь трактовали старые тексты.



Фазы Венеры, зарисованные Галилеем и изображенные схематически.

Галилей занимался другим практическим делом — расследовал фундаментальную физику реальной Вселенной. Одобрение папскими астрономами его астрономических открытий имело важное «но». Для них система Коперника была правильной математикой, раз ее результаты соответствовали наблюдениям, но принимали эту систему они в геогеоцентрической версии Тихо Браге, в которой Земля неподвижна — *в полном соответствии со всеми известными тогда наблюдениями*, начиная с повседневного опыта. Ведь для земных астрономических расчетов важно лишь то, как небесные тела движутся относительно Земли. Для папских астрономов система Коперника означала лишь другую схему промежуточных вычислений.

Галилей и Кеплер были уверены, что Земля вращается вокруг Солнца подобно другим планетам, но прямых свидетельств этого тогда еще не было, только косвенные, гипотетические. Поэтому Кеплер не мог убедить Тихо Браге, с которым сотрудничал, хотя обоих считали первыми астрономами своего времени. А Галилей не мог убедить папских астрономов, высоко ценивших его астрономические открытия. Для первоклассных астрономов-наблюдателей реальный гелиоцентризм был гипотезой не только сомнительной, но и бесполезной: все равно расчеты надо было приводить к точке зрения земного наблюдателя — к геоцентрической картине. Такие астрономы, твердо стоящие на земле, внимательно слушали Галилея, ожидая узнать о наблюдаемых проявлениях движения Земли, но получали только доводы об устройстве Вселенной (то бишь Солнечной системы), объяснения, почему вращение Земли столь незаметно, а также сомнительные аналогии и слова о стройности Мироздания.

Но так ли уж убедительна аналогия между Землей под ногами и далекими «блуждающими» звездочками, о которых ничего не известно, кроме их движения по небосводу? И горы, обнаруженные на близкой Луне, разве доказывают, что далекие планеты устроены так же? Зачем так далеко ходить за обоснованием, почему не удостоверить земное вращение прямо на Земле? Ведь, вращаясь на карусели, ощущаешь вращение даже с закрытыми глазами?! Конечно, если карусель делает один оборот в сутки или в год, заметить вращение трудно, но и спутники Юпитера были незаметны до изобретения телескопа. Так что надо найти какой-то способ прямо засвидетельствовать это вращение, если оно и правда существует. А иначе гелиоцентризм останется удачной математической гипотезой, полезной для расчетов, но не более.

Нечто в этом роде мог сказать Галилею астроном, твердо стоящий на Земле. И, надо признать, в начале семнадцатого века на это нечем было ответить. Наглядные прямые свидетельства вращения Земли (вокруг своей оси и вокруг Солнца) появились лишь два века спустя: маятник Фуко, закон Бэра (согласно которому река подмывает свой правый берег в Северном полушарии), смещение «неподвижных» звезд вследствие перемещения Земли. Однако уже задолго до того астрофизики в таких доказательствах не нуждались — уже с конца семнадцатого века, когда Ньютон — завершив работу, начатую Галилеем, — сформулировал фундаментальные законы физики, управляющие всеми движениями в Солнечной системе. Следствие этих законов — движение Земли вокруг Солнца. Другое следствие — вполне определенная малость проявлений этого движения на самой Земле, всего доли процента.

Почему же Галилей еще в конце шестнадцатого века уверился в движении Земли? Почему он так доверился косвенным доводам и своим общим представлениям об устройстве Вселенной и почему не придавал значения трезвым возражениям астрономов-реалистов? На эти вопросы у историков нет четкого ответа, но ясно, что гениальные предрассудки Галилея — вера в фундаментальную закономерность Вселенной и в способность человека познать эту закономерность — помогли ему изобрести фундаментальную физику.

В середине двадцатого века поэт-публицист попытался ответить за историков:

Твердили пастыри, что вреден
и неразумен Галилей,
но, как показывает время:
кто неразумен, тот умней.

Ученый, сверстник Галилея,
был Галилея не глупее.
Он знал, что вертится земля,
но у него была семья. [□](#)

Рифмованный ответ, увы, противоречит реальной истории. Во-первых, ученые сверстники Галилея, за малым исключением, твердо знали, что Земля неподвижна. Во-вторых, архипастыри Католической Церкви, зная о его взглядах, долгие годы вполне благожелательно относились к нему. Пока речь шла лишь о научных гипотезах, их разрешалось обсуждать.

Ситуация изменилась, когда научные противники Галилея, исчерпав земные доводы, взялись за Священное Писание. Там, конечно, нет никакой астрономии, никаких планет, ни слова о том, плоска ли Земля или шарообразна. Но, забыв о смысле библейского рассказа, можно найти фразы, выражающие обиденные представления о том, что солнце движется — всходит и заходит, а земная твердь покоится. Соответствующими цитатами и вооружились противники Галилея, держа Библию в качестве щита. Если бы он не обращал внимания на таких оппонентов, мог бы спокойно заниматься своей наукой. Так ему советовали и его доброжелатели среди «пастырей».

Однако Галилей не последовал этому совету. Он не только свободно мыслил, но и свободно верил в Бога. Библия говорила о человеке, сотворенном по подобию Божию, она была его внутренней опорой, но не источником знаний о внешнем мире — кроме того, что мир этот сотворен для человека и доступен познанию. Поэтому, был уверен Галилей, Библия не может противоречить результатам научного исследования и, в частности, движению Земли. Он пришел к этому выводу, опираясь на собственный разум точно так же, как и в своих физических исследованиях.

Такое понимание Библии, надо сказать, присутствовало и в церковной традиции. Галилей цитировал одного кардинала, с которым беседовал: «Библия учит тому, как попасть на небо, а не тому, как небеса движутся». Библия также учит не лгать, и Галилей не внял советам доброжелателей, а честно излагал свое понимание Библии и свою уверенность в

том, что Земля движется. Уверенности ему добавили его астрономические открытия и их признание.

Что позволено сказать о Библии кардиналу в частной беседе, то не позволено мирянину, даже если этот мирянин — прославленный астроном. Тем более когда бдительно правоверные шлют доносы. В 1616 году эксперты инквизиции определили, что утверждение о движении Земли «абсурдно в научном отношении и противоречит Священному Писанию». Официальное постановление звучало мягче, но три книги были запрещены, начиная с книги Коперника, за 70 лет до того ушедшего в историю. Галилей в этом постановлении не упоминался — почтение к нему было столь велико, что архипастыри ограничились устным увещанием. Позже сам Папа Римский пояснил ему, что, хоть и нельзя утверждать движение Земли как истину, системы Птолемея и Коперника можно обсуждать и сравнивать как математические гипотезы. И книгу Коперника запретили лишь на время, пока ее поправят, подчеркнув, что система Коперника — это лишь математическая гипотеза.

Изобретательный Галилей придумал, как остаться честным и не нарушить церковное предостережение. Раз ему разрешили обсуждать и сравнивать гипотезы Птолемея и Коперника, он напишет книгу в форме беседы между тремя персонажами, двое представят позиции Коперника и Птолемея, а третий — непредвзятый здравый смысл. И пусть сам читатель решит, кто прав.

Книгу «Диалог о двух главнейших системах мира» Галилей завершил полтора десятилетия спустя. Не без трудностей он получил одобрение церковной цензуры, и в 1632 году первые экземпляры книги вышли из типографии. Вскоре, однако, в историю науки вмешалась Католическая Церковь — ее решением книги конфисковали, а Галилея вызвали на суд инквизиции. Знаменито-бесславный суд длился несколько месяцев. Галилея обвинили в том, что он нарушил церковное указание 1616 года трактовать систему Коперника лишь как гипотезу: из его книги слишком ясно было, какая гипотеза верна. Суд книгу запретил и приговорил Галилея к пожизненному тюремному заключению.

За кулисами следствия и в ходе суда действовали и личные мотивы, и факторы церковной политики, но в основе тех событий можно разглядеть... мощный закон инерции. Галилей, открывший физический закон инерции, в полной мере испытал на себе и действие инерции людской. Служители Церкви, разумеется, не могли глубоко вникнуть в систему астрофизических доводов в пользу движения Земли и попросту — по инерции — держались представлений, освоенных в юности. Ведь и выдающиеся люди науки держались этих представлений, прежде всего «король астрономов» — Тихо Браге.

Можно было бы не осуждать церковных судей за их научную инерционность, если бы они не взяли на себя роль *научных* экспертов: в церковных постановлениях 1616 и 1633 годов движение Земли признано, во-первых, научно ложным и, только во-вторых, противоречащим Библии. Тем самым, судьи-инквизиторы использовали свое служебное положение в личных целях — чтобы сохранить привычное представление. Дело было не в религии как таковой: среди учеников и горячих сторонников Галилея были люди духовного звания. И даже суд был не единогласен — приговор подписали лишь семеро из десяти судей.

Исполнение приговора, как и высшая власть в Церкви, были тогда в руках одного человека — Папы Урбана VIII. Будучи еще кардиналом, он восхищался астрономическими открытиями Галилея и, став Папой, тоже проявлял к нему благосклонность, разрешив обсуждать систему Коперника наряду с системой Птолемея. Но у него был свой довод, почему обе системы навсегда останутся лишь гипотезами: *Даже если какая-то гипотеза*

удовлетворительно объясняет некое явление, всемогущий Бог может произвести это явление совершенно иным образом, недоступным человеческому разуму, и нельзя ограничивать Его всемогущество возможностями человеческого понимания. Папа подарил свой довод Галилею, а тот что сделал?! Вложил этот довод в уста персонажа, который представлял отжившую философию Аристотеля и выглядел очень обидно для Папы:

Симпличио. <...> Я знаю, что на вопрос, мог ли всемогущий Бог сообщить воде наблюдаемое переменное движение [приливы и отливы] иным образом, нежели двигая водоемы, возможен лишь один ответ: Он мог бы сделать это многими способами, невысказанными для нашего ума. А если так, то чрезмерной дерзостью было бы ограничить Божественное могущество каким-либо измышлением человека.

Так что надо еще благодарить Его Святейшество за то, что он заменил тюремное заключение на домашний арест. А историк науки может даже, забыв о приличиях, поблагодарить за то, что Галилей находился под постоянным наблюдением инквизиции, которая решала, с кем он мог встречаться. Кипучий темперамент физика имел единственный выход — работу над второй и самой главной книгой, в которой он обосновал закон свободного падения — первый фундаментальный закон физики.

Что касается папского довода, то Галилей употребил его не из вредности. Речь шла о сути новой — фундаментальной — физики. Довод очевидно опирался на библейскую фразу «Пути Господни неисповедимы», в современном переводе: «Непостижимы Его решения и неисследимы пути Его». Что мог на это возразить Галилей, с его несомненной верой в Бога и с полным доверием к Слову Божьему?

Он мог сказать, что контекст этой фразы говорит не об устройстве Вселенной, а об отношении Бога к человеку и о внутреннем мире человека с его свободой и неповторимостью. А внешний мир — Вселенная — уже звездным небом дает человеку пример постоянства и закономерности. Не зря же Бог наделил человека способностью к познанию. Галилей чувствовал это по себе. И знал по своему опыту, что человек способен не только выдвигать правдоподобные гипотезы, но и проверять их, отвергать или подтверждать, устанавливая их соответствие устройству Вселенной, созданной Творцом. В Библии ничего не написано о законе плавания, но Архимед сумел этот закон открыть. И Галилей в своем поиске фундаментальных законов природы опирался на веру в закономерность мироздания.

Исследуя пути Господни в устройстве Вселенной и зная, как опыт и язык математики позволяют познавать это устройство, Галилей защищал Библию от чуждых ей задач и, соответственно, от противоречий с результатами научного познания. Он был лучшего мнения о Творце, чем Папа Урбан VIII, а в отношении к истине — святее Папы Римского.

Скорость света — первая фундаментальная константа

Среди неудач Галилея одна столь поучительна, что язык не поворачивается назвать ее неудачей.

В своей последней книге Галилей рассказал о попытке измерить скорость света, и, судя по всему, поводом стало измерение другой скорости — скорости звука. Это, конечно, «две большие разницы». Услышав эхо своего голоса, легко понять, что звук вернулся через малое, но заметное время, и, значит, он распространяется не мгновенно, а с какой-то — пусть и большой — скоростью. Однако в обыденном опыте нет никаких признаков того, что и свету требуется какое-то время на путешествие от источника света до освещенного предмета. Аристотель подытожил это философски: «Свет — это присутствие чего-то, а не движение чего-либо». Так же думали и все коллеги-современники Галилея. Он первым употребил само выражение «скорость света».

Мгновенность — или бесконечная скорость — света предполагалась и в первых измерениях скорости звука. Наблюдая издали выстрел пушки и полагая, что вспышку выстрела видят немедленно, измеряли время между вспышкой и звуком выстрела. Разделив расстояние до пушки на это время, определили, что скорость звука — около 500 метров в секунду (что всего в полтора раза больше истинного значения).

Галилей, однако, полагал, что мгновенность света — лишь гипотеза, и придумал, как ее проверить. Для этого нужны два человека с фонарями, которые можно открывать и закрывать — сейчас бы сказали: включать и выключать. Сначала они, находясь вблизи, тренируются включать фонарь, увидев свет другого фонаря. Затем расходятся на большое расстояние. Первый включает фонарь, увидев свет которого, включает свой фонарь второй. И первый измеряет время от момента, когда он включил свой фонарь, до момента, когда увидел свет второго фонаря. За это время свет прошел путь туда и обратно.

Если второй фонарь откроется так же быстро, как и на близком расстоянии, — пишет Галилей, — значит, свет доходит мгновенно, а если свету требуется время, то расстояния в три мили хватило бы, чтобы обнаружить задержку. Если же опыт делать на расстоянии, скажем, 8—10 миль, то увидеть слабый свет от далекого фонаря можно, используя телескоп.

Судя по словам Галилея, он проделал такой опыт лишь на расстоянии одной мили и задержку не заметил. И все же высказал догадку, что свет распространяется не мгновенно, хоть и необычайно быстро.

Отец современной физики не объяснил, почему трех миль хватило бы, чтобы обнаружить *не*-мгновенность света, и зачем тогда увеличивать расстояние до 10 миль. Если минимальным промежутком времени счесть один удар пульса, то проделанный им опыт означал, что свет прошел две мили за время, меньшее секунды, то есть со скоростью как минимум в 10 раз большей скорости звука. А если бы задержки не обнаружилось и на расстоянии 10 миль, это означало бы, что скорость света как минимум в 100 раз больше скорости звука.

Галилей не виноват, что на самом деле скорость света больше скорости звука в миллион раз. Если бы он это заподозрил, то мог сообразить, что земных миль для его опыта не хватит, и вспомнил бы открытые им спутники Юпитера. Ведь, вращаясь, спутник играет роль

фонаря, который открывается, выходя из тени Юпитера, и закрывается, заходя в его тень. Конечно, впрямую для опыта Галилея такой фонарь не годится — открывается безо всякой команды через равные интервалы времени. Но опыт можно изменить, заметив, что земной наблюдатель не сидит на месте, даже вглядываясь в телескоп: вместе с телескопом и с планетой Земля он движется вокруг Солнца. Когда наблюдатель приближается к Юпитеру, каждый следующий «восход» спутника наблюдается раньше «положенного» (усредненного), потому что первому лучу от спутника надо пройти меньшее расстояние до Земли. Первый луч придет раньше на долю периода, пропорциональную скорости Земли и обратно пропорциональную скорости света. Значит, скорость света можно вычислить, измеряя опережение (или запаздывание) восхода спутника Юпитера.

До такого способа сам Галилей не додумался, хотя в его духе были и земные применения астрономии, и приложение земной физики к пониманию небесных явлений. Он же предложил использовать телескоп в земном опыте по измерению скорости света. А открыв спутники Юпитера и измерив периоды их обращения, разглядел в этом небесные часы «с боем» в момент восхода каждого спутника. Такие часы, доступные всем (у кого есть телескоп), сообразил Галилей, можно использовать для определения географической долготы. А это было жизненно важно для дальнего мореплавания и для экономики.

Так что отец современной физики не только изобрел ее, но и продемонстрировал взаимосвязь науки, техники и экономики.

В физике Галилея проявилось хитрое взаимодействие теории и эксперимента в поиске фундаментальных законов природы. Ясно, как важно проверять закон со все большей точностью. Однако нередко малая точность измерений помогала делать открытия. Например, важнейший для Галилея закон о том, что период колебаний маятника не зависит от амплитуды колебаний, выполняется тем точнее, чем меньше амплитуда. Поэтому, если бы Галилей проверял этот закон не своим пульсом, а очень точным хронометром, ему было бы труднее.

Аналогично — со спутниками Юпитера. Измерив их периоды обращения, Галилей оставил их дальнейшее изучение астрономам. Оставил он также им в наследство свою идею использовать эти спутники в качестве универсальных часов для определения долготы. Для этого требовалось знать периоды обращения спутников, или расписание их затмений, как можно точнее, чем астрономы и занялись, стремясь к свойственной им астрономической точности. Через тридцать лет после смерти Галилея астрономы накопили достаточное количество наблюдений, чтобы обнаружить странную неравномерность хода космических часов. Период обращения спутника иногда был короче, иногда длиннее. В этой неравномерности обнаружилась своя закономерность: короче период становился, когда Земля приближалась к Юпитеру, и длиннее — когда удалялась. Тогда-то астрономы, изучавшие Галилеевы спутники, вспомнили об уверенности Галилея в том, что свет распространяется с огромной, но конечной скоростью. Соединив наблюдения периодов спутников со знанием планетных движений, и получили впервые величину скорости света — 220 тысяч километров в секунду, что близко к истинной величине — около 300 тысяч километров в секунду.

Таким образом, интуиция Галилея оправдалась, как ни удивительно. А это очень удивительно. Ведь не было никаких наблюдаемых свидетельств в пользу конечной скорости света. И выдающиеся современники Галилея, которые занимались наукой о свете, Кеплер и Декарт, считали скорость света бесконечной. Почему Галилей оказался проницательней

своих коллег? Потому что был гением и фундаментальным физиком.

Размышляя о скорости света, Галилей видел весь мир физических явлений и верил в глубинное единство этого мира. Зная, что солнечный свет, собранный в вогнутом зеркале, способен расплавить свинец, он сопоставил это «яростное» действие света с разрядом молнии и взрывом пороха, которые «сопровождаются движением и притом очень быстрым». И заключил: «Поэтому я не представляю себе, чтобы действие света обходилось без движения, притом наибыстрейшего».

Галилей был уверен, что Книга Природы «написана на языке математики», но знал, что содержание этой книги — физика. Поэтому, слушая свою интуицию, он не верил ей на слово, а придумывал, как проверять ее самым надежным для физика путем — измерительными экспериментами. Со светом ему это не удалось — точность измерений была слишком мала. Но ему удалось подарить физике саму идею конечной скорости света. Эта идея, благодаря другому подарку — Галилеевым спутникам Юпитера — стала достоверным фактом науки спустя лишь несколько десятилетий после его смерти, в самом начале его бессмертной славы.

Послушаем теперь фрагмент беседы из последней книги Галилея «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых наук», где впервые поставлен вопрос о скорости света:

О наибыстрейшем движении света

Сагрето. Я видел, как солнечный свет, собранный вогнутым зеркалом диаметром около трех ладоней, быстро плавил свинец и зажигал разные горючие материалы. Неужели столь яростное действие света возможно без движения?

Сальвиати. В других случаях — таких как разряд молнии и взрыв пороха — горение и распад сопровождаются движением, и притом очень быстрым. Поэтому я не представляю себе, чтобы действие света обходилось без движения, притом наибыстрейшего.

Сагрето. Но какой степени быстроты должно быть это движение? Оно мгновенно или совершается во времени, как другие движения? Нельзя ли в опыте узнать, каково оно?

Симпличио. Повседневный опыт показывает, что свет распространяется мгновенно. Если издали наблюдать за выстрелом пушки, то вспышка выстрела достигает наших глаз сразу же, а звук доходит до ушей лишь через заметный интервал времени.

Сагрето. Из подобных опытов можно лишь заключить, что звук движется медленнее света, но не то, что свет доходит мгновенно.

Сальвиати. Неубедительность таких наблюдений побудила меня придумать способ выяснить, распространяется ли свет действительно мгновенно.

Пусть два экспериментатора держат по фонарю, которые можно открывать и закрывать. Сначала, стоя рядом, они упражняются открывать свой фонарь, заметив свет другого. Затем расходятся мили на три и, дождавшись ночи, повторяют свое перемигивание фонарями. Если второй фонарь откроется так же быстро, как и вблизи, значит, свет доходит мгновенно, а если свету требуется время, то расстояния в три мили хватило бы, чтобы обнаружить задержку. Делая опыт на расстоянии, скажем, десяти миль, можно использовать телескопы, чтобы увидеть

слабый свет от далекого фонаря.

Сам я провел этот опыт лишь на расстоянии одной мили и не убедился, возвращается ли свет мгновенно. Ясно лишь, что чрезвычайно быстро, почти мгновенно. Я бы сравнил это со сверканием молнии, видимом на расстоянии 8—10 миль. Мы видим начало вспышки, или ее источник, в определенном месте среди туч и видим, как молния пронзает соседние тучи. Значит, для распространения требуется некоторое время. Ведь если бы вспышка молнии возникала во всех частях сразу, мы не могли бы различить ее источник, середину и удаленные части. В каком же океане мы незаметно для себя оказались?! Пустота и бесконечности, неделимые атомы и мгновенные движения — сможем ли мы достичь берега, хотя бы и после тысячи обсуждений?

На патетический вопрос в конце фрагмента Галилей ответил своей книгой отважно и оптимистически. Но сам вопрос изобличает физика — фундаментального физика. Его выдающиеся коллеги математического склада мышления — Кеплер и Декарт — смело ставили перед собой задачу полностью и окончательно объять реальный физический мир каким-то единым математическим принципом или небольшим набором, и думали, что достигли своей цели: у Кеплера — кубок шести планет, у Декарта — семь принципов физики. А Галилей понимал, что находится лишь в начале великого пути, где работы хватит на всех, у кого хватит свободы и смелости задавать вопросы об устройстве мироздания и искать на них убедительные — измерительные — ответы.

Заряжаясь его смелостью, очень хотелось бы задать вопросы и ему самому.

Почему он думает, что скорость света не просто конечна, но и «наибыстрейшая»? Как вообще какая-то скорость может быть максимальной? Догадывается ли он, что скорость света — фундаментальная константа природы, причастная к любому физическому явлению, даже протекающему в крошечной тьме?

Наука ответила на эти вопросы три века спустя после жизни Галилея, после нескольких драматических преобразений фундаментальной физики, связанных с именами Ньютона, Максвелла и Эйнштейна. Остается лишь изумляться, что изобретатель фундаментальной физики открыл путь и к первой фундаментальной константе в истории.

Глава 3

Гравитация — первая фундаментальная сила

С небес на землю и обратно

В современной физике говорят о четырех фундаментальных силах. Первой открыли силу гравитации. Известный школьникам закон *всемирного тяготения* определяет силу притяжения F между любыми массами m и M , разделенными расстоянием R :

$$F = G mM/R^2.$$

Школьникам обычно не говорят, что сам Ньютон такую формулу не писал. Он лишь утверждал, что притяжение пропорционально количеству вещества и обратно пропорционально квадрату расстояния. Пропорциональность количеству вещества не удивительна, а вот как Ньютон догадался, что сила зависит от расстояния именно в квадрате, а, скажем, не в кубе?

Школьникам также обычно не говорят, что догадался он не первым. Открытие Ньютоном закона гравитации можно даже назвать закрытием. Он закрыл вопрос, подтвердив догадку астрономическими наблюдениями, подытоженными Кеплером в его планетных законах. Величайший успех Ньютона в глазах его современников — то, что он вывел законы Кеплера из закона гравитации. Для этого ему пришлось сделать дело, великое уже в глазах мировой истории: создать общую теорию движения — механику, изобретя для нее новый математический язык. Главный закон движения связал ускорение a массы m с действующей на нее силой F

$$F = ma,$$

а изобретенный математический аппарат (дифференциальное исчисление) позволил решать любую задачу о движении тел на небе и на земле.

Первую небесную задачу решил астроном Эдмонд Хэли (Галлей). Опираясь на закон движения и закон гравитации, он предсказал, что комета 1682 года вернется через 76 лет. И она действительно явилась в должное время! До того можно было еще сомневаться в теории Ньютона, которая «всего лишь» вывела старые законы Кеплера из новых законов движения и гравитации. Но небесный триумф физики обещал ей победы и в задачах земных.

По этому поводу один историк заметил: «Современная наука спустилась с небес на землю по наклонной плоскости Галилея». Не меньше оснований сказать, что — по той же наклонной плоскости — земная физика поднялась до небес. Галилей получил с неба лишь один вопрос: почему столь неощутимо движение Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца с огромными скоростями в тысячи километров в час? Ответ на этот вопрос он искал — и нашел — на Земле, изучая движение с помощью двух своих главных инструментов — эксперимента и математически точного языка. Его ответ — закон инерции и принцип относительности — Ньютон назвал Первым законом механики. А Галилеев закон свободного падения, обнаружив ключевую роль ускорения, дал подсказку для Второго закона — главного закона движения.

Лишь в законе гравитации роли Галилея не видно. Исправляя эту несправедливость спустя два века после его смерти, некий умелец с антикварным уклоном смастерил коллекцию исторических документов, которую получила Французская академия наук.

Бумаги — с именами Галилея, Паскаля, Ньютона и других видных фигур — рисовали такую картину. В последние годы жизни (итальянец) Галилей якобы теоретически вывел из второго закона Кеплера, что небесные тела притягиваются обратно пропорционально квадрату расстояния. Об этом открытии он сообщил (французу) Паскалю, который на этой основе построил небесную механику, вычислив еще и массы планет, о чем сообщил (англичанину) Ньютону. А уж тот без стыда и совести опубликовал чужие результаты как свои собственные.

Во Французской академии, ревностно следившей за успехами англичан, азартно изучали сенсационные документы, пока не обнаружили, что одно из писем коллекции адресовано Ньютону, когда тому было всего 10 лет от роду. Автор коллекции не ладил с хронологией. И совсем не ладил с историей науки.

История, конечно, зависит от сохранившихся документальных свидетельств — писем, рукописей, публикаций. Но когда свидетельств о каком-то человеке сохранилось много, подделать совершенно новое свидетельство очень нелегко. Поверить, что 75-летний Галилей вывел закон гравитации из второго закона Кеплера, может лишь тот, кто не читал их книг и совсем не понимает, как можно вывести одно из другого.

Галилей не придавал значения законам Кеплера и тем более его высказываниям о Солнце как источнике силы, движущей планетами, о том, что сила эта убывает обратно пропорционально расстоянию (а не его квадрату), и о силе притяжения как о «симпатии родственных тел», их «стремлении к соединению». «Стремление» это Кеплер иногда лишь уподоблял магнетизму, иногда отождествлял с ним. Из его текстов неясно, имел ли он в виду одну силу или две. Ясно лишь, что он надеялся на физиков, раз писал: «Пусть физики проверят...»

В 1600 году англичанин Гильберт опубликовал книгу «О магните, магнитных телах и большом магните — Земле», где, кроме прочего, высказал идею о том, что Земной шар — огромный магнит, и экспериментально обосновал это с помощью модели Земли — шарообразного магнита, следя за поведением стрелки компаса на поверхности шара. Под впечатлением от этой книги Кеплер и писал о магнитных силах в планетной системе, внедряя последнее слово физики в астрономию. Но, в отличие от Гильберта, Кеплер не дал никаких конкретных, хотя бы качественных, доводов и никак не связал магнитную физику ни с его гипотезой о планетных силах, убывающих обратно пропорционально расстоянию, ни с собственными точными законами планетного движения. В таком обращении с наукой физик Галилей видел проявление «слишком свободного» ума, а попросту — легкомыслие. По поводу же исследований Гильберта он, высоко их оценив, пожелал, чтобы тот был «немного больше математиком». Не потому что Галилей любил математику, а потому что математически точный язык открывает путь к экспериментальной проверке и, стало быть, к точному знанию.

Фундаментальный физик Галилей мог смотреть на законы Кеплера как на математические соотношения, не менее изящные, чем космография планет юного Кеплера, но и не более проникающие в физическую суть планетной системы. Через две точки можно провести только одну прямую, а через множество точек планетных наблюдений — сколько угодно разных кривых, в том числе, быть может, и изящных. С планетами не поэкспериментируешь, меняя параметры их движения. Поэтому Галилей старался проникнуть в фундаментальные законы планетной физики, опираясь на земной эксперимент, который надо придумать, и используя простейшую орбиту из возможных —

круговую, тем более что орбиты Земли и Венеры почти точно круговые.

Чтобы вывести закон гравитации, надо было слово «притяжение» сделать физическим понятием, доступным для экспериментального исследования. Надо было связать это понятие с измеримыми величинами, прежде всего с самим движением. Это и сделал Ньютон. А до того о планетных силах и их зависимости от расстояния можно было лишь говорить.

Самый ранний «разговор» о силе, пропорциональной $1/R^2$, состоялся в книге французского астронома Буйо в 1645 году. Автор чтит Коперника, Галилея и Кеплера, но планетную силу — не по Кеплеру — уподобил освещенности, убывающей с расстоянием от источника света именно как $1/R^2$. Но затем, в той же самой книге, Буйо отверг само существование движущей силы. Уже отсюда ясна неубедительность гипотезы Кеплера. Легко представить себе, что Галилей ребяческими счел бы и разговоры Буйо: откуда аналогия между светом и планетными силами?! Впрочем, ко времени издания книги французского астронома Галилей уже три года как ушел в историю. А неубедительные слова о силе, обратно пропорциональной квадрату расстояния, тем не менее в историю вошли. И дошли до времен Ньютона.

Что же получается?! Важнейшая физическая идея родилась незаконно и долгое время жила подкидышем?! А ее рождению более всех противился отец современной физики?! Так, но не совсем. Во-первых, и к научным идеям применимы слова поэта: «Когда б вы знали, из какого сора растут стихи, не ведая стыда...» Рождение нового — всегда чудо. А во-вторых, идея $1/R^2$ стала важной лишь в сочетании с другими идеями, которые появились спустя десятилетия.

История науки, как и всякая интересная история, — это неповторимый ход событий. Отсюда шаблонная фраза о том, что история не знает сослагательного наклонения. История не знает, но физик, вглядываясь в историю, привычно делает *мысленные эксперименты*, меняя — *в пределах возможного* — поступки исторических персонажей и разворачивая новую цепь событий, чтобы оценить вероятности и невероятности реально происшедшего. За этот прием мышления надо благодарить Галилея, который, создавая современную физику, мастерски им пользовался. Мысленный эксперимент — схема эксперимента, допускаемая известными фактами, не считаясь с затратами. Свободно меняя условия эксперимента, легче ставить вопросы и отвечать на них с помощью известных фактов и законов природы.

Перенося этот прием из физики в ее историю, зададим вопрос: «Мог ли Галилей узнать скорость света?», разумеется, в пределах его исторически реальных возможностей — его знаний, способа мышления и его предубеждений. На этот вопрос история позволяет ответить отрицательно. В эксперименте придуманного им типа, даже если дать ему все ресурсы тогдашней техники, заведомо не хватало точности. А чтобы придумать эксперимент с участием спутников Юпитера, ему надо было оставить физику, стать астрономом-наблюдателем и не менее года вести наблюдения, зачем-то уточняя уже измеренные им периоды спутников. Это кажется невероятным. Так что скорость света открыть он не мог, хоть и был предубежден, что она конечна.

Галилей был также предубежден, что никакого планетного притяжения нет. Но это не значит, что ясен ответ на вопрос:

Мог ли Галилей открыть закон всемирного тяготения?

Выдающийся физик и веселый человек Ричард Фейнман так изложил предысторию закона гравитации:

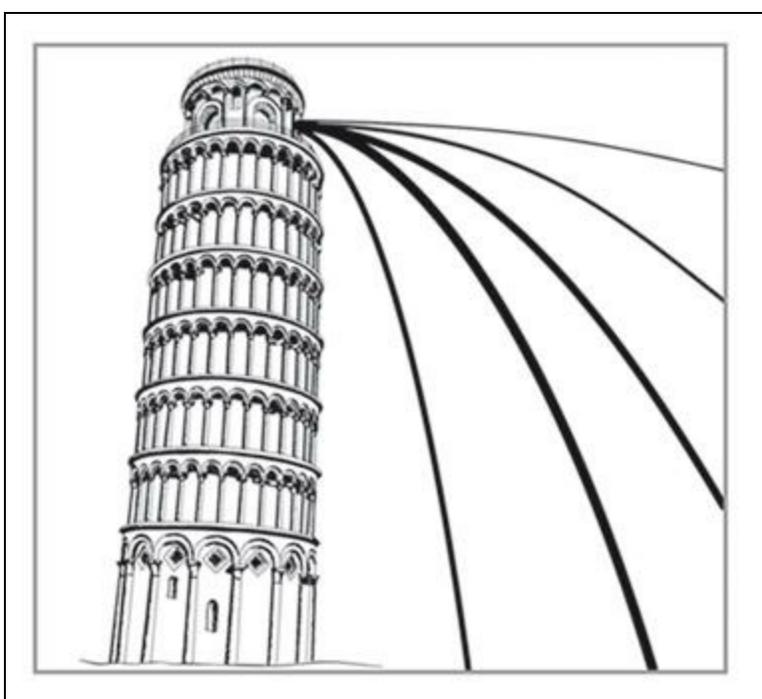
Во времена Кеплера некоторые считали, что планеты движутся вокруг Солнца, потому что невидимые ангелы толкают их вдоль орбиты. Это не так уж далеко от истины: ангелы толкают планеты, но не вдоль, а поперек орбиты, в направлении к ее центру.

Стремясь к краткости, Фейнман опустил важный промежуточный этап. Галилей обходился вовсе без ангелов, считая круговое движение планеты вокруг Солнца движением естественным, свободным. Вопрос о размерах орбит и о скоростях планет оставался открытым, но Галилей видел массу открытых вопросов, что его не огорчало и не смущало, а лишь раззадоривало. Как и Кеплер, Галилей верил, что другие планеты по своей природе подобны Земле, и укрепил свою веру, увидев в телескоп гористую поверхность Луны. Его вера давала надежду, что изучение законов природы на Земле поможет понять и законы планетных движений.

На Земле Галилей открыл закон свободного падения, а также закон движения тела, брошенного под углом к горизонту. Траектория такого движения, как знают ныне школьники, — парабола. Это свое открытие Галилей долго не публиковал. Он понимал, что результат получен в приближении «плоской Земли»: парабола тем точнее описывает траекторию, чем ее размер меньше по сравнению с радиусом Земли, то есть чем меньше начальная скорость, или же чем меньшую часть траектории рассматривать. Он не знал, какова форма траектории в случае «большого движения», когда начальная скорость достаточно велика, и уже нельзя пренебречь сферичностью Земли.

Трудность была теоретической, и эксперимент не мог помочь: чтобы в лаборатории заметить сферичность Земли, размеры лаборатории должны быть сравнимы с радиусом Земли. Галилей мог, однако, воспользоваться мысленным экспериментом, в чем был большой мастак. Надо было лишь придумать вопрос для мысленного экспериментатора.

Например, такой. Если бросить шар в горизонтальном направлении с небольшой скоростью, он упадет на землю поблизости, двигаясь по крутой параболе. Если начальную скорость увеличить, парабола станет более полой. А с какой скоростью надо бросить шар, чтобы, падая, он оставался на одном и том же удалении от поверхности Земли, уходящей «вниз» из-за своей сферичности?



Эту задачу Галилей мог решить, пользуясь математикой не сложнее теоремы Пифагора, зная радиус Земли R и ускорение свободного падения g , им измеренное. Искомая скорость, как может убедиться нынешний школьник,

$$V = (gR)^{1/2} \sim 8 \text{ км/сек.}$$

Это конечно же *первая космическая скорость*, то есть скорость, с которой нужно бросить шар, чтобы он стал *искусственным спутником Земли*. Впервые это удалось сделать в России в 1957 году, а в Италии семнадцатого века слов таких не знали и величину скорости называли бы астрономической. Она была скорее астрофизической. Но астрофизику Галилею мысленный шар, летящий на постоянном расстоянии от поверхности Земли, конечно, напомнил бы Луну.

Он бы легко убедился, однако, что для Луны полученное соотношение, увы, не

выполняется, и очень сильно. Скорость Луны в 60 раз меньше, «чем надо». Поскольку скорость Луны и расстояние до нее были хорошо известны, Галилей подумал бы об ускорении свободного падения g , которое сам измерил. Но измерил-то на поверхности Земли, а не на высоте Луны. Соотношение выполнилось бы, если ускорение свободного падения на высоте Луны в 3600 раз меньше земного. Расстояние до Луны в 60 раз больше радиуса Земли. Напрашивается гипотеза: *ускорение свободного падения меняется с удалением от Земли обратно пропорционально квадрату расстояния*. Эту гипотезу Галилей мог подтвердить и на спутниках Юпитера, и на спутниках Солнца — планетах. В результате он получил бы новый закон природы — *общий закон свободного падения*, определяющий ускорение свободного падения $g(R)$ в точке, удаленной на расстояние R от небесного тела массы M

$$g(R) = GM/R^2,$$

здесь G — константа, одинаковая для любого небесного тела, а значит, константа фундаментальная.

Как Галилей мог открыть общий закон свободного падения

Исследуя свободное падение, Галилей выяснил, что шар, брошенный горизонтально в пустоте, падает по параболе, форма которой определяется начальной скоростью V и ускорением свободного падения g : при этом скорость движения по горизонтали сохраняется $V_x = V$, а по вертикали растет со временем $V_y = gt$.

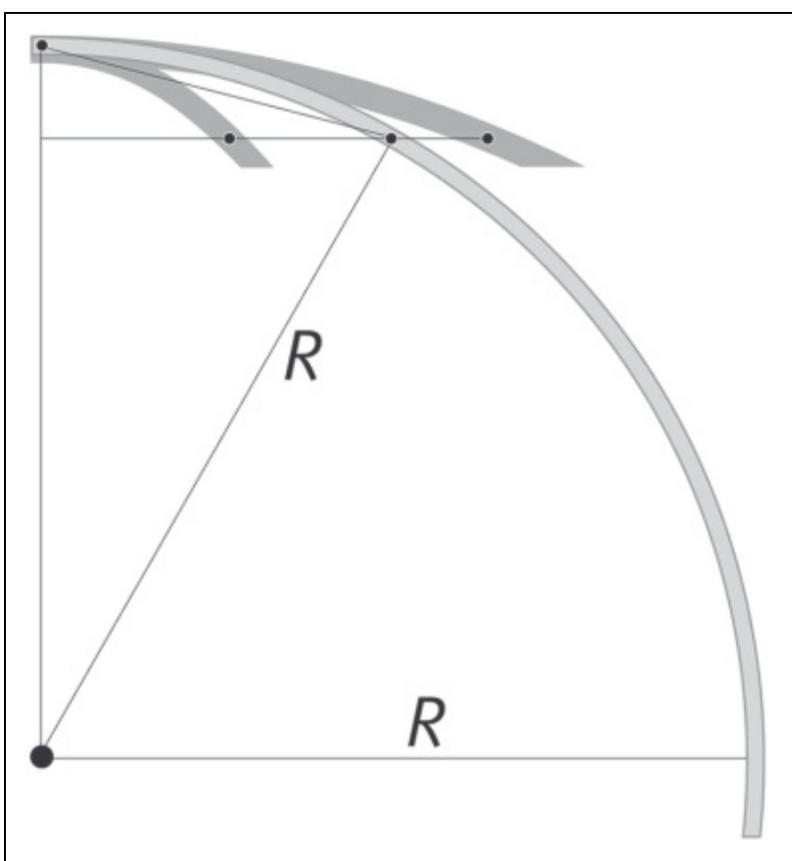
Сделаем мысленный эксперимент, поднявшись вместе с мысленным Галилеем на легендарную башню. Будем бросать шары горизонтально со все большей скоростью. Если скорость броска мала, шар упадет — по крутой параболе — на землю поблизости от башни. А если скорость очень велика, парабола станет очень полой, и шар улетит очень далеко от Земли.

Спрашивается, с какой скоростью надо бросить шар, чтобы, свободно падая, он оставался на той же высоте от земной поверхности, уходящей закругленно «вниз»?

На этот вопрос ныне может ответить и школьник, нарисовав указанную схему, применив теорему Пифагора и учтя, что радиус Земли $R \approx 6000$ км, а ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/сек². Эти величины, как и теорему Пифагора, знал также и Галилей. И мог получить, что искомая скорость связана с g и R соотношением

$$V^2 = gR$$

и равна примерно 8 км/сек. Летя с такой скоростью, шар оставался бы на постоянном удалении от земной поверхности. Совсем как Луна.



Однако Галилей легко обнаружил бы, что лунные величины $R_{\text{л}} \approx 1400\ 000$ км и $V_{\text{л}} \approx 1$ км/сек никак не укладываются в полученное соотношение. А чтобы уложились, нужно значение $g_{\text{л}}$ примерно в 3600 раз меньше измеренного Галилеем на поверхности Земли. Расстояние до Луны больше радиуса Земли примерно в 60 раз, а $60 \cdot 60 = 3600$. Отсюда Галилей мог предположить, что ускорение свободного падения g меняется с удалением от Земли обратно пропорционально квадрату расстояния R :

$$g \sim 1/R^2.$$

Отсюда, с учетом предыдущего соотношения, следует, что скорость спутника меняется с расстоянием R от небесного тела:

$$V \sim 1/R^{1/2}.$$

А если небесное тело имеет несколько спутников, то для них всех величина $VR^{1/2}$ одна и та же.

Подтвердить это свойство Галилей мог на им же открытых спутниках Юпитера:

Спутники Юпитера:	Ио	Европа	Ганимед	Каллисто
Расстояние от Юпитера R , 10^3 км	421,6	670,9	1,070,4	1,882,7
Скорость V , км/сек	17,34	13,74	10,88	8,204
$VR^{1/2}$	11 253	11 253	11 249	11 251

Подтвердили бы это и спутники Солнца, то есть планеты (орбиты которых близки к круговым).

Так закон свободного падения, установленный в земных физических опытах, поднялся бы до астрономических высот. И так Галилей пришел бы к новому закону

природы, который мог назвать *общим законом свободного падения*: ускорение свободного падения на расстоянии R от центра небесного тела

$$g(R) = A/R,$$

где A — некая константа, определяемая свойствами небесного тела.

Из наблюдательных данных Галилей мог вычислить соотношения таких констант для Земли, Юпитера и Солнца:

$$A_{\text{Юпитера}} \approx 300 A_{\text{Земли}},$$
$$A_{\text{Солнца}} \approx 300\,000 A_{\text{Земли}}.$$

Глядя на эти три величины, характеризующие Землю, Юпитер и Солнце, естественно было спросить, какие различия небесных тел ведут к различиям их констант A . Из явных различий в размере, в количестве вещества (массе) и в состоянии светимости легче всего предположить, что величина A пропорциональна массе небесного тела M : $A = GM$ с неким коэффициентом G (который тоже можно грубо оценить, считая среднюю плотность Земли близкой к плотности ее твердых пород).

В результате Галилей получил бы общую зависимость сразу для всех трех небесных тел — Земли, Юпитера и Солнца:

$$g(R) = GM/R,$$

и здесь константа G — не простая, а фундаментальная, поскольку одинакова для Земли, Юпитера и Солнца и, судя по этому, для любого другого тела.

Это и есть *общий закон свободного падения*, открыть который вполне мог Галилей на его уровне знаний и умений.

Новый закон уже намекает на гравитацию Ньютона, до которой оставалось более полувека. Но для Галилея всего важнее было бы оправдание его веры в физическое единство мира — и мира подлунного, и мира надлунного. Он понял бы, что причина падения тел на Земле и причина, определяющая орбиты планет, — одна и та же. А поскольку причину падения естественно называть притяжением (к Земле), то так можно назвать и планетную силу. Мысленный спутник Земли помог бы Галилею увидеть, что свободное падение и движение планет — явления глубоко родственные.

Так он понял бы, что слова Кеплера о планетно-солнечных притяжениях не столь и ребяческие. Никакой солнечной силы, движущей планетами, конечно, нет, но притяжение есть и подчиняется вполне определенному закону. Более того, из этого закона следует и (третий) закон Кеплера, связывающий время, за которое планета проходит свою орбиту, с ее радиусом ($T^2 \sim R^3$). Значит, из закона свободного падения, установленного в земных физических опытах, следует астрономический закон, полученный Кеплером в результате многолетнего анализа множества астрономических наблюдений. Следует пока лишь для круговых орбит. Но если ускорение свободного падения известно в каждой точке

пространства вокруг большого небесного тела, то можно и ставить задачу о том, как изменится круговая орбита спутника, если его толкнуть. Труднее, конечно, было заподозрить и тем более доказать, что при этом окружность превратится в эллипс. Но зато теперь Галилей мог уже принять подсказку первого закона Кеплера — об эллиптичности планетных орбит, к великой радости автора и к успокоению историков, ломающих головы над молчанием Галилея по поводу законов Кеплера.

Имея в своем распоряжении мысленный спутник, Галилей вряд ли бы остановился на достигнутом, а понял бы также, что законы Кеплера... лишь приближенные. Запуская мысленный спутник на разных расстояниях от Земли, легко дойти до места посередине между Землей и Марсом. А тогда возникнет вопрос: мы запускаем спутник Земли или Марса? Владея понятием составного движения, Галилей «сложил» бы оба ускорения свободного падения с учетом разных направлений (нынешними словами — векторно) и получил бы суммарное движение, совсем не похожее на эллипс. Отсюда следовало бы, что законы Кеплера — приближенные, они тем точнее, чем дальше находятся все массивные тела от одного, «центрального». И возникла бы общая задача о движении «спутника» вблизи нескольких массивных тел. Все это вело к представлению о всеобщем — «всемирном» — притяжении. Но оно уже было бы основано не на словах полуастрологического происхождения, как у Кеплера, а на физическом исследовании свободного падения вблизи поверхности Земли.

Кроме прочего, в итоге Галилей убедился бы, что был прав, взяв фундаментальной моделью планетного движения не эллипс Кеплера, а круговую орбиту. Только это простое движение позволило нам — вместе с Галилеем или вместо него — пройти путь от закона свободного падения до закона всеобщего притяжения, откуда уже рукой подать до Ньютоновой физики, если под рукой окажется человек уровня Ньютона.

Почему же Галилей не пошел по этому пути?

Вглядываясь в его многотрудную и многогранную жизнь, можно предположить, что главная причина такой незадачи — его религиозная вера. Будь он атеистом, его бы устроила формула, предложенная ему Папой Римским для спокойной научной работы, — называть свои научные исследования гипотезами. Ироничный Галилей вовсе не был фанатиком. Общественные условности его сместили, но искоренять их — не его забота. Будь он атеистом, он бы вовсе не думал о том, соответствуют ли его «гипотезы» Библии — старой ненаучной книге, которую многие люди почему-то принимают всерьез. Он бы не тратил время и силы на свои «Диалоги» и «Беседы» с такими людьми, а делал бы чисто научные работы, излагал бы их профессионалам, предохраняя себя парой ритуальных фраз о гипотетичности науки. И тогда не отняли бы у него столько времени и сил преследования Церкви и пожизненное домашне-тюремное заключение.

Историк науки, однако, — в интересах самой же науки — поостерегся бы советовать Всевышнему лишить Галилея веры в Него. А вдруг, чем черт не шутит, эта вера каким-то образом помогла Галилею открыть закон свободного падения? Например, тем, что дала ему веру в существование подобного закона, веру, совершенно необходимую для поиска... Но к этому странному вопросу вернемся, подождав, пока Ньютон откроет закон всемирного тяготения, изобретет математические инструменты, с помощью которых выведет из этого физического закона все астрономические законы Кеплера, и создаст первую всеобъемлющую физическую теорию, которую называют классической механикой.

Сделал все это Ньютон на основе трудов Галилея, которые помимо изложения

найденных Галилеем научных истин дали новый метод поиска истины. А метод дороже отдельных результатов — с его помощью можно получить и многие другие результаты. Книги Галилея, прочитанные в Европе, сделали для современной науки не меньше, чем его результаты — яркие демонстрации его метода.

Рождение теории гравитации

Вернемся из сослагательной истории в реальную, где закон всемирного тяготения носит имя Ньютона. Это непростая и невеселая история, в которой неустанно обсуждают вопрос, по праву ли этот закон носит его имя. При всей мировой славе сэра Исаака Ньютона, начавшейся при его жизни, ему давно предъявляют моральную претензию в том, что он якобы не поделился славой с Робертом Гуком, выдающимся физиком-экспериментатором. Тот очень даже претендовал на соавторство, считая, что именно он сообщил Ньютону ключевую гипотезу: притяжение планет к Солнцу, обратно пропорциональное квадрату расстояния, определяет эллиптическую форму орбиты. Сам он это доказать не мог и в 1679 году обратился за помощью к Ньютону, уже славному своей математической мощью.

История надежно подтверждает и это обращение, и тот факт, что лишь после него Ньютон написал свой знаменитый труд «Математические начала натуральной философии», или просто «Начала», где изложил и теорию гравитации, и общую теорию движения. Однако Ньютон претензию Гука на соавторство отвергал, указывая, что о притяжении, обратно пропорциональном квадрату расстояния, говорили до Гука, начиная с Буйо, что вообще дело не в словесных гипотезах, а в точных количественных соотношениях, и, наконец, что сам он — Ньютон — открыл закон всемирного тяготения задолго до письма Гука, но об этом не сообщал из-за неправильного значения радиуса Земли, которое он тогда брал в свои вычисления.

Эти доводы Ньютона не убеждают многих историков, особенно любителей, которые смотрят на фундаментальную физику «сбоку» — со стороны математики или судебной психологии. В приоритетном конфликте Гука с Ньютоном действовали совершенно разные человеческие характеры и чувства, которые трудно оценить однозначно. Очевидны раздражение и досада Ньютона, но что за этим стояло: жадность к славе, личная антипатия или нежелание признать правдой неправду, пусть и «во имя мира»? Отвечая на этот вопрос, обычно меряют на свой аршин, а этот измерительный прибор у каждого действительно свой. Характер Гука, даже по свидетельствам его друзей, был далеко не ангельским. Плодовитый и разносторонний экспериментатор, он предъявлял свои авторские претензии — в самой острой форме — далеко не только Ньютону. И сочувствие к Гуку нередко питается тем, что материально и социально он был гораздо менее благополучен, чем Ньютон.

Вместо того чтобы погружаться в личностные детали этого конфликта, сосредоточимся на его научном драматизме. Оба прежде всего были людьми науки, для каждого наука — дело жизни.

Те, кто оправдывают претензии Гука, опираются на то, что тот поставил перед Ньютоном задачу об эллиптических орбитах, ответ которой знал, но не мог доказать, а Ньютон доказал, проведя необходимые математические выкладки. Поэтому принимающие сторону Гука считают отговорками слова Ньютона о том, что он якобы открыл закон всемирного тяготения еще во время знаменитых чумных каникул 1665–1666 годов, когда из-за чумы в Лондоне 23-летний Ньютон уехал на родительскую ферму.

Еще менее серьезно сторонники Гука относятся к знаменитой истории — или легенде? — о падающем яблоке, которое якобы помогло Ньютону в его открытии. Эта история привлекла новое внимание, когда недавно Лондонское Королевское общество опубликовало рукопись одной из самых первых биографий Ньютона, написанную

человеком, лично знакомым с ним. Биограф, кроме прочего, рассказал о своем визите к 83-летнему сэру Исааку в апреле 1726 года. После обеда они вышли в сад:

Мы пили чай в тени яблонь, беседуя на разные темы, когда он мне рассказал, как в точно такой обстановке ему в голову пришла идея гравитации. Он был погружен в размышления, когда увидел падающее яблоко. И подумал: «Почему яблоко всегда падает отвесно вниз, к земле, а не в сторону или вверх? Конечно, причина в том, что Земля притягивает его. В веществе должна быть какая-то притягивающая сила. А суммарное притяжение вещества Земли должно быть в ее центре. Потому-то яблоко падает по направлению к центру. И притяжение должно быть пропорционально количеству вещества. Яблоко притягивает Землю так же, как Земля притягивает яблоко». Значит, сила, подобная той, что мы называем тяжестью, простирается по всей Вселенной. <...> Так родилось поразительное открытие, которое легло в фундамент построенной им науки — к изумлению всей Европы.

Рассказ, написанный четверть века спустя после смерти Ньютона, содержит его прямую речь и мысли, откуда ясно, что рассказчика более заботит литературное качество истории, чем необходимость изложить свои воспоминания как можно точнее. Рассказчик не был ни физиком, ни историком науки, он был археологом и относил себя к «друидам» (жрецам кельтов в древности). Есть все основания принимать его свидетельство лишь условно. Во-первых, «точно такой» обстановка быть не могла — в апреле яблоки еще не падают. Во-вторых, вряд ли Ньютон объяснял гуманитария ход своих астрофизических мыслей. Еще менее вероятно, чтобы нефизик точно воспроизвел их спустя много лет. Скорее, он свои давние воспоминания скрестил с научно-популярными описаниями достижений Ньютона.

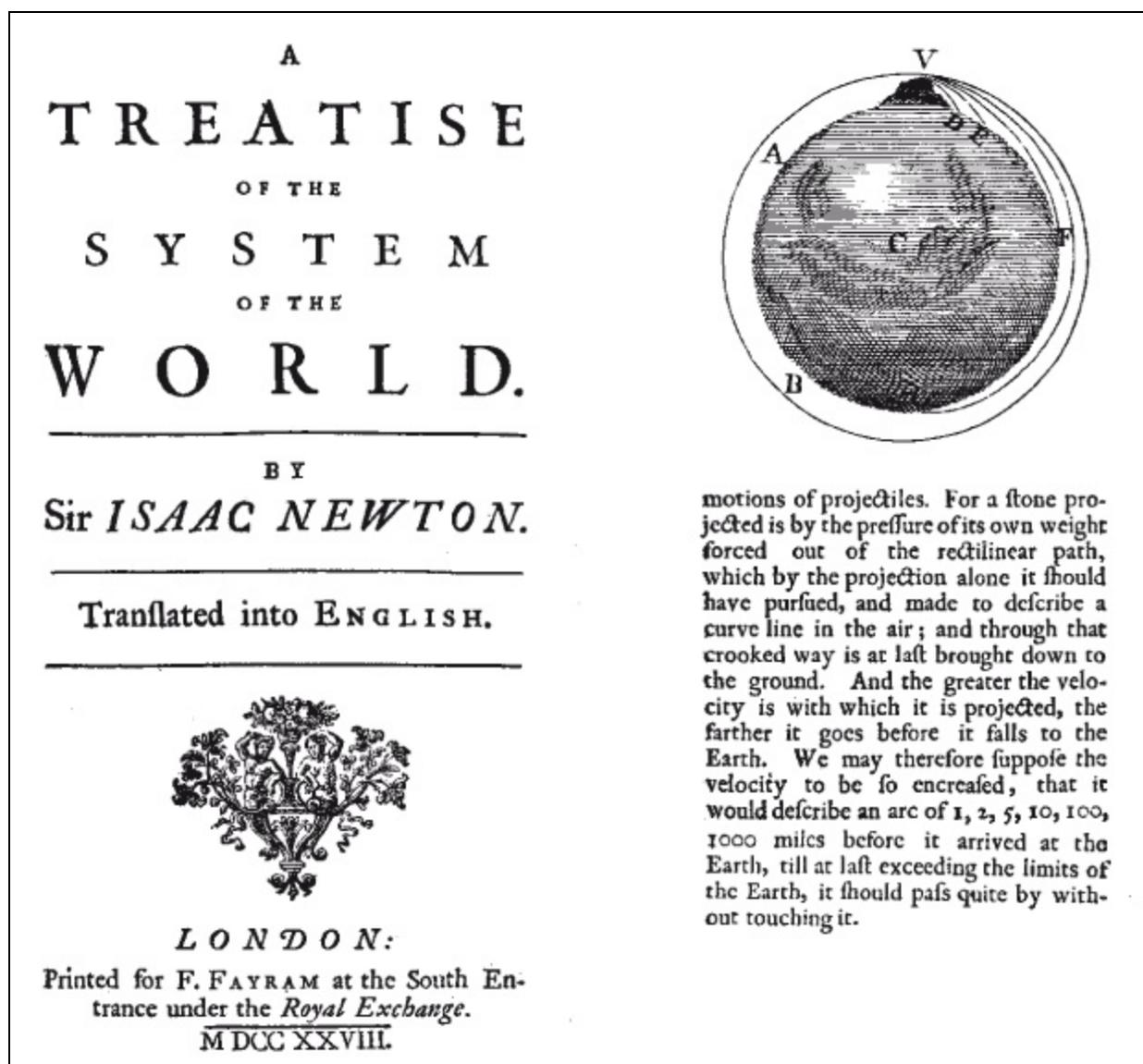
В сухом остатке простое свидетельство: падение яблока каким-то образом направило мысль Ньютона к идее всемирного тяготения. Надеюсь, я не единственный историк физики, для кого объяснение археолога-друида не работает: не видна убедительная последовательность мыслей Ньютона, в начале которой «яблоко падает отвесно вниз», а в конце — великий закон. Поэтому я бы рискнул предположить, что тот счастливый для Ньютона день был ветреный, а ветер — порывистый. Тогда Ньютон мог увидеть, как порыв ветра сорвал яблоко, и оно падало не отвесно вниз, а по законной Галилеевой параболе. Физик-теоретик вполне мог спросить себя: а как бы оно падало, если бы порыв ветра был сильнее, еще сильнее, гораздо сильнее?.. И этот мысленный вопрос привел бы его к открытию закона всемирного тяготения тем путем, которым в предыдущей главе прошли «мы с Галилеем».

Для такого предположения есть несколько оснований. Из записных книжек Ньютона, относящихся к 1660-м годам, ясно, что он пришел к зависимости $1/R^2$, рассматривая именно *круговые* орбиты. О том же говорит его ссылка на неправильное значение радиуса Земли, задержавшее его мысль. И наконец, важнейшее указание содержится в первой версии его главного труда, предшественнице «Начал». Эту версию Ньютон писал общедоступно, фактически то был научно-популярный текст. И, подводя к идее всемирного тяготения, он использовал мысленный эксперимент с пушкой, выбрасывающей снаряд в горизонтальном направлении со все большей скоростью, пока снаряд не превратится в спутник Земли. Закончив рукопись, Ньютон, однако, отложил ее, решительно изменил жанр и стал писать

лаконичным языком, предназначенным лишь коллегам-профессионалам. В систематическом изложении, по примеру Евклида, не требовалось объяснять и оправдывать введение новых понятий.

Удивляться надо не тому, что он изменил характер изложения, а тому, что начал с научно-популярного. Возможно, он брал пример с «Диалогов» Галилея. Но уж очень они с Галилеем различались и характерами, и обстоятельствами жизни. Галилей был общителен, красноречив, рвался в бой, стремился к публикации; Ньютон — молчалив, уединен, избегал открытых конфликтов, замыкал свои рукописи на десятилетия. У Галилея было мало коллег для общения на равных, Ньютон уже входил в научное общество, которое издавало научный журнал. Галилей знал, что за его словами бдительно следит инквизиция, Ньютон жил в условиях академической и изрядной духовной свободы. Так что у Ньютона не было резонов, подобных Галилеевым, чтобы публиковать общедоступное изложение своих идей.

К счастью, его рукопись сохранилась и была издана посмертно под названием «Трактат о Системе Мира». Первая иллюстрация в этой книге изображает ту самую мысленную пушку:



Возвращаясь к малоприятному конфликту между Гуком и Ньютоном, отделим закон всемирного тяготения от задачи об эллиптической орбите: первое возможно без второго. И тогда легче понять Ньютона и посочувствовать ему. Ведь он пришел к астрономическому закону всемирного тяготения, начав путь от физического явления, вполне исследованного

Галилеем, — свободного падения вблизи поверхности Земли. А его побуждали признать ценность фраз Гука, не имеющих четкого физико-математического смысла. То, что Гук, болезненно ревнивый, выдвигает свои приоритетные претензии направо и налево, — не достаточное основание, чтобы исказить истину. Максимум, что можно сделать, — это промолчать. После приоритетных претензий Гука на оптические результаты Ньютона тот замолчал до смерти Гука, замолчал на четверть века, хотя его исследования свойств света — вторая важнейшая область его достижений. Накопленные результаты Ньютон опубликовал в монографии «Оптика» лишь после смерти Гука, притом несколько раз упомянув его добрым словом. Он бы, возможно, отложил и публикацию своей теории тяготения, но книга эта издавалась по инициативе и на средства его друга и коллеги. Ньютон пошел ему навстречу и упомянул Гука наряду с другими, кто говорил о законе $1/R^2$. Это было правдой, хоть и не обязательной для изложения теории в научном стиле.

Отношение Ньютона к предшественникам, по книгам которых он учился, и к собственным исследованиям видно в его словах из записной книжки: «В науке нет иного правителя, кроме истины... Кеплеру, Галилею, Декарту следует поставить памятники из золота, на каждом написав: „Платон — друг, Аристотель — друг, но главный друг — истина“».

Мировая слава пришла к Ньютону при жизни, что выразил его современник-поэт с библейской лаконичностью: «Природа и ее законы были скрыты во тьме, когда Бог сказал: „Да будет Ньютон“. И осветилось все».

Но сам Ньютон видел себя иначе: «Себе я кажусь ребенком, который нашел пару камешков поглаже и ракушек покрасивее на берегу океана нераскрытых истин».

Это касалось и его главного открытия: «Причину свойств гравитации я до сих пор не мог вывести из явлений...»

Ньютон легко бы понял и принял два уточнения теории гравитации, ждать которых пришлось целый век. Сначала британский физик Кавендиш сумел измерить в лаборатории крошечную силу гравитационного притяжения между двумя телами известных масс. Массы он взял 350 и 1,5 килограмма, а измеренная сила притяжения оказалась равна весу песчинки. Это измерение дало возможность точно определить массу нашей планеты, а значит, как мы видели в предыдущей главе, и массы других небесных тел. И это же измерение позволило определить фундаментальную константу гравитации G в формуле законе $F = G mM/R^2$, как только такая запись появилась в начале девятнадцатого века.

Однако вряд ли Ньютон мог предположить, что пройдет еще два столетия, прежде чем физики узнают нечто более глубокое о гравитации. За это время физики расширили применения физики Галилея — Ньютона, не зря называемой ныне классической. Тем труднее было предположить появление новых фундаментальных понятий, сопоставимых по глубине с первыми понятиями современной физики. Метод, изобретенный Галилеем и триумфально примененный Ньютоном, дал новые плоды в руках Дж. Максвелла, М. Планка, А. Эйнштейна, Н. Бора и других современных физиков.

Глава 4

Загадка рождения современной физики

Вопрос Нидэма

Наука в самом общем смысле, как получение знаний о природе, даты и места рождения не имеет. Тысячи лет жила она, соединенная с техникой и другими формами народной мудрости, в самых разных культурах. Однако, если говорить о физике, в семнадцатом веке родилась, можно сказать, новая — *современная* — наука, и темп развития ее ускорился в сотню раз.

Мало кто сомневается в том, что основатель современной физики — Галилей, хоть он и опирался на законы Архимеда, вдохновлялся открытием Коперника, поддерживался Кеплером, и лишь Ньютон развил его идеи до полного триумфа.

Знатоки спорят, однако, о вопросе Джозефа Нидэма, знаменитого историка китайской науки:

Почему современная наука, с ее математизацией гипотез о природе и с ее ролью в создании передовой техники, возникла лишь на Западе во времена Галилея? Почему она не развилась в Китайской цивилизации (или Индийской), а только в Европе? [Ведь] до пятнадцатого века Китайская цивилизация была намного эффективнее Западной в применении знаний о природе к практическим нуждам человека.

Эйнштейн, отвечая на сходный вопрос, обострил его еще более:

Развитие западной науки основано на двух великих достижениях — на греческом изобретении формально-логической системы (в геометрии Евклида) и на открытой в эпоху Возрождения возможности находить причинные связи посредством систематических опытов. Меня не удивляет, что китайские мудрецы не сделали этих шагов. Изумляет, что эти открытия были сделаны вообще.

«Чудом науки» Эйнштейн восторгался не раз, но отказался искать ответ, который проверить нельзя. Чудеса новой физики основаны на многократной опытной проверке ее гипотез. История же состоялась единожды, она не воспроизводима — значит, гипотезы о ее причинных связях опытами не проверить.

Подобные доводы не обескураживают размышляющих об истории науки, в которой драма идей переплетается с судьбами людей. Главное событие в развитии науки — рождение идеи, а это, как известно, дело сугубо человеческое, и потому история физики — наука гуманитарная, хоть в ней и говорят о физических измерениях и математических соотношениях.

В гуманитарных делах также возможна определенность, как, например, в правосудии, решающий орган которого — коллегия присяжных, то есть обычные, не искусные в юриспруденции граждане. Присяжным дано право выслушать доводы и, опираясь на свой здравый смысл, согласиться с предложенным им утверждением или его отвергнуть. Подобную роль может взять на себя вдумчивый читатель.

Вопрос Нидэма прежде всего следует расширить в пространстве и во времени, чтобы говорить не об одном лишь уникальном событии — рождении современной физики. Само

слово «физика» появилось в четвертом веке до нашей эры у Аристотеля, а век спустя Архимед открыл первые физические законы, полностью сохранившие смысл доньше, — законы равновесия и плавания. В последующие две тысячи лет, однако, физика изменилась так мало, что в своих книгах Галилей опровергал Аристотеля и восхищался Архимедом. Исследования же самого Галилея и его последователей к концу семнадцатого века оформились в новую физику.

Новую науку приняли: Декарт во Франции, Гюйгенс в Голландии, Ньютон в Англии, Лейбниц в Германии, Ломоносов в России, но за пределы Европы Галилеева наука почему-то не проникала, хотя в шестнадцатом веке Китай, Индия и мир Ислама не уступали Европе по уровню развития. В Европе освоили технологию производства бумаги, пришедшую из Китая и ставшую предпосылкой книгопечатания. Приняли также десятичную систему счисления, принесенную из Индии, у арабов позаимствовали «алгебру» и пр.

Учитывая приведенные факты, расширим вопрос Нидэма:

Чего не хватало античной науке, чтобы сделать следующий после Архимеда шаг, и почему после рождения современной физики неевропейские цивилизации не участвовали в ее развитии по меньшей мере три столетия?

Историки пытались связать рождение новой науки то с запросами капитализма, то с Реформацией, якобы освятившей реальный земной опыт. Наперекор этому возникла идея о том, что главной силой Научной Революции стала «математизация природы», а вовсе не опыты сами по себе. Пытались понять, с чего началось сотрудничество практиков и теоретиков, сравнивая Европу с другими цивилизациями. В таком сравнении Нидэм и пришел к своему вопросу.

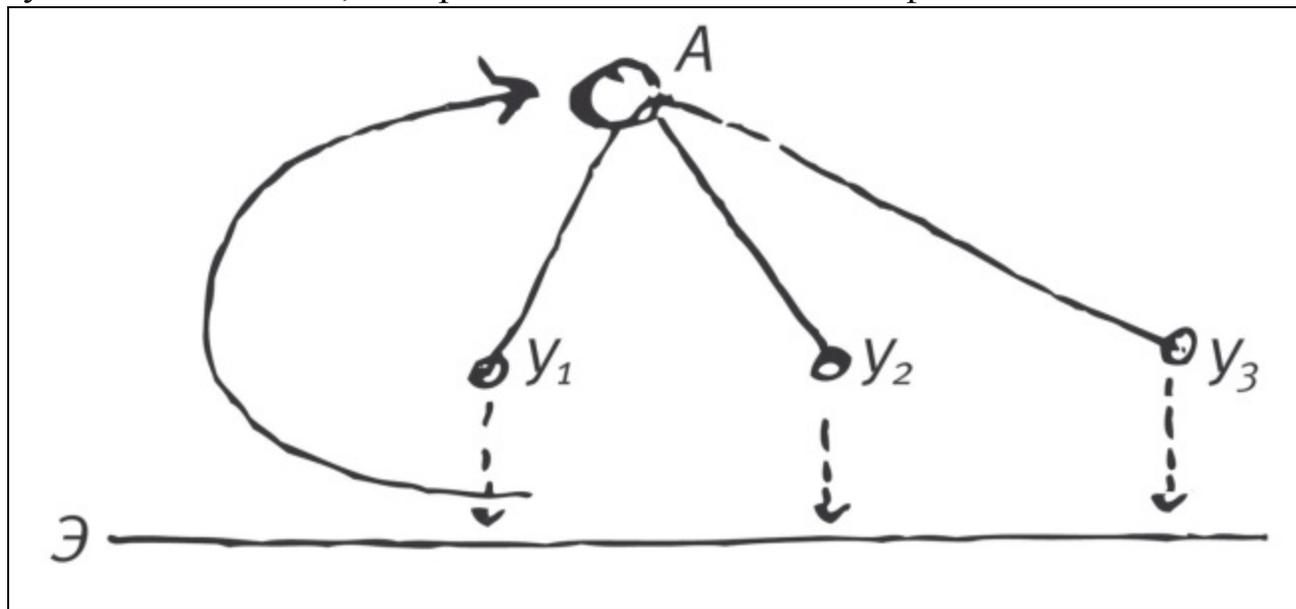
Само разнообразие типов объяснений свидетельствует об их неубедительности. Беря за основу некую черту исторической реальности, не учитывали другие факторы. Первые достижения новой физики — в небесной механике — не имели выхода в экономику. Необходимость соединить опыт с математикой Роджер Бэкон провозгласил еще в тринадцатом веке, а по сути, без философских деклараций, их соединил уже Архимед, совмещавший три профессии: математик, инженер-изобретатель и физик. Среди основателей новой науки были и католики, и протестанты. И наконец, в Китае, без капитализма, теоретики успешно сотрудничали с «технарями», а физика не возникла.

Ответ на вопрос Нидэма должен объяснить, чем характерно время рождения новой науки, что объединяло страны, в которых она легко прижилась, какие силы способствовали ее рождению и развитию.

Первый же взгляд на культурное пространство новой науки обнаруживает, что пространство это было христианским. Христианство, однако, возникло за 16 веков до того и успело разделиться на три непримиримые конфессии. Да и каким образом религия могла бы пробудить физику после многовековой дремы?!

Физика современная и физика фундаментальная

Прежде всего выясним суть новой физики, отличавшую ее от физики предыдущей. Ведь опыты и математика Галилея не выходили за пределы возможностей Архимеда, которого Галилей не зря называл «божественнейшим». В чем Галилей вышел за эти пределы, помогает увидеть Эйнштейн, изобразивший свое понимание физики схемой:



Здесь *аксиомы А* — основные понятия и законы теории — «свободные изобретения человеческого духа, не выводимые логически из эмпирических данных». Аксиомы эти изобретает интуиция, взлетающая (дугообразной стрелой), оттолкнувшись от почвы эмпирики Э. Из аксиом логически выводят конкретные утверждения У: их приземляют (пунктирными стрелками), сопоставляя с данными наблюдений Э.

Аксиомы изобретают гораздо реже, чем применяют уже известные для объяснения новых явлений, но поразительные успехи современной физики достигнуты именно методом, изображенным Эйнштейном. А изобрел этот метод Галилей, открыв, можно сказать, способ изобретения новых понятий.

Этот метод предполагает, что:

1. *Природа основана на глубинных, вовсе не очевидных, законах.*

2. *Человек способен постичь устройство Природы, свободно изобретая понятия и проверяя их опытами.*

Назовем эти предположения *двойным постулатом фундаментальной науки*, поскольку они означают веру в то, что природа — стройное мироздание, стоящее на некоем невидимом — «подземном» — фундаменте и, тем не менее, доступное познанию. Невооруженный глаз видит лишь «надземные» этажи, но физики стремятся понять архитектурный план, начиная с фундамента, очам не видного. Природе задают вопросы в виде измерительных опытов. Измерения дают четкие ответы, позволяя подтвердить или опровергнуть математически выраженную теорию. Потому и необходим комплект из двух инструментов — опыта и математики. Но требуется и нечто большее — то, что Эйнштейн назвал «отважнейшими измышлениями, способными связать эмпирические данные».

Главное, фундаментальные понятия вовсе не обязаны быть очевидными — эти «свободные изобретения человеческого духа» оправдываются или отвергаются в процессе

познания. «Понятия нельзя вывести из опыта логически безупречным образом», «не согрешив против логики, обычно никуда и не придешь», — писал Эйнштейн, подразумевая логику предыдущей теории. Но, совершая первый шаг — первый взлет интуиции, другой логики физик еще и не имеет.

Плодотворность неочевидных идей в познании Вселенной обнаружил Коперник, получив убедительные следствия из абсурдного для того времени представления о движении Земли. Успех Коперника помог Галилею изобрести метод познания, следуя которому физик волен изобретать сколь угодно неочевидные — «воображаемые» — понятия, отталкиваясь от наблюдений, если затем соединит творческий взлет разума с надежным приземлением.

Именно таким образом Галилей открыл закон свободного падения — первый фундаментальный закон, согласно которому *в пустоте* движение *любого* тела не зависит от того, из чего оно состоит. Неочевидное и «нелогичное» понятие, которое ему понадобилось, — «пустота», точнее — «движение в пустоте». И понятие это он ввел вопреки величайшему тогда авторитету Аристотеля, доказавшего логически, как считалось, что пустота, то есть ничто, реально не существует. Галилей не воспринимал пустоту органами чувств, не проводил опытов в пустоте. Он мог лишь сопоставить эксперименты с движениями в воде и в воздухе, и это стало взлетной полосой для его изобретательного разума. Так он пришел к понятию «невидимой» пустоты, что помогло ему открыть закон инерции, принцип относительности и, наконец, закон свободного падения. Тем самым он показал, как работает изобретенный им метод.

На схеме Эйнштейна отличие физики Галилея от физики Архимеда — стрела изобретательной интуиции, взлетающая вверх. Все физические понятия Архимеда наглядны: форма тела, плотность вещества и плотность жидкости. И этого хватило для создания теории плавания — малыми шагами, последовательно. Подобным же образом Птолемей составил геоцентрическую теорию планетных движений. Не любую теорию, однако, можно создать, ограничиваясь лишь наглядными понятиями и малыми шагами.

Коперник, совершив идейный взлет, решил исследовать, как выглядят планетные движения, если на них смотреть с «солнечной точки зрения». А взлет Кеплера — предположение о том, что траектории планет описываются не разными комбинациями круговых циклов и эпициклов, а неким единым образом. И Коперник, и Кеплер, фактически принимая постулат фундаментальной науки, изучали по сути лишь один объект — Солнечную систему. Они опирались лишь на астрономические, «пассивные», наблюдения, а главным их теоретическим инструментом была математика. Их можно назвать фундаментальными астроматематиками.

Галилей применил изобретательную свободу познания в мире явлений земных, где возможны активные систематические опыты. Он верил в то, что оба мира — подлунный и надлунный — подвластны единым законам. Обнаружив в земных явлениях фундаментальность закона инерции, он считал его действующим и для астрономических явлений. И стал первым современным физиком (и астрофизиком).

С тех пор так работает физика переднего края, которую можно назвать Галилеевой. Оставшуюся часть физики можно назвать Архимедовой: здесь к понятиям наглядно-очевидным добавляются фундаментальные понятия, уже проверенные и ставшие привычными. Следующие, после Галилеевой «пустоты», неочевидные понятия — всемирное тяготение, электромагнитное поле, кванты энергии, фотоны, пространство-время и пр. Чтобы ввести в науку «новое слово», нередко необходимо отказаться от привычных старых

(от эфира, например), что бывает даже труднее.

Метод Галилея стал главным двигателем науки, давая новые понятия и законы природы. Начинал же Галилей с *веры* в фундаментальную закономерность природы и в способность человека к познанию.

Источник веры в фундаментальную закономерность

Размышляя о научном познании, Эйнштейн заметил: «Невозможно построить дом или мост без использования лесов, не являющихся частью самой конструкции». Какие же леса помогали строителям новой науки?

О современнике Галилея — Кеплере — Эйнштейн писал, что тот

жил в эпоху, когда власть закона в природе отнюдь не была общепризнанной. А его вера в единообразный закон была столь велика, что дала ему сил на десять лет терпеливого труда — эмпирически исследовать движения планет, чтобы найти их математические законы.

Все основатели новой науки разделяли такую веру в фундаментальную закономерность природы. Вера и знание сотрудничают в науке: вера определяет начало и энергию исследования, а знание — его итог. В чем источник этой веры?

Неожиданную подсказку обнаружил историк-марксист (и, разумеется, атеист) Э. Цильзель, исследуя происхождение выражения «закон природы». Оказалось, что выражение это возникло лишь в семнадцатом веке и притом благодаря библейскому мировосприятию. Слово «закон» до того имело лишь юридический смысл.

В своих книгах Галилей вместо этого слова писал «ragione» (соотношение) или «principio» (принцип). В его теологических письмах, однако, началось превращение:^[2]

И Библия и Природа исходят от Бога. Библия продиктована Им, а Природа лишь исполняет Его веления.

Библия, убеждая в истинах, необходимых для спасения, нередко использует иносказания, понятные даже людям необразованным. А прямое значение слов было бы богохульством, когда, например, говорится о руках и глазах Бога, о Его гневе и сожалении, о Его забывчивости и незнании будущего. Природа же, никогда не нарушая законов, установленных для нее Богом, вовсе не заботится о том, доступны ли человеческому восприятию ее скрытые причины и способы действия. Бог наделил нас органами чувств, языком и разумом, чтобы мы сами могли познавать устройство Природы. Поэтому, когда мы узнаем нечто о природных явлениях, опираясь на опыт и надежные доказательства, это знание не следует подвергать сомнению на основе фраз из Библии, которые кажутся имеющими иной смысл. Особенно это относится к явлениям, о которых там лишь несколько слов. Ведь в Библии не упомянуты даже все планеты.

Галилей тут фактически изложил постулат фундаментальной науки: *нерушимые законы управляют скрытыми причинами* в Природе, а человек *способен* их понять.

К концу семнадцатого века Галилеевы «законы, установленные Богом для природы», превратились просто в «законы природы» — благодаря Декарту и Ньютоу, глубоко религиозным и очень авторитетным людям науки. Для атеиста Цильзеля выражение «закон природы» — это лишь «метафора библейского происхождения», но для религиозных основателей новой науки это было метафорой не более, чем другие описания Бога. Выражение «закон природы» вошло в общий язык верующих и неверующих, а к двадцатому

веку забылось и то, что оно существовало не всегда, и его библейское происхождение.

Не так важна история словосочетания «закон природы», как роль библейского мировосприятия в мышлении основателей новой науки. Связь двух видов веры в их сознании помогает увидеть зависимость постулата фундаментальной науки от постулатов Библии о Творце-Законодателе и о человеке, созданном как Его подобие.

Вернемся к вопросу Нидэма. Что общего у стран, где новая наука приживалась легко? Сравнить, впрочем, следует не страны в целом — разные по истории и уровню развития, — а людей, идущих в науку, то есть, очевидно, людей читающих. К семнадцатому веку наиболее читаемой книгой христианской Европы была Библия, доступность которой резко выросла благодаря изобретению книгопечати в пятнадцатом веке, и Реформации в шестнадцатом.

Буквально все основатели новой науки были верующими. Коперник имел духовное звание, Галилей и Кеплер в юности хотели стать священниками, а Ньютон о Библии написал больше, чем о физике. В своих научных исследованиях они, по выражению Кеплера, видели служение Богу. А в религии мыслили так же свободно, как и в науке. Причем в науке истину они искали, опираясь на книгу Природы, а в религии опирались на Библию, полагая, что у обеих книг один Автор.

Конечно, и в семнадцатом веке, когда возникала современная физика, были атеисты. Атеизм «жил и работал» еще во времена Архимеда — у Эпикура и его последователей. Открытым атеистом был коллега и друг Ньютона — астроном Э. Хэли (Галлей). Однако среди основателей новой физики атеистов не было. Чтобы это объяснить, выделим на схеме Эйнштейна три рода задач: изобретение новых понятий и аксиом $\mathcal{A} \Rightarrow A$, вывод из аксиом проверяемых утверждений $A \Rightarrow U$, эмпирическая проверка этих утверждений $U \Rightarrow \mathcal{A}$. Изобретению новых фундаментальных понятий способствуют интуиция и вера, присущие религиозному мировосприятию. А для последних двух задач требуется изобретательное конструирование из уже известных теоретических и материальных элементов, и религиозность этому не помогает, а то и мешает, «отвлекая от дела». Так что физикам-атеистам — таким как Людвиг Больцман, Поль Дирак, Лев Ландау, Стивен Вайнберг — работы хватает.

Все три звена эйнштейновской схемы необходимы, чтобы замкнуть цикл познания. Но начать следующий виток спирали науки способен лишь новый взлет изобретательной интуиции, основанной на вере. В начале же первого цикла, при рождении современной физики, роль новых понятий была особенно велика, и, соответственно, определяющей стала роль верующих физиков. Это объяснение охватывает и следующих изобретателей фундаментальных понятий — Максвелла, Планка и Эйнштейна, которые тоже не были атеистами.

Кредо Эйнштейна: «Господь изощрен, но не злонамерен». Друга его, атеиста М. Соловина, беспокоило, что в подобных шутках слишком большая доля религии. Эйнштейн пояснял, что «не нашел лучшего слова, чем „религиозная“, для уверенности в рациональном характере реальности, доступной человеческому уму, а там, где это чувство отсутствует, наука вырождается в бескрылый эмпиризм». И добавил:

Ты находишь странным, что я говорю о познаваемости мира как о чуде или как о вечной тайне. Но ведь следовало бы ожидать мира хаотического, который мы могли бы упорядочить лишь подобно алфавитному порядку слов. Совершенно иной

порядок проявился, например, в теории гравитации Ньютона. Он придумал аксиомы этой теории, но сам ее успех означает высокую упорядоченность объективного мира, ожидать чего заранее нельзя. В этом и состоит «чудо», которое лишь усиливается при расширении наших знаний.

Так Эйнштейн выразил основной постулат фундаментальной науки... и библейское представление об отеческом отношении Творца к венцу своего творения, о чем за три века до Эйнштейна писал Галилей.

Постулаты и предрассудки Библейской цивилизации

Эйнштейну легко было верить в существование фундаментальных законов — многие уже были открыты. В шестнадцатом веке не знали еще ни одного. Поэтому основатели новой физики нуждались в поддержке, которую получили от своих религиозных *предрассудков*. Их *пред*-физику можно назвать и более возвышенно: скажем, метафизикой или постулатом, но слово «предрассудок» точнее выражает суть дела. Речь идет об исходной позиции исследователя, *пред*-шествующей научным исследованиям его *рассудка*. Слово «предрассудок» в таком нейтральном смысле будем писать через дефис: «*пред*-рассудок».

Постулат — утверждение, принимаемое без доказательства. Евклид предложил набор постулатов, чтобы из набора этого следовали все остальные утверждения геометрии. Пример постулата: через две точки можно провести лишь одну прямую линию. Представив себе прямую в виде натянутой нити, утверждение это легко принять на основе собственного жизненного опыта.

Другой постулат не столь очевиден: на плоскости через точку вне данной прямой можно провести одну, и только одну, прямую, не пересекающуюся с первой. Веками математики пытались доказать этот постулат, сведя его к очевидным. Лобачевский понял, что это невозможно, когда заменил постулат его отрицанием и получил систему утверждений, логически безупречную. Подобные системы описывают геометрии не на плоскости, а на искривленной поверхности. Так что в математике неэквивалентные наборы постулатов определяют разные геометрические миры.

Совсем иной характер имеет постулат о фундаментальном устройстве реального мира и о его познаваемости. Он не следует логически из научных знаний или из житейского опыта. А чтобы постулат этот был крепкой опорой, в него нужно «свято» верить. Таким образом, речь идет о научном *пред*-рассудке, который для основателей новой науки следовал из их религиозных представлений. *Пред*-рассудки очевидны лишь для их носителя, поскольку усвоены незаметно, обычно в юном возрасте, из культурного окружения, подобно тому, как усваивают родной язык.

Взаимосвязь *пред*-рассудков религиозных и научных обнаружили миссионеры, которые принесли в Китай и Библию, и европейскую науку, а в 1737 году писали в своем отчете:

Мы объясняем китайцам, что Бог, создавший Вселенную из ничего, управляет ею посредством всеобщих законов, достойных Его бесконечной мудрости, и что все творения подчиняются этим законам изумительно точно. Китайцы отвечают, что эти высокопарные слова не несут им никакого смысла. Законом они называют порядок, установленный законодателем, имеющим власть предписывать законы тем, кто способен их исполнять, а значит, способны их понимать. Считать же, что Бог установил всеобщие законы, означает, что животные, растения и вообще все тела знают эти законы и, следовательно, наделены пониманием. А это, говорят китайцы, абсурдно.

Абсурдно для тех, кто не верит в Создателя-Законодателя Вселенной. А без понятия «всеобщих законов» фундаментальная наука невозможна.

Когда в Китае составляли процитированный отчет, в России, на 12-м году существования ее Академии наук, 25-летний Михаил Ломоносов усердно осваивал

европейскую ученость. Этот сын рыбака с дальнего Севера на пути к науке преодолел множество препятствий, но «китайского» барьера среди них не было. В России, при всех ее отличиях от Западной Европы, в науку точно так же шли люди из просвещенного, читающего меньшинства, которое опиралось на те же библейские *пред*-рассудки, что и просвещенное меньшинство в Западной Европе. Библия для Ломоносова была книгой столь же важной, как для Галилея и Ньютона, так же укрепляла его веру в закономерность мира и помогала критически воспринимать земные авторитеты, провозглашая высший авторитет Создателя-Законодателя Вселенной.

Влияние Библии началось, разумеется, задолго до шестнадцатого века, но резко усилилось, когда изобретение книгопечати позволило осуществить принцип Реформации *Sola Scripture* (только Писание), провозгласивший Библию единственным источником вероучения. Отсюда вытекала необходимость ее перевода на разговорные языки. Чтобы противостоять протестантам, появились и католические переводы Библии. А религиозные дебаты о смысле библейского текста побуждали верующих читать древнюю книгу. Это могло помочь развитию науки, например, таким образом.

Примем, что врожденные способности к исследованию (любопытность, интеллект, воображение, целеустремленность) встречаются в разных культурах одинаково часто, точнее — одинаково редко. *Пред*-рассудки данной культуры, однако, помогают или мешают выявлению таких людей. Библейские постулаты о незримом Творце-Законодателе, создавшем мир для человека, заражали познавательным оптимизмом.

Книгопечатание содействует развитию науки и другими путями — повышая уровень грамотности и распространяя научные знания, но определяющим было не это, типографии ни в Китае, ни в мире Ислама науке не помогли.

После того как физика Галилея — Ньютона оправдалась триумфально, верить в фундаментальное устройство мира и в его познаваемость стало возможно и без опоры на Библию. Убеждали сами триумфы. А «самоочевидный» ныне постулат фундаментальной науки вместе с другими установками библейского происхождения образовали инфраструктуру цивилизации, именуемой Западной, или Европейской, или Христианской. Точнее эту цивилизацию назвать Библейской, поскольку именно Библия, растворившись в национальных культурах от Италии до Скандинавии и от Англии до России, стала реальной основой их общности.

Роль Библии в рождении современной науки не более удивительна, чем ее вклад в развитие литературы. Культурный европеец, даже считая себя неверующим, знаком с библейскими сюжетами. Принципы Европейской цивилизации, кажущиеся самоочевидными, имеют библейское происхождение, хоть ныне звучат секулярно. Само представление об общечеловеческих ценностях не было общечеловеческим. Единство людского рода, выраженное в Библии единым происхождением от Адама и Евы, заповедь о еженедельном дне отдыха для «раба и рабыни» наравне с членами семьи, благожелательность к «пришельцам», равенство людей перед Богом и личная ответственность человека за свои действия — все это в Библейской цивилизации развилось в сегодняшние представления о человеческом достоинстве, о верховенстве закона и о равенстве людей перед ним. Крылатая фраза «Человек!.. Это звучит... гордо!» в пьесе Горького следует за словами: «Человек может верить и не верить... это его дело! Человек — свободен... он за все платит сам: за веру, за неверие, за любовь, за ум — человек за все»

платит сам, и потому он — свободен!»

На основе библейского мировоззрения сформировался западный секулярный гуманизм. Нынешние атеисты, свободно говоря о своих взглядах, едва ли осознают, что такая их свобода — свобода совести — плод библейской цивилизации. Первыми эту свободу провозгласили люди глубоко религиозные, которые, в стремлении к духовной свободе, переселились за океан. Чтобы гарантировать эту свободу, они впервые отделили Церковь от государства законодательно.

Библейское наследие принадлежит как верующим, так и неверующим, а культурная дистанция между библейским теистом и библейским атеистом много меньше расстояния между различными цивилизациями. Европейские атеисты, не принимающие всерьез религиозных постулатов Библии, несут в себе секулярное следствие этих постулатов — веру в познаваемость Мироздания. Такая вера предшествовала распространению науки Галилея — Ньютона по Европе. А необходимая для новой науки внутренняя свобода роднит глубоко верующих и глубоко неверующих. *Пред-рассудок* личной свободы отличает их от непросвещенных «мелко верующих» — признающих лишь то, что можно пощупать, независимо от того, посещают они церковь или нет.

Гипотеза о том, что ключевой предпосылкой Научной Революции была Библия, отвечает на вопрос Нидэма: библейские тексты объединяют страны, где наука легко укоренилась, а эпоха Научной Революции характеризуется стремительным распространением Библии.

Если так, то современная физика, а вместе с ней и вся современная наука, — результат соединения библейского культурного кода с научно-философской традицией, идущей из Древней Греции.

Уже греческие философы говорили о неких первичных элементах природы вроде апейрона и атомов. Пифагор, открывший зависимость звука струны от ее длины, провозгласил, что основа мира — числовые соотношения. Платон учил о первичности идеальных форм в понимании материального мира. Отсюда, казалось бы, один шаг до поиска фундаментальных законов Вселенной, но шага этого не сделал никто. Ни за оставшиеся семь веков античной цивилизации, ни и в Золотой век Ислама.

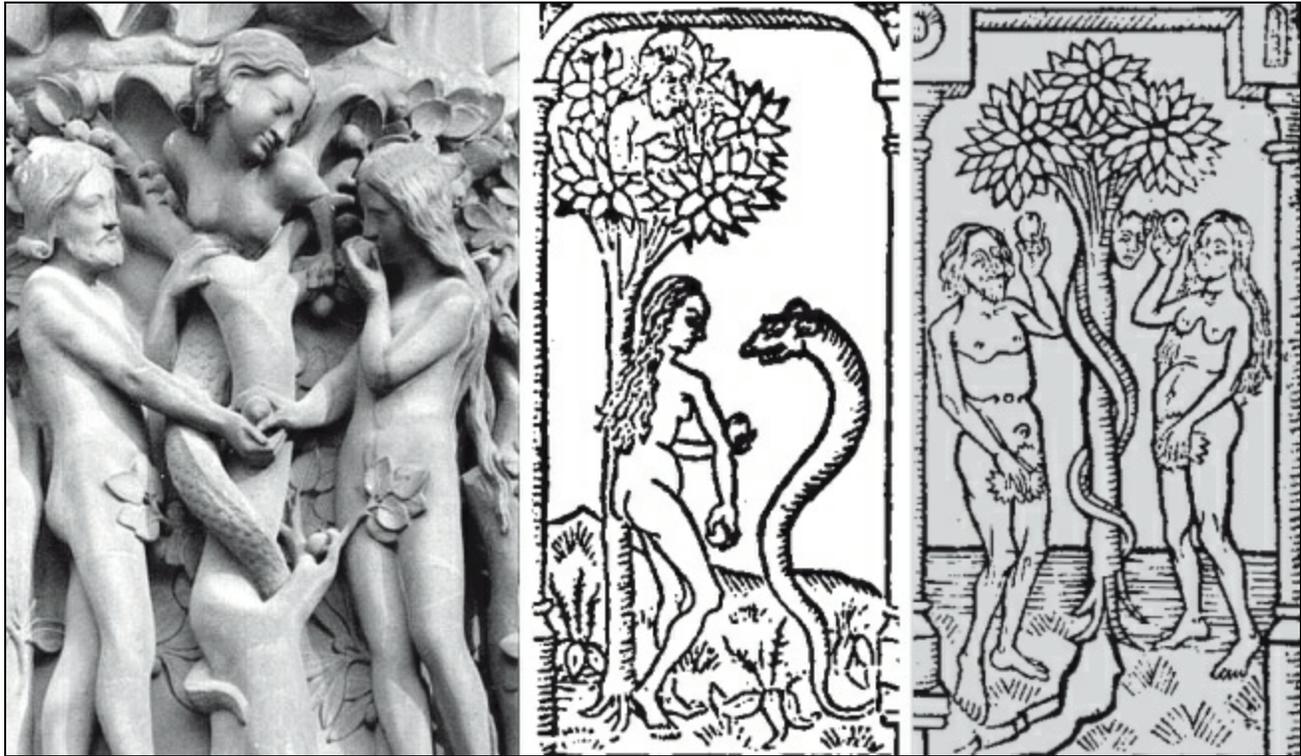
Учение Платона отверг даже его великий ученик Аристотель, которого занимал прежде всего сам реальный мир. Платон подкрепил свои идеи фигурой Демиурга — «божественного мастера», создавшего реальный мир в соответствии с идеальными формами. Материал, однако, был не идеальным, чем и объяснялись несовершенства мира. Некоторые христианские философы приписали Платону предвидение библейского Бога-Творца. Едва ли сам Платон согласился бы опознать Демиурга в боге, придуманном народом, не знающим геометрии. Достаточно сопоставить философские диалоги Платона и сказания Библии.

Мировосприятие Галилея основывалось на гораздо более надежных *пред-рассудках*, чем мнение какого-либо философа. Галилей не сомневался: Сотворивший Вселенную, сотворил и исходный материал, создал и человека, наделив его качествами, необходимыми для познания. В своих исследованиях Галилей применял достижения великих греков: и Архимеда, которого почти боготворил, и Аристотеля, с приверженцами которого сражался, но у которого учился дисциплине мышления. Он оттолкнулся от учения Аристотеля, чтобы шагнуть вперед, а значит, оперся и на этого великого грека.

Историк, даже не веря ни в какого бога, но желая понять ход мыслей религиозного физика вроде Галилея и Ньютона, должен понимать, во что именно те верили, в чем состояли их религиозные *пред-рассудки*. Уникальный библейский *пред-рассудок*, важнейший для исследователя, — взгляд на человека как на венец творения и подобие самого Творца. Первый библейский сюжет, где человек принимает решение сам, — рассказ о Древе познания — учит свободе выбора и ответственности за свой выбор. Стремление к познанию проявилось в самом первом поступке Евы, а значит, стремлением этим ее наделил сам Создатель.

וַיֹּאמֶר אֱלֹהִים נַעֲשֶׂה אָדָם בְּצַלְמֵנוּ כְּדְמוּתֵנוּ

И рече бгъ: сотворимъ человека по ѡбразѹ нашему и по подобію
И сказал Бог: сотворим человека по образу Нашему, по подобию Нашему
Потом Бог сказал: Создадим человека – Наш образ и Наше подобие
И сказал Бог, что создаст человека по Своему образцу, как Своё подобие



Библейское определение человека (в разных переводах) и первый опыт познания (фрагмент скульптуры в соборе Парижской Богоматери и иллюстрации из «Библии для бедных», XV в.).

Именно библейский образ человека, божественно свободного, окрылил античную рациональную традицию и привел к рождению новой — современной — науки.

Среди нынешних физиков есть и верующие и неверующие, в США их примерно поровну. Более детальную картину дал опрос британского журнала «Physics World». Пятая часть его читателей считают себя атеистами и уверены, что религия несовместима с наукой. Более половины считают, что религия и наука мирно сосуществуют, имея дело с разными сторонами реальности, и эти миролюбивые физики назвали себя верующими и неверующими примерно поровну. И, наконец, еще одна пятая часть, называя себя верующими, утверждают, что вера обогащает их восприятие науки.

Тем, кто думает, что религия несовместима с наукой, стоит иметь в виду мнения двух физиков, не считавших себя рабами Божьими.

Советский физик Сергей Вавилов серьезно занимался историей науки, в частности, переводил Ньютона и написал его биографию. И вот что он записал в дневнике: «...XX век.

Прошли и Галилей и Ньютон и Ломоносов. Такие вещи возможны только на религиозной почве. Естествознание?!» При этом сам Вавилов религиозную веру давно утратил, о чем писал в дневнике, но, внимательно читая Галилея, Ньютона и Ломоносова, видел, что из истории их высших достижений религию не изъять.

Так думал и Эйнштейн: «Наши моральные наклонности и вкусы, наше чувство прекрасного и религиозные инстинкты помогают нашей мыслительной способности прийти к ее наивысшим достижениям».

Где место гуманитарных сил среди измерений и формул? Вспомним эйнштейновскую схему, в которой стрела интуиции взлетает вверх, а пунктирные стрелки, тоже с участием интуиции, приземляют высоко парящие мысли. Интуиция как свободное непосредственное усмотрение истины не сводится к логике, не гарантирует подтверждение «усмотренной истины», но позволяет взлетать и парить на такой высоте, откуда легче разглядеть скрытые связи эмпирических фактов. Подъемную силу при этом могут дать и упомянутые Эйнштейном «религиозные инстинкты», включая *пред-*рассудок свободы. Продвигаются в неведомое, опираясь не только на землю под ногами, но и на воздух под крыльями, чтобы преодолеть непроходимый участок.

Великое изобретение в науке — всегда чудо, то есть нечто непредсказуемое, не вытекающее логически из уже известного, нечто иррациональное. И такая иррациональность — важнейшая сила развития рациональной и реалистической науки.

Если библейский ответ на вопрос Нидэма и на загадку рождения современной физики не кажется читателю убедительным, он свободен искать иной либо же присоединиться к Эйнштейну, считавшему чудо фундаментальной физики необъяснимым:

Позитивисты и профессиональные атеисты горды тем, что не только избавили этот мир от богов, но и «разоблачили все чудеса». Как ни странно, нам приходится удовлетвориться признанием упомянутого «чуда», и никакого иного законного выхода нет.

Для физиков в двадцатом веке чудо познаваемости стало еще большим, когда обнаружилось, что чудесная упорядоченность мира, открытая Ньютоном в законе всемирного тяготения, оказалась лишь приближенной. Эйнштейн, перестроив фундамент, создал новую теорию тяготения — глубоко родственную прежней, хоть внешне на нее и не похожую, а, главное, точнее соответствующую опыту. В двадцатом веке физика пережила еще несколько подобных перестроек и ожидает следующую.

Успешность таких перестроек фундамента означает, что Вселенная устроена весьма дружелюбно по отношению к человеку. Она устроена проще, чем радиоприемник. Попади он в руки Ньютону, тот ничего не понял бы в его устройстве, даже приближенно, до появления электродинамики. А в устройстве Вселенной очень важные закономерности удалось понять уже в семнадцатом веке с помощью простых экспериментов и простой математики — очень простых по сравнению с веком двадцатым.

Как понимать такую дружелюбность Вселенной, зависит от мировосприятия человека. Библейский теист увидит в этом подтверждение любви Создателя Вселенной к своему главному творению — Человеку. Атеист может принять на веру так называемый антропный принцип, согласно которому Вселенная такова, как она есть, потому что в иначе устроенной

Вселенной человек не мог бы появиться. Остается и подход Эйнштейна: просто признать чудом познаваемость мира, в котором мы живем, и участвовать в его познании.

Глава 5

Первая и единая теория поля

Самая первая перестройка фундамента физики произошла после двух веков царствования порядка, открытого Ньютоном. Главную роль в той перестройке сыграл Джеймс Максвелл, и эту роль трудно переоценить именно потому, что он ввел первое новое фундаментальное понятие после Ньютона. Чтобы представить себе смелость Максвелла, надо знать, какой ореол окружал имя Ньютона на его родине.

В центре Лондона — в Вестминстерском аббатстве — стоит надгробный памятник с надписью:

Здесь покоится Исаак Ньютон, который силой разума почти божественной, своими математическими методами исследовал движения и формы планет, пути комет, приливы океанов, различия световых лучей и свойства возникающих при этом цветов, о чем ранее никто не подозревал. Старательно, мудро и достоверно толкуя природу, древности и Священное Писание, он своей философией доказывал величие Божественного могущества и блага, а своей жизнью выражал евангельскую простоту. Возрадуйтесь, смертные, что существовало столь великое украшение рода человеческого!

Гораздо короче надпись на статуе Ньютона в Колледже Св. Троицы, в Кембридже, где он учился и работал:

Умом он превзошел весь род людской.

Это за 17 веков до Ньютона сказал римский поэт-философ Лукреций Кар о греческом философе Эпикуре, жившем еще тремя веками раньше.

Какое отношение такие древности имеют к новой физике? Они говорят о свободе мысли в Британии, а значит, и о свободе научной мысли. Ведь Эпикур знаменит своим атеистическим мировоззрением, и то, что в Кембриджском университете процитировали хвалебное слово одного атеиста о другом, говорит об интеллектуальном просторе для студентов, одним из которых — двумя веками позже Ньютона — стал 19-летний Джеймс Максвелл. Простор для свободы мысли в Великой Британии можно ощутить еще яснее, вспомнив, что сам выпускник Колледжа Св. Троицы, удостоенный статуи, отверг общепринятый догмат Троицы, а его коллега и друг Хэли (Галлей) был назначен королевским астрономом, несмотря на свой атеизм.

Что думал о Троице Максвелл, неизвестно, но ему, как и Ньютону, интереснее всего в жизни были две великие книги, о которых говорил Галилей, — Книга Природы и Библия. Родители Максвелла принадлежали к разным ветвям протестантизма, в детстве он бывал в обеих церквях, а совершеннолетним в Кембридже — без отрыва от учебы и науки — заново продумывал свое мировоззрение. Об этом 21-летний Джеймс писал своему другу:

Мой великий план — ничего не оставлять без исследования. Ничто не будет святой территорией с Неизменным Титулом, будь то положительным или отрицательным. <...> Христианство — то есть религия Библии — это единственная форма веры, открывающая все для исследования. Только здесь все

свободно. Можешь летать до краев мира и не найдешь иного Бога, кроме Автора Спасения. Можешь обыскать всю Библию и не найдешь текст, который остановит тебя в твоих исследованиях.

Среди бумаг Максвелла нашли молитву:

Боже Всемогущий, создавший человека по образу Твоему и сделавший его душой живой, чтобы мог он стремиться к Тебе и властвовать над Твоими творениями, научи нас исследовать дела рук Твоих, чтобы мы могли осваивать землю нам на пользу и укреплять наш разум на службу Тебе...

Как Максвелл, с подобным отношением к науке, принимал слова атеиста об атеисте на статуе Ньютона? Максвелл знал, что Эпикур связывал этику с физикой, а в понимании «природы вещей» исходил из идеи атомов — одной из самых загадочных по происхождению в истории науки. Идею эту высказал Демокрит за сотню лет до Эпикура и за два тысячелетия до первых ее экспериментальных подтверждений. Согласно Демокриту, все «вещи» состоят из мельчайших частиц — *атомов* (по-гречески «неделимые»), а их движение, соединение и разъединение дают все наблюдаемые явления. И не только тело человека, но и душа его состоит из особых атомов. Так что жизнь и смерть — лишь разные состояния атомных образований. Поэтому, учил Эпикур, смерти бояться не следует: когда я есть, ее нет, а когда она есть, нет меня.

Греческие атомисты не сумели доказать атомизм всего сущего, но Лукреций в своей научно-философской поэме «О природе вещей» привел наглядные доводы в пользу атомной гипотезы, показав заодно, что познание освобождает от страхов. Поэма Лукреция — это гимн разуму и познанию, что вполне соответствовало устремлениям Ньютона и Максвелла.

К тому же они знали, что античные атомисты жили в мире многобожия: в поэме Лукреция слово «бог» употребляется лишь во множественном числе. Античный атеизм отрицал именно многобожие, и можно понять почему: олимпийским богам нечего делать в мире атомов, закономерно движущихся в пустоте. Само понятие закономерности несовместимо с прихотями олимпийцев. Аполлон велит атому лететь направо, Артемида — налево, так кого слушать? Библейское же представление о едином Боге-законодателе в античный мир еще не проникло.

Атомная гипотеза привлекала и Галилея и Ньютона, хоть и не привела их к осязаемым достижениям. Но к середине двадцатого века достижений было уже столько, что физик Ричард Фейнман подытожил:

Если бы некий катаклизм уничтожил все научные знания и к грядущим поколениям дошло бы только одно утверждение, то какое, составленное из наименьшего количества слов, содержало бы наибольшую информацию? Думаю, атомная гипотеза: все вещи состоят из атомов — маленьких частиц, которые непрерывно движутся, притягивая друг друга на некоем расстоянии и отталкивая при большом сжатии. В одной этой фразе огромное количество информации о мире, стоит лишь приложить немного воображения и подумать.

Первые физические доводы в пользу атомов появились в семнадцатом веке, когда возникла идея о том, что давление газа на стенку сосуда — это результат ударов атомов,

составляющих газ и движущихся беспорядочно во всех направлениях. Такое движение атомов рождает также ощущение тепла: чем быстрее атомы движутся, тем горячее. Из этой идеи, однако, не удалось извлечь измеримых следствий, и верх взяла идея попроще: тепло — это невидимая жидкость, перетекающая от горячего тела к холодному при их контакте.

На помощь атомной физике пришли химики, которые в начале девятнадцатого века заметили, что вещества вступают в химические реакции в целочисленных пропорциях типа 1:1, 1:2, 1:3, 2:3 и тому подобные. Это дало основание предположить, что суть химических реакций — соединение атомов, которые почему-то соединяются лишь с определенным числом других атомов. Такие соединения атомов — минимальные количества химических веществ — назвали молекулами. В простейшем случае молекулой может быть и один атом. Но это все пока — молекулярная химия.

А молекулярная физика создавалась на глазах Максвелла и при активном его участии. В картине атомно-молекулярного движения особенно озадачивала беспорядочность. Ведь наука занимается как раз упорядоченностью мироустройства?! Максвелл сумел обнаружить упорядоченность в беспорядке, когда он максимален, и нашел подходящий математический язык, чтобы описать эту упорядоченность, — теорию вероятностей, или, как говорили раньше, исчисление вероятностей. До Максвелла это исчисление применяли лишь к азартным играм и к скучной статистике. Хотя понятие вероятности, быть может, самое нужное в жизни, которая, как известно, — игра.

В любой порядочной игре не известен следующий ход соперника или судьбы. Но если, как советовал Фейнман, «приложить немного воображения и подумать», то в некоторых случаях можно оценить вероятности разных событий. К примеру, если в коробку с черными шарами в количестве C бросить B белых шаров и хорошо перемешать, то вероятность вытащить из коробки наугад белый шар равна $B/(C+B)$.

Если же вместо коробки с шарами взять емкость с газом, то движущиеся молекулы сами себя перемешивают, и поэтому можно спросить, какова вероятность того, что наугад выбранная молекула имеет такую-то скорость. Ответ Максвелла, или максвелловское распределение молекул газа по скоростям, — это первый физический закон, основанный на понятии вероятности.

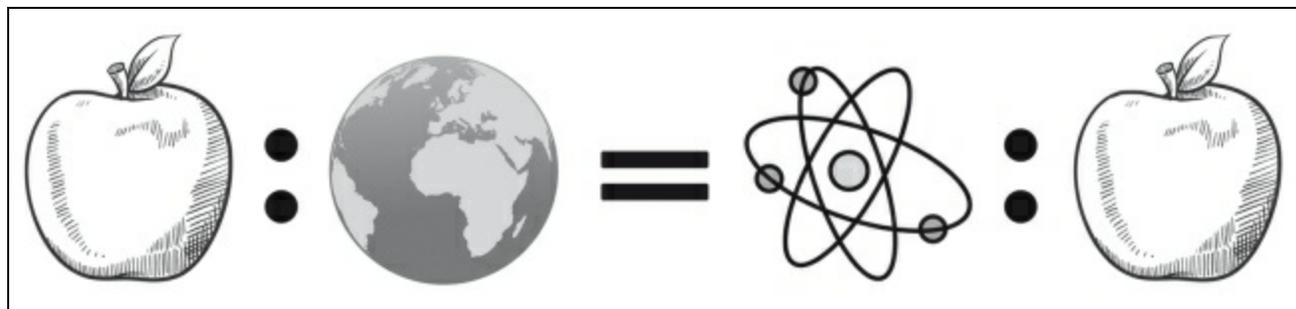
Можно сомневаться, назвать ли этот результат новым законом природы, если Максвелл его получил, опираясь на законы механики Ньютона, «просто» применив их к молекулам. Однако то было совершенно новое применение и совершенно новый тип закона. Прежде законы механики определяли движение объекта, исходя из знания его начального положения, то есть описывали историю этого объекта. При огромном числе молекул газа такой — исторический — подход теряет смысл. И возникает новый — статистический, определяющий свойства данного газа: его давление на стенки сосуда, вязкость (или внутреннее трение), скорости распространения в этом газе тепла, запаха и так далее.

Некоторые из газовых законов были открыты экспериментально еще во времена Ньютона, начиная с закона Бойля (и Мариотта), согласно которому давление газа обратно пропорционально его объему. Молекулярная гипотеза позволила объяснить все эти законы и связать внешне столь разные явления, как диффузия, теплопроводность и вязкость.

Особенно драматичным стало объяснение вязкости. Из теории следовало, что вязкость газа не зависит от его плотности, что казалось странным, если не сказать абсурдным. Максвелл взялся за измерения, готовый опровергнуть собственный теоретический вывод. Он построил экспериментальную установку и обнаружил, что вязкость воздуха действительно

постоянна в диапазоне 60-кратных плотностей. Это был триумф атомной гипотезы и, заодно, Максвелла.

Измерение наблюдаемых свойств газов позволило вычислить характеристики молекул — размеры, скорости и массы **НЕНАБЛЮДАЕМЫХ**, невообразимо малых молекул. Представить себе размер атома можно, мысленно увеличив яблоко до размера Земли, — тогда атомы яблока станут размером с яблоко, то есть яблоко так относится к Земле, как атом к яблоку.



Во времена Максвелла физики понятия не имели, что собой представляет атом и как именно атомы соединяются в молекулы. Незнание это, однако, не помешало понять молекулярную физику газов, поскольку основная жизнь молекулы газа проходит в свободном полете, и лишь малая ее часть тратится на столкновения. Поэтому свойства газа и определяются самыми простыми свойствами его молекул — массой и размером. Другое дело — жидкость и твердое тело, где молекулы расположены вплотную друг к другу.

К счастью физиков, они могли исследовать газы — не столь простые объекты, как маятники Галилея, но за два с лишним века экспериментаторы научились делать гораздо более тонкие и точные опыты. Искусство физика состоит в том, чтобы найти простой объект для изучения новых явлений, придумать простые опыты и... открыть законы этих явлений.

Главная награда за хорошо придуманные, сделанные и обдуманые опыты — открытие новой упорядоченности мироздания и расширение горизонта познания. Об этом в лекции «Теория молекул» Максвелл рассказал в 1874 году на собрании Британского общества содействия развитию науки.

Вглубь микромира и во всю ширь Вселенной

В лекции Максвелл рассказал о развитии идеи, начиная с античной гипотезы о неделимых атомах. Гипотеза эта противоречила житейскому опыту: любую, сколь угодно малую, каплю воды можно разделить на две. Видные философы, включая Аристотеля, атомизм отвергали. Однако философия и житейский опыт не сумели убить эту идею.

Два тысячелетия спустя появились реальные основания сравнить всякое вещество не с водой, а с песком, который, при взгляде издалека, кажется сплошным. Кучку песка можно делить и делить пополам, пока не возникнет сомнение, является ли результат деления все еще кучкой или уже шгучками — песчинками. Физики, не пытаясь взять в руки отдельную шгучную молекулу, старались из молекулярной гипотезы получить экспериментально наблюдаемые — измеримые — следствия.

О стараниях этих Максвелл рассказал в своей лекции и с помощью бутылки с аммиаком продемонстрировал несколько молекулярных явлений, начиная с того, что открыл бутылку и дал аудитории понюхать. Первый ряд ощутил запах очень скоро, а до последнего ряда запах дошел лишь через некоторое время. Расстояние, деленное на время, дало скорость диффузии аммиака в воздухе. И вот эту скорость физикам надо было получить из свойств молекул или, наоборот, исходя из измеренной скорости диффузии определить основные параметры молекул. Максвелл упомянул около двадцати физиков из разных стран, усилиями которых создавалась новая область науки. Она нацеливалась на явления самые обычные и наглядные, но — до появления молекулярной физики — непонятные: испарение и кипение, распространение тепла и запаха, трение и скольжение... Еще до Максвелла физики сделали несколько остроумных оценок и прикидок, но именно он заложил основу общей теории — статистической физики, которую, как он подчеркнул, значительно развил Людвиг Больцман.

Подытоживая полученные результаты, Максвелл разделил их по степени обоснованности на три класса. Самыми надежными назвал массы молекул, выраженные в массах легкой молекулы водорода, и средние скорости движения молекул. Менее надежны были относительные размеры молекул газов и среднее расстояние свободного пробега — среднее расстояние, проходимое между столкновениями. А наиболее предположительны — абсолютные размеры и массы молекул. Вот какую таблицу новых молекулярных данных Максвелл показал аудитории.

		Водород	Кислород	Оксид углерода	Двуоксид углерода
1-й класс	Масса молекулы (водород — 1) Средняя скорость (м/сек) при 0° C	1 1859	16 465	14 497	22 396
2-й класс	Длина свободного пробега (10^{-10} м) Число соударений в секунду (10^6)	965 17 750	560 7646	482 9489	379 9720
3-й класс	Диаметр (10^{-10} м) Масса (10^{-25} г)	5,8 46	7,6 736	8,3 644	9,3 1 012

Можно представить себе, какое впечатление на публику произвели первые новости из физики микроскопических объектов. Точнее сказать, «наноскопических», поскольку ни в какой микроскоп не увидишь атомный размер — нанодюйм. Сто миллионов атомов в ряд образуют цепочку длиной в один сантиметр, а один грамм — это миллион-миллиардов-

миллиардов атомов. Верить в реальность атомных величин помогало то, что рассчитанные на их основе теоретические свойства газов хорошо соответствовали — с точностью до процентов — измеренным. Соответствующую таблицу Максвелл также привел в своей лекции, показав, что физики, даже витая в теоретических облаках, твердо стоят на земле и что открылся реальный путь к исследованию мельчайших деталей мироздания.

Относительные массы молекул водорода, кислорода, окиси и двуокиси углерода — 1:16:14:22 — своими целыми числами намекали на какую-то новую упорядоченность, на некую структуру самих атомов и на общность этой структуры, однако для теории в этом направлении других оснований пока не было. Но Максвелл не поставил точку на достигнутом. Он был уверен, что атомы имеют структуру, исследовать которую лишь предстоит:

Атом — не жесткий объект. Он способен к внутренним движениям, а когда эти движения возбуждены, испускает излучение с длинами волн, соответствующими периодам его колебаний. При помощи спектроскопа длину волны света можно определить с точностью до сотой доли процента. Так убедились, что не только атомы любого образца водорода в наших лабораториях имеют один и тот же набор периодов колебаний, но что свет с тем же самым набором испускается Солнцем и звездами.

Стало быть, исследование самых малых физических объектов открыло возможность для исследования объектов самых больших и самых далеких. Путь к этому начал еще Ньютон. Пропустив солнечный свет через стеклянную призму, он получил спектр — полоску всех цветов радуги, а затем, пропустив эту радугу через перевернутую призму, вновь получил ясный солнечный свет. Это открытие, видимо, произвело сильнейшее впечатление на автора надгробной надписи в Вестминстерском аббатстве, раз он добавил «о чем ранее никто не подозревал».

Никто также не подозревал, что в ярком солнечном спектре имеются темные линии, пока их не разглядел в 1814 году германский физик Фраунгофер. Он разглядел и обозначил около шестисот линий, совершенно не понимая, что они такое.

Понимание пришло сорок лет спустя при исследовании цвета пламени, в которое помещали различные вещества. Исследовали с помощью спектроскопа, основа которого — стеклянная призма. Оказалось, что каждое вещество дает свой особый спектр — набор линий разной яркости. Каждая линия соответствует свету определенной длины волны. Собрав спектральные «отпечатки пальцев» разных веществ, исследователи получили новый и точный способ определять вещество по его спектру. И тогда заново взгляделись в линии Фраунгофера. То, что те линии — темные, а в спектрах пламени — яркие, объяснили тем, что первые — спектр поглощения света, а вторые — спектр испускания. Жаркий свет Солнца, проходя через вещество его прохладной атмосферы, поглощается особенно охотно на тех длинах волн, на которых это вещество излучало бы, если его как следует разогреть.

Таким образом установили, что атмосфера Солнца содержит водород, кислород, натрий, железо и другие хорошо известные земные элементы.

Почти таким же образом обнаружили на Солнце новое вещество. Обнаружили в протуберанцах, извергаемых из солнечных недр за границы солнечной атмосферы. Наблюдать спектр раскаленного протуберанца — спектр испускания — легче всего во время

полного солнечного затмения, когда Луна, закрывая Солнце, оставляет открытыми лишь самые выдающиеся протуберанцы. Так в 1868 году обнаружили линию, какой не было ни в одном из собранных спектров, и предположили, что линия эта принадлежит веществу, на Земле пока не открытому. Неизвестное вещество назвали гелием — от греческого слова «солнце», и стали его искать на Земле. Нашли лишь через 27 лет.

Что было в самом начале?

В конце своей лекции 1874 года Максвелл обратил внимание на новое свойство природы, собственно и сделавшее возможными достижения молекулярной физики и астрофизики:

Молекулярная физика учит, что опыты никогда не могут дать чего-либо большего, чем статистическое знание, и что ни один закон, выведенный этим путем, не может претендовать на абсолютную точность. Но когда в размышлениях мы переходим от наших опытов к самим молекулам, мы покидаем мир случайности и переменчивости и вступаем в область, где все определено и неизменно. Молекулы соответствуют своему прототипу с точностью, какую не найти в наблюдаемых свойствах тел, ими образуемых. Во-первых, масса каждой отдельной молекулы и все другие ее свойства абсолютно неизменяемы. Во-вторых, свойства всех молекул одного типа абсолютно тождественны.

Откуда бы ни добыть кислород и водород — из воздуха, из минералов разных геологических эпох или из метеоритов, — один литр кислорода соединится ровно с двумя литрами водорода, образовав ровно два литра водяного пара. Атомы водорода на Земле, на Сириусе или на Солнце абсолютно одинаковы. Этот фундаментальный научный факт подвел мысль Максвелла к краю науки:

Никакая теория эволюции не может объяснить такое сходство атомов, ибо эволюция подразумевает постоянные изменения, а атом не способен ни расти, ни распадаться, ни рождаться, ни уничтожаться. Следовательно, мы не можем приписать существование атомов и тождество их свойств какой-либо причине, которые мы называем естественными. С другой стороны, полное тождество каждого атома с любым атомом того же рода дает им, как метко выразился сэр Джон Гершель [выдающийся астроном и физик], характерный признак изделий, изготовленных по образцу, и исключает идею их вечного существования самих по себе.

Так мы подошли, строго научным путем, очень близко к тому месту, где Наука должна остановиться. Не потому, что Науке запрещено изучать внутренний механизм атома, который она не может разобрать на части, или исследовать устройство, которое она не может собрать. Проследившая историю вещества, Наука останавливается, убедившись в том, что, с одной стороны, атомы были сделаны, а с другой, что они не были сделаны в каком-либо процессе, какие мы называем естественными.

Наука останавливается, но Максвелл не остановился и завершил лекцию так:

С тех пор, как атомы были сотворены, они сохраняют свое совершенство в числе, мере и весе. Неизменность их характеристик говорит нам, что стремления к точности в измерениях, к правдивости в суждениях и к справедливости в действиях мы относим к благороднейшим качествам потому, что они — существенные

составляющие образа Того, кто вначале сотворил не только небо и землю, но и материалы, из которых они состоят.

Начало фразы — неявная цитата из Ньютона, который, в свою очередь, вольно процитировал библейскую Книгу Премудрости Соломона: «Ты, Господь, все расположил мерою, числом и весом». Ньютон в своей студенческой записной книжке перефразировал: «Бог все сотворил числом, весом и мерою». Библию Максвелл знал слишком хорошо, чтобы допустить случайную фразу в этом единственном проявлении его религиозного мировосприятия в его собственных публикациях.

Не пожалел ли он о своей откровенности, получив после лекции приглашение вступить в общество, защищающее «великие истины Библии против того, что ложно называют возражениями науки»? Приглашение он отклонил и, судя по черновику его ответа, отклонил потому, что в благом намерении увидел ограничение свободы научных исследований:

Я думаю, что результаты, к которым приходит каждый человек в своих попытках гармонизировать свою науку со своим Христианством, имеют значение лишь для самого этого человека и не должны получать от общества оценочный штамп. Потому что суть науки, особенно ее ветвей, простирающихся в области неведомого, состоит в том, чтобы постоянно —

На этом черновик обрывается, но можно думать, что Максвелл далее написал нечто вроде: «...чтобы постоянно задавать новые вопросы и сомневаться в привычных ответах».

Одна из задач науки — выяснение границ применимости ее теорий. Подобную границу Максвелл выявил, когда понял, что в молекулярной физике напрямую не работает Ньютонова механика, нацеленная на движение отдельного тела. На смену пришла статистическая механика, имеющая дело с огромным числом движущихся частиц. Так что, и выявляя границу применимости самой науки — в вопросе происхождения элементарных частиц вещества, Максвелл занимался своим делом.

Сам вопрос могла ему подсказать эволюционная теория Дарвина, тогда уже 15 лет горячо обсуждаемая. Теория эта объяснила массу биологических фактов, но один вопрос остался без ответа. «Никчемное дело — рассуждать сейчас о происхождении жизни; с тем же успехом можно рассуждать о происхождении материи», — писал Дарвин в 1871 году.

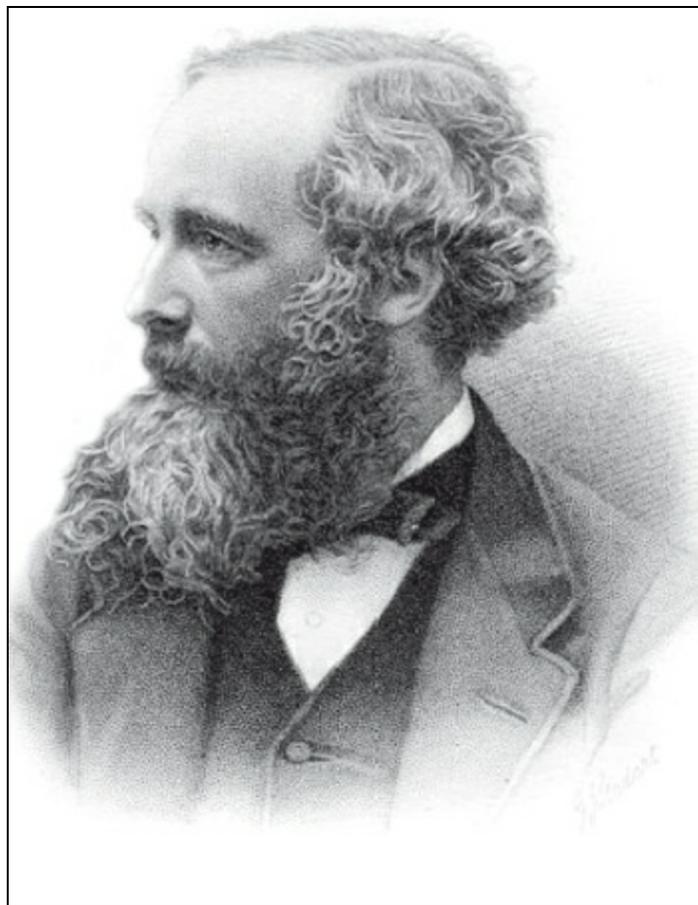
В лекции 1874 года Максвелл размышлял как раз о происхождении вещества. Он напомнил, что и в астрофизике некоторые важные факты объясняются эволюцией. Например, Солнечная система сформировалась в ходе ее эволюции, расположение и размеры планет не следуют прямо из каких-то фундаментальных физических законов.

Размышляя же о свойствах атомов, Максвелл не мог себе представить их результатом какой-либо эволюции и не допускал также их вечного существования. Лишь первое выглядит логически обоснованным. А во втором легко заподозрить библейскую предвзятость. Во всяком случае, «признак сделанности по образцу» вовсе не убеждал атеиста девятнадцатого века. Тогда постулат о вечности Вселенной выглядел логичной и прогрессивной заменой библейского сотворения мира, тем более что теория Дарвина триумфально заменила картину библейского творения разных форм жизни.

Прогресс физики и астрофизики двадцатого века привел к рождению космологии, а в ней, в свою очередь, к идее рождения Вселенной, и тем самым отправил в архив постулат о

ее вечности. Основанием для этого, однако, стало расширение Вселенной, о котором понятия не имели во времена Максвелла. Так что же, он лишь случайно угадал будущее? Ответить на этот вопрос можно будет, когда (и если) выяснится происхождение вещества в процессе рождения Вселенной. Пока же стоит заметить, что Максвелл, высказывая свое представление, ссылаясь не на авторитет Библии, а на фундаментальный факт атомной физики — тождественность атомов. Максвелл, как и Галилей, верил, что Библия осмысляет лишь дела человеческие, включая и свободу познания, но не диктует содержание Книги Природы.

Распространено мнение, что представление об эволюции жизни несовместимо с библейским мировосприятием. Однако сам Дарвин считал, что «человек может быть страстным теистом и вместе с тем эволюционистом». Один такой человек — А. Уоллес — высказал идею естественного отбора независимо от Дарвина и повлиял на развитие его теории. Другой — ботаник Э. Грей — помогал Дарвину и пропагандировал его теорию в Америке, третий — генетик Ф. Добжанский — уже в двадцатом веке соединил теорию Дарвина с генетикой, изложив свое понимание в статье «Ничто в биологии не имеет смысла, кроме как в свете эволюции». Ситуацию охарактеризовал в конце двадцатого века видный биолог С. Гулд: «Либо половина моих коллег невероятно глупы, либо наука дарвинизма вполне совместима с обычными религиозными верованиями — и столь же совместима с атеизмом».



Джеймс Клерк Максвелл

О себе Дарвин сообщил в конце жизни, что никогда не был атеистом, а свой итоговый взгляд назвал агностицизмом. Агностиком он был библейским не только потому, что в своей религиозной юности основательно изучил Библию и использовал библейские образы в своих

трудах. Теория естественного отбора объяснила разнообразие живых организмов, исходя из некой начальной формы жизни, о происхождении которой Дарвин ничего не знал, но описал его библейским оборотом: «В начале жизнь была вдунута в одну или несколько форм». В письме другу он пояснил, что имел в виду лишь то, что жизнь «появилась в результате совершенно неизвестного процесса».

В сущности, то же самое говорил Максвелл о возникновении атомов.

За полтора века, прошедшие со времен Дарвина и Максвелла, биология и физика гораздо глубже узнали, чего они не знают о происхождении жизни и о происхождении вещества. Биологи открыли микроскопический механизм эволюции жизни и углубились в его изучение. Физики раскрыли внутреннюю структуру атома, научились разбирать его на части — элементарные частицы, и поняли, что тождественность атомов следует из неразличимости элементарных частиц.

Проблемы происхождения вещества Вселенной и возникновения жизни до сих пор не удается даже толком поставить, но само обнаружение этих проблем — важная ступень научного познания, на которую первыми ступили Дарвин и Максвелл.

Наверняка найдутся читатели, думающие, что, несмотря на все сказанное, даже единственное проявление библейской религиозности Максвелла в его научных текстах — слишком много и что, будь он атеистом, быть может, достиг бы большего. На этот случай в истории науки есть поучительный пример для размышлений.

«Великий фундаментальный закон прогресса»?

Во времена Максвелла наряду с голосом защитников «великих истин Библии» уже звучали голоса отвергателей всякой религии. Маркс уже определил религию как «опиум народа» и был не первым ее разоблачителем. На роль антипода религии выдвигалась обычно наука или «научная философия».

За создание такой философии первым взялся французский философ Огюст Конт. В 1830-х годах он опубликовал многотомный «Курс позитивной философии», который начал со своего открытия:

Изучение развития человеческого познания приводит к открытию великого фундаментального закона прогресса: каждая ветвь нашего знания последовательно проходит через три различные теоретические состояния: Религиозное, или основанное на вымысле; Метафизическое, или абстрактное; и Научное, или позитивное. Отсюда возникают три философии, каждая из которых исключает другие. На последней — позитивной — стадии разум, оставляя тщетные поиски абсолютных понятий, поиски происхождения и цели вселенной и поиски причин явлений, изучает законы явлений, т. е. неизменяемые отношения их последовательности и сходства. <...> Прогресс индивидуального разума — не только иллюстрация, но и косвенное свидетельство прогресса общего разума. Отправная точка личности и народа одна и та же, фазы разума человека соответствуют эпохам разума народа. Каждый из нас знает, оглядываясь на свою собственную историю, что он был теологом в детстве, метафизиком в юности и естествоиспытателем в зрелости.

Ясно, что сам философ считал себя прошедшим все три фазы. Но не счел нужным пояснить, как он обобщил свой личный опыт — или мнение о своем опыте — на все человечество и почему каждого взрослого записал в естествоиспытатели. Для историка науки исследовательский талант — не менее особый, чем талант художника или музыканта. Признать естествоиспытателем самого О. Конта трудно из-за отсутствия хотя бы малого его вклада в естествознание.

Историки знают, что в его «великий закон прогресса» не укладываются Галилей, Кеплер и Ньютон, которые не видели противоречия между своими религиозными взглядами и своими научными исследованиями. Можно предположить, что французский философ, изучая их достижения по учебникам, попросту не знал о религиозности великого итальянца, великого немца и великого англичанина. Труднее думать, что философ не знал о взглядах своих соотечественников Декарта и Паскаля, сделавших важные вклады в новую физику и вместе с тем недвусмысленно выразивших свою религиозность.

Похоже, философ не изучал биографий физиков и не знал, что дар естествоиспытателя проявляется обычно уже в детстве — и безо всякой теологии. Когда О. Конт излагал свою позитивистскую философию, в не столь уж далекой Шотландии один такой естествоиспытатель вступил на путь познания в свои неполные три года. Вот что его мама писала своей сестре:

У него масса дел с дверями, замками, ключами и т. п., а с языка не сходит:

«Покажи мне, как это делается». Он исследует скрытые маршруты проволок к колокольчикам [для вызова слуг в разные комнаты], путь, которым вода течет из пруда через забор, мимо кузницы, к морю, где плавают корабли. Колокольчики наши не заржавеют: он караулит на кухне, а Мэгги бежит по дому и звонит во все по очереди, или звонит он сам и посылает Бесси наблюдать и кричать ему о результате.

Этому мальчику предстояло стать великим физиком и глубоко религиозным человеком, вопреки «великому фундаментальному закону прогресса». Но философ О. Конт об этом уже не узнает. Не узнает о великих научных достижениях повзрослевшего мальчика — Джеймса Максвелла, который верил в Бога и в то, что мир познаваем. Не узнает философ и о том, что всего через несколько лет после его смерти рухнет его смелый философский прогноз о границах познания: «Мы никогда не сможем ничего узнать о химическом или минералогическом составе планет», «людям никогда не охватить своими понятиями весь звездный мир», «при любом прогрессе наших знаний мы навсегда останемся на неизмеримом расстоянии от понимания вселенной».

Почему философ О. Конт так уверен? Потому что он не просто философ, а создатель «окончательной» философии — позитивно научной. В его «Курсе позитивной философии» наибольшую часть составляет описание всех наук, начиная с точных: математики, астрономии, физики, химии. Он уверенно рассуждает о научных материях, о заслугах и недоработках людей науки, вводит собственные термины, как, например, «барология», «термология», «электрология». При этом обходится без формул. Изучив все науки, он понял, что именно движет научным познанием:

В науке имеется гармония между нашими потребностями и нашими знаниями. Нам нужно знать лишь то, что действует на нас так или иначе, и воздействие на нас становится, в свою очередь, нашим средством познания...

Для нас чрезвычайно важно знать законы Солнечной системы, и в этом мы достигли высокой точности; а если знание звездной вселенной запрещено для нас, то ясно, что оно нам и не даст ничего, кроме удовлетворения нашей любознательности.

Важны, стало быть, лишь потребности реальные, практические, материальные, а не простая любознательность.

Максвелл думал иначе:

Не потому, что мы химики или физики, нас притягивает к сути всего материально сущего, а потому, что все мы принадлежим к роду человеческому, наделенному стремлением все глубже и глубже проникать в природу вещей.

О том же сказал Андрей Сахаров: «Из любопытства выросла фундаментальная наука». И первой ее целью назвал ее саму: «Наука как самоцель, отражение великого стремления человеческого разума к познанию. Это одна из тех областей человеческой деятельности, которая оправдывает само существование человека на земле». И лишь второй целью назвал практическое значение науки.

Быть может, с философской точки зрения, все это и неверно, но физики, пожалуй, лучше знают, что движет ими в исследовательской работе. Стоит напомнить: Максвелл и Сахаров не были чистыми теоретиками. Первой научной проблемой, за которую взялся Максвелл, было восприятие цвета, и результатом его исследований стала первая в истории цветная фотография. Научно-техническая карьера Сахарова началась с изобретения прибора по магнитному контролю качества, а первую славу ему принесло изобретение термоядерной бомбы и термоядерного реактора.

Философ О. Конт ничего не открыл и не изобрел в науке и технике, а, строя свою научную и последнюю философию, считал, что с наукой в общем-то уже все ясно и пора подводить философский итог всем наукам. Серьезных нерешенных проблем он не видел, а мелкими вопросами философу заниматься не к лицу. Не упомянул он, в частности, линии Фраунгофера, открытые за 20 лет до основания «позитивной философии». А ведь странные темные линии в солнечном спектре говорили нечто о Солнце, пусть пока и непонятное. Можно было думать, что, расшифровав эти линии, физики узнают нечто о составе этого небесного тела. И тогда философский прогноз непознаваемости не был бы так смешон для нынешних читателей.

По мнению философа, наука работает просто. «Со времен Бэкона, — напомнил он, — все здравые умы повторяли, что не может быть никакого реального знания кроме как на основе наблюдаемых фактов». А добывает реальное знание наука, «изучая законы явлений, т. е. неизменяемые отношения их последовательности и сходства, для чего использует рассуждения и наблюдения, надлежаще соединенные. Объяснение фактов — это просто установление связи между отдельными явлениями и некоторыми общими фактами, число которых постоянно уменьшается по мере прогресса науки».

Вот и все. И никаких чудес. Вспоминаются слова Эйнштейна о позитивистах, «гордых тем, что не только избавили этот мир от богов, но и разоблачили все чудеса».

Фрэнсис Бэкон, конечно, был прав, подчеркивая наблюдательную основу естествознания. И дважды прав в ту эпоху, когда царила аристотелевская «словесная» наука. Но свести науку к наблюдениям — подобно тому, чтобы свести балет к упражнению мышц. Кроме наблюдений, в фундаментальной физике необходим талантливый человек, который, размышляя над опытами, иногда — чудесным образом — изобретает понятия, прямо не наблюдаемые, но позволяющие связать опытные факты.

Так Галилей «изобрел» пустоту, а Ньютон — всемирное тяготение. Так была «изобретена» молекула, хоть и с древнеатомной подсказкой.

Следующее чудо совершил Максвелл, изобретя *электромагнитное поле*.

Электричество, магнетизм и электромагнетизм

Слово «электромагнитный» возникло в 1820 году, за 10 лет до рождения Максвелла, когда датский физик Эрстед обнаружил связь между электрическими и магнитными явлениями. Делая опыт с электрическим током, он заметил, что магнитная стрелка, случайно оказавшаяся рядом, слегка поворачивается при включении и выключении тока. То, что новое явление открыл именно Эрстед, — случайность, но само открытие было долгожданным. Впрочем, не так уж и долго — около трех десятилетий. А сами электрические и магнитные явления были известны уже более двух тысячелетий, и ничто не указывало на их связь. Они совершенно непохожи. Электричество возникало при натирании,

например, янтара мехом, а магнитным свойством обладали некоторые «камни».

За три десятилетия до открытия Эрстеда в изучении электричества и магнетизма произошло важное событие — появились количественные законы. Французский физик Кулон измерил силу, действующую между двумя электрическими зарядами, и силу, действующую между двумя магнитными зарядами-полюсами. Оказалось, что два эти закона одинаково определяют притяжение и отталкивание соответствующих зарядов, что намекало и на какую-то общность двух разных явлений. Намек оправдался в 1820 году, когда Эрстед обнаружил действие электрического тока на магнит. Следовало найти закон, как это действие зависит от силы тока и от расположения магнита.

Следующий шаг сделал французский физик Ампер. Он обнаружил, что магнит действует на ток, а ток, идущий по проволочной спирали, действует как постоянный магнит. Отсюда он сделал вывод, что никакого магнетизма, в сущности, нет, что каждый магнит — это множество внутренних круговых токов, скажем, молекулярного масштаба. Приняв эту новейшую идею, знакомый уже нам философ О. Конт назвал электрологией всю область электрических и магнитных явлений.

Придумать название области проще, чем открыть законы, управляющие ею. Закон взаимодействия двух токов удалось сформулировать, но был он гораздо сложнее закона Кулона и никак с ним не связан. Получалось, что неподвижные заряды взаимодействуют по одному закону, а начиная двигаться — по другому.

Еще одна странность была в том, что закон Кулона в точности повторял закон всемирного тяготения с тем лишь отличием, что тяготение — всегда притяжение, а в электричестве и магнетизме бывает еще и отталкивание. Взаимодействие токов напоминало гравитацию своим действием на расстоянии. Иначе и быть не могло: все находилось под впечатлением великих успехов Ньютона.

Сам-то Ньютон, размышляя над движением планет, принял дальное действие отнюдь не с легким сердцем. Не зря с этой идеей конкурировала очень наглядная вихревая гипотеза — идея близкодействия. Видя на ровной поверхности реки крутящуюся щепку, резонно думать, что в данном месте водоворот, который и движет щепку. Аналогично, видя вращение планет, предполагали, что в пространстве вокруг Солнца вихри чего-то невидимого несут с собой все планеты. На роль источника такого небесного вихря претендовало Солнце, вращение которого обнаружил еще Галилей. А саму невидимую материю называли «эфир» — аристотелевское слово для небесного материала. Оставалось выяснить законы эфирного движения. Главным автором вихревой идеи был Рене Декарт — великий французский математик, физик и философ.

Несколько десятилетий Британию и континент разделяло, помимо пролива Ла-Манш, еще и различие в представлениях о причинах планетного движения. Наука Британии приняла не наглядный, но точный закон всемирного тяготения, а наука континентальной Европы надеялась найти наглядное вихревое объяснение. Бесплодность этих надежд и плодотворность *не*-наглядного закона сделали свое дело, отправив невидимые вихри в архив истории.

Полтора века спустя, ко времени Максвелла, континентальные физики, став большими ньютонианцами, чем сам Ньютон, искали законы электричества и магнетизма лишь в Ньютоновых рамках. Они готовы были как угодно усложнять законы, лишь бы не выйти за эти проверенные рамки.

Самой впечатляющей проверкой стало открытие планеты Нептун в 1846 году —

открытие почти чисто теоретическое, как говорилось, на кончике пера. «Почти», потому что путь к открытию начался с малых нестыковок наблюдений и теории. Планета Уран двигалась не совсем так, как ей полагалось. Тогда астрономы предположили, что причина нестыковок — неизвестная планета, своим притяжением сбивающая Уран с «пути истинного». За дело взялись астрономы-теоретики и, пользуясь лишь законами Ньютона, вычислили, куда надо направить телескоп, чтобы увидеть новую планету. Астрономы-наблюдатели направили и увидели!

Этот триумф ньютонианства еще более упрочил идею дальнего действия. Конечно, электричество — не гравитация, но и в «электрологии» закон Кулона и закон Ампера были законами дальнего действия.

Лишь среди соотечественников Ньютона нашлись такие, для кого наблюдаемые явления были важнее унаследованных идей. Ключевым стало новое электромагнитное явление, открытое в год рождения Максвелла. Открытие сделал Майкл Фарадей.

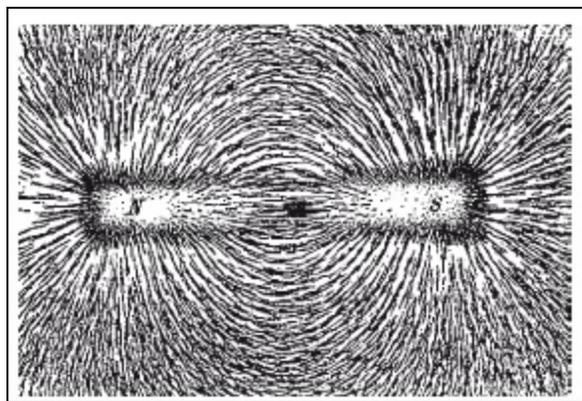
От силовых линий Фарадея до поля Максвелла

Талантливому человеку сделать великое открытие иногда помогает даже недостаток образования. Сын кузнеца, ученик переплетчика, Фарадей был самоучкой, но своим интересом к науке и способностями обратил на себя внимание видного британского физика и химика Г. Дэви. Начав работать его ассистентом в лаборатории Британского королевского института, через 12 лет — в 1825 году — Фарадей стал ее директором. Самоучку продвинули успехи его экспериментальных исследований.

Электромагнитные открытия 1820 года сразу привлекли внимание Фарадея, и уже в следующем году он написал исторический обзор электромагнетизма, повторив все важнейшие опыты. А попутно придумал, как сделать, чтобы провод с током вращался вокруг магнита.

Его главное открытие не было случайным: с 1824 года он пытался получить электрический ток в проводе при помощи магнита или тока в другом проводе. В 1831 году (год рождения Максвелла) 40-летний экспериментатор обнаружил, что движение магнита порождает ток в проводнике. Он не просто в своих опытах обнаружил новое явление, но и открыл закон этого явления — *закон электромагнитной индукции*.

Помог ему недостаток знаний математики и тогдашней теории электричества и магнетизма, держащей себя в рамках дальнего действия. Для формулировки закона Фарадей придумал свой собственный язык, где главным стало понятие «силовых линий». Эти линии он видел своими глазами. И каждый может увидеть, если насыплет железные опилки на лист картона, а снизу поднесет магнит. Линии, вдоль которых опилки выстраиваются и которые Фарадей назвал силовыми, показывают направление магнитной силы, а густота линий — величину этой силы. После трехмесячных исследований он пришел к выводу, что в замкнутом проводнике ток пропорционален изменению числа силовых линий, проходящих через контур проводника в единицу времени.



Опыт Фарадея немедленно повторили физики разных стран и убедились, что он действительно открыл новое явление. Но его самодельный язык не приняли и стали искать «более научный». По словам Максвелла, полвека спустя, «теоретики, забрав фарадеевский язык, так и не придумали никакой иной, чтобы описать явление, не вводя гипотезы о вещах несуществующих, как, например, токи, которые вытекают из ничего, затем текут по проводу и утекают опять в ничто».

В таком состоянии была наука об электромагнетизме, когда за нее взялся 24-летний Максвелл. В самодельных понятиях Фарадея он увидел больше, чем в изошренных

математических построениях континентальных теоретиков:

Введенные Фарадеем понятия «силовое поле», «силовые линии», «индукция» выражают его подход к науке: тщательное наблюдение избранных явлений, исследование полученных представлений и, наконец, изобретение понятий, приспособленных для обсуждения этих явлений. Огромная роль Фарадея в науке об электромагнетизме может вызвать сомнение, поскольку эта наука приняла математическую форму еще до Фарадея, который вовсе не был математиком. В его описаниях не найти дифференциальных и интегральных уравнений, которые многим кажутся сутью точной науки. В трудах Пуассона и Ампера, вышедших до Фарадея, или Вебера и Неймана — после него, каждая страница пестрит формулами, ни одну из которых Фарадей не понял бы.

Максвелл, однако, прекрасно понимал, что все эти формулы лишь развивали методы Ньютона и вовсе не исчерпывали возможности математического языка, на котором написана Книга Природы:

То, как Фарадей с помощью своей идеи силовых линий описал явление электромагнитной индукции, доказывает, что он был мощным теоретиком, у которого можно черпать плодотворные методы.

Первая работа Максвелла по электромагнетизму «О силовых линиях Фарадея» начинается так: «Нынешнее состояние науки об электричестве кажется особенно неблагоприятным для теории». Действительно, законы некоторых электрических и магнитных явлений, выведенные из экспериментов, были выражены математически, но не связаны между собой, хотя в поведении зарядов, токов и магнитов взаимосвязь проявлялась.

Чтобы овладеть этой наукой, — пишет Максвелл, — надо узнать такой объем сложнейшей математики, что простое удержание его в памяти существенно мешает продвижению. Первым делом поэтому надо упростить результаты предыдущих исследований и свести их к форме, которую можно охватить.

Максвелл, очевидно, верил в выполнимость этой задачи, но одной лишь веры для успеха мало. Почему путеводную идею Максвелл усмотрел в подходе Фарадея, логически не объяснить: подобный выбор пути обычно делает интуиция. Можно лишь указать факторы, которые помогли Максвеллу.

Прежде всего он слишком хорошо понимал Ньютонову физику и область ее применимости, чтобы надеяться на ее всемогущество. Ему были понятны слова Ньютона, который казался себе «ребенком, нашедшим пару камешков покрасивее на берегу океана нераскрытых истин». Перед Максвеллом была одна из таких нераскрытых истин — электромагнетизм.

Фарадеевское понятие силовой линии не только позволило описать явление электромагнитной индукции — оно указывало на новый характер взаимодействия. Силовые линии, увиденные Фарадеем с помощью железных опилок, не зависели от размера опилок. Мысленно уменьшая этот размер до нуля, получим свойство в данной точке пространства в данный момент времени. Но свойство чего? Исчезающие опилки напоминают улыбку

Чеширского кота, который — по воле Льюиса Кэрролла — таял в воздухе, оставляя лишь свою улыбку.

Десять лет спустя Максвелл, как и нынешние физики, сказал бы: «Свойство электромагнитного поля». Десять лет ему понадобились, чтобы выработать точный — научный — смысл этого понятия, использованного в заглавии его работы 1865 года «Динамическая теория электромагнитного поля».

О «магнитном поле» говорил еще Фарадей, но у него «поле» — слово обыденного, ненаучного, языка, синоним понятий «область», «сфера» (чего-либо). Выражение Фарадея означало просто «область пространства, где действуют магнитные силы». Так в русском языке говорят о «поле зрения» и «поле действия». В английском — «поле» применяется еще шире, скажем, «область физики» переводится с участием слова «field» — «поле».

Максвелл также начинал с обыденного смысла этого слова. Он искал закон взаимосвязи электрических и магнитных свойств в каждой точке «поля действия электромагнетизма» — искал закон, переходящий в частных случаях в известные законы Кулона, Ампера, Фарадея. Максвелл не знал, что не хватает еще одного закона, который ему предстоит открыть.

Свойств в каждой точке четыре: электрическая и магнитная силы, заряд и ток. Столько же должно было быть и взаимосвязей, или, на математическом языке, уравнений. Тот, кто видел четыре лаконичных уравнения Максвелла в нынешних учебниках:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho, \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad \nabla \cdot \mathbf{H} = 0, \quad \nabla \times \mathbf{H} = \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t},$$

очень удивится, заглянув в статьи Максвелла 1855, 1861 и 1865 годов, в которых тот прошел путь к своим уравнениям. В каждой статье более полусотни страниц. И удивительное различие материала. В первой статье механизм поведения силовых линий представлен движением невесомой и несжимаемой жидкости. Во второй — появляются в огромном количестве некие «молекулярные вихри» и две «эфирные среды», в которых происходят электромагнитные и световые явления. В третьей статье уже никаких вихрей, два эфира совпадают, а свет назван электромагнитным явлением.

Непоследовательность? Максвелл объяснил свой метод исследования в самом начале поиска — в статье 1855 года. Выбрав отправной точкой идеи Фарадея, Максвелл сравнил два метода — «чисто математическое формулирование или физическая гипотеза»: в первом случае теряется физическая природа явления, во втором явление рассматривается через узкий окуляр избранной гипотезы. И Максвелл избрал третий путь — «офизичить» математическое описание с помощью подходящих физических аналогий, делая математический язык более наглядным, но не привязывая себя к этим аналогиям намертво и сохраняя свободу в поиске адекватного описания. Речь шла об иллюстрациях, помогающих воображению без претензий на раскрытие сути явления. Такой метод позволял переходить с одного уровня описания на другой без необходимости объяснять все причины перехода. Ведь кроме объективно-уважительных причин действуют субъективно-интуитивные, которые и самому исследователю не всегда понятны.

По словам Эйнштейна, понятия так же нельзя вывести из опыта чисто логически, как «невозможно построить дом без использования лесов, которые сами вовсе не являются частями здания».

Таковыми лесами у Максвелла были потоки несжимаемой жидкости, силовые линии,

молекулярные вихри, две эфирные среды. Построив здание теории электромагнитного поля, или электродинамики, леса он удалил. Почти все. Осталась единая эфирная среда, еще несколько десятилетий помогая воображению физиков, хоть в уравнениях Максвелла никакие ее свойства не участвовали.

Эфир можно сравнить с ненаблюдаемым Чеширским котом, у которого кроме видимой улыбки есть еще и слышимый голос. Наблюдатель может искать взаимосвязь между шириной улыбки и характером звуков — от нежного «муррр» до недовольного шипения. Такая взаимосвязь не нуждалась бы в наличии самого кота, хотя в поиске закономерности пушистый образ мог бы и пригодиться.

Подобные сравнения строгий читатель сочтет неуместными, поскольку речь идет об одном из величайших достижений в истории физики.

Не до шуток, вероятно, и тому читателю, кто настороженно ждет, не связано ли это достижение с чем-нибудь библейским. Спешу успокоить: никаких свидетельств такого рода Максвелл не оставил. И предлагаю читателям самим решить, можно ли подобным свидетельством посчитать отношение к уравнениям Максвелла его младшего современника и сподвижника в статистической физике Больцмана, который свои чувства по поводу уравнений Максвелла выражал строками «Фауста»:

Не Бог ли эти знаки начертал?
Таинственен их скрытый дар!
Они природы силы раскрывают
И сердце нам блаженством наполняют.

Атеист Больцман, похоже, мог поблагодарить Всевышнего за помощь Максвеллу в изобретении понятия поля и в открытии с помощью этого понятия системы законов электромагнетизма.

Не менее сильные чувства испытывали фундаментальные физики следующего поколения.

Макс Планк причислил успех Максвелла к «величайшим триумфам человеческого стремления к познанию», к «наиболее удивительным свершениям человеческого духа» и к проявлениям того, «что между законами природы и законами духа имеются какие-то очень тесные связи».

Эйнштейн подытожил проще, но не менее сильно: «Одна научная эпоха закончилась и другая началась».

В эпоху Максвелла и при его прямом участии произошло объединение физики, до того состоявшей из весьма автономных частей: механика, теплота и оптика. Статистическое объяснение теплоты объединило ее с механикой, а оптика оказалась проявлением электромагнитных сил. Но подлинно эпохальную роль Максвелл сыграл в том, что фундамент физики был впервые капитально перестроен. Величественное здание, заложенное Галилеем и возведенное Ньютоном, вместило новую физику молекулярно-тепловых явлений, но оказалось тесным, чтобы вместить — без перестройки — физику электромагнетизма.

Глобальное электромагнитное объединение

Из достижений Максвелла физиков более всего поразило раскрытие электромагнитной природы света — древнейшего, важнейшего и общедоступного физического явления, ничем не напоминавшего электричество и магнетизм.

Первый намек увидел Фарадей, обнаружив в 1845 году, что магнитное поле влияет на свет. К тому времени уже было известно, что свет — это волны, то есть распространение колебаний, и что колебания эти поперечны: происходят поперек направления распространения. Считалось, что колеблется «светоносный эфир» — незаметная среда, похожая, однако, на твердые тела, в которых лишь и бывают поперечные колебания, а в газах и жидкостях возможны лишь продольные, как, например, звук. Из естественного света можно выделить часть, в которой колебания происходят лишь в одном направлении, — поляризованный свет. Наблюдая распространение такого света в магнитном поле, Фарадей обнаружил, что направление поляризации поворачивается, и заподозрил влияние магнитного поля на светоносный эфир.

Лишь когда Максвелл получил систему уравнений электромагнитного поля, он обнаружил, что одно из решений этих уравнений — распространение поперечных колебаний, притом со скоростью, всего на один процент отличающейся от скорости света. Максвеллу понадобилось еще несколько лет, чтобы прийти к выводу, что величина скорости, полученная из электромагнитных измерений, и величина, полученная в опытах со светом, — это два разных способа измерения одного и того же. И что свет — это частный случай электромагнитных колебаний, когда за одну секунду происходит миллион миллиардов колебаний.

Электромагнитное объяснение света было очень впечатляющим, но говорило об уже известном явлении. А предсказание электромагнитных волн самой разной частоты открывало совершенно новую область физических явлений и, главное, дало возможность проверить саму теорию, которую скептически встретили не только в Германии и Франции, где царила теория дальнего действия. Ее не принял и Уильям Томсон, самый знаменитый тогда в Британии физик, притом расположенный к Максвеллу. Одобрив промежуточную теорию Максвелла, основанную на молекулярных вихрях, Томсон в штыки встретил то, что Максвелл убрал эти вихревые леса, оставив свои уравнения без объяснения.

За проверку взялся германский физик Генрих Герц, имевший свои причины сомневаться в Максвелловой теории. Заставить электрический заряд делать миллион миллиардов колебаний в секунду и проверить, появится ли свет, было задачей невыполнимой, но проверить теорию можно было и колебаниями гораздо меньшей частоты.

Электромагнитные колебания в проводной цепи к тому времени уже исследовали экспериментально и поняли теоретически. Началось все с эффектного опыта германского физика Беренда Феддерсена, показавшего, что электрическая искра, или разряд, — это на самом деле очень быстрый колебательный процесс. Период колебаний определяется свойствами проводной цепи, как следовало из тогдашней электромагнитной, до-Максвелловой, теории, обходящейся без понятия поля.

Одно дело — колебания в проводной цепи, совсем другое — распространение колебаний без проводов из одной цепи в другую. Герц придумал, как создать сильные электромагнитные колебания и как обнаружить их с помощью так называемого осциллятора

Герца. Это петля из проводника с маленьким разрывом, в котором проскакивает искра, с периодом колебаний в миллиард раз больше световых. В 1888 году Герц экспериментально доказал существование электромагнитных волн, предсказанных Максвеллом, подтвердив их свойства, аналогичные свету.

Тогда, собственно, и началась эпоха Максвелла, десять лет спустя после смерти 48-летнего физика — величайшего физика всех времен и народов, если оценивать науку с чисто практической точки зрения. Сам Максвелл как фундаментальный теоретик, конечно, так на науку не смотрел. Но век спустя Ричард Фейнман на лекции по электромагнетизму сказал студентам:

Когда из будущего, скажем, через десять тысяч лет, будут смотреть на историю человечества, самым значительным событием в девятнадцатом веке несомненно сочтут открытие Максвеллом законов электродинамики. На фоне этого научного открытия Гражданская война в Америке в том же десятилетии поблекнет до периферийной незначительности.

Так Фейнман отозвался на столетний юбилей этих двух событий. История не знает, что было бы, победи в той войне рабовладельческие Южные штаты, но, если сравнивать роли разных научных открытий в мировой истории, первенство электродинамики Максвелла вполне вероятно.

Мощная роль техники в европейской истории Нового времени проявилась еще в «век пара», который начался в восемнадцатом столетии и длился около двухсот лет. Однако главный тогдашний инструмент прогресса — паровой двигатель — возник не из физических исследований. Физики подключились к его совершенствованию лишь много позже.

Зато следующий инструмент прогресса, давший имя «веку электричества», подсказан именно физикой. Из опытов с электрическими зарядами возникла идея передавать сигнал между пунктами, соединенными проводом. Открытие магнитного действия токов добавило возможностей инженерам-изобретателям, и в 1830-е годы были созданы несколько типов электромагнитного телеграфа. Тридцать лет спустя телеграфные линии связали развитые страны Европы и Америки, в 1870 году только в США было послано более 9 миллиардов телеграмм, а к началу двадцатого века телеграф связал практически весь мир.

Особо драматичным этапом стала прокладка трансатлантического кабеля в 1856–1866 годах. Научным руководителем этой работы был Томсон, удостоенный за свои достижения дворянского звания, а затем и титула лорда. Время прокладки подводного кабеля совпало с работой Максвелла по созданию теории электромагнитного поля. А Томсон все электромагнитные расчеты делал на основе предыдущих — частичных — законов электромагнетизма, то есть обошелся без теории Максвелла. Дело в том, что Томсон имел дело с проводными цепями и с полями, меняющимися медленно. Ему под силу была задача об электромагнитных колебаниях в замкнутой цепи, но не распространение колебаний в пространстве — электромагнитные волны. Это явление без теории Максвелла понять невозможно.

Экспериментальное подтверждение теории Максвелла в опытах Герца стало событием не только в истории науки, но и в мировой истории, о чем сам Герц не подозревал. Его можно понять. Он с трудом довел чувствительность своей экспериментальной установки до еле уловимой величины. И ему, фундаментальному физическому, трудно было разглядеть в своей

установке новый тип телеграфа, не требующего проводов, а тем более — радиопередатчик и радиоприемник.

Для этого нужны были глаза инженера-изобретателя и предпринимателя, восприимчивые к новейшим достижениям науки. Такие нашлись спустя семь лет после опытов Герца, когда Александр Попов в России и Гульельмо Маркони в Италии изобрели радиотелеграф. Оба использовали новый приемник колебаний, более чувствительный, чем был у Герца, — стеклянную трубку, наполненную металлическими опилками. Этот новый «радиоприемник», изобретенный во Франции в 1890-м, усовершенствовали в Англии в 1894 году.

Отсюда ясно, насколько стремительным и международным стало развитие науки в эпоху Максвелла, в эпоху электромагнетизма. Люди науки и техники осознавали это уже тогда, о чем говорит текст первой радиотелеграммы Попова: «ГЕНРИХ ГЕРЦ». Если бы не стремление к телеграфной краткости, Попов наверняка помянул бы и Максвелла. Ведь именно труды Максвелла, объединив электричество, магнетизм и оптику в стройное целое, предопределили глобальную связь людей в единое человечество. Электромагнитные волны сделали возможными телевидение и интернет, что увеличило потоки информации в миллионы раз. Ныне один компьютер получает и передает сведений больше, чем вся почта и телеграф во времена Попова и Маркони. И конкурентов электромагнитной связи не видно. А значит, не видно конца и эпохе электромагнетизма в мировой истории.

В истории науки эпоха Максвелла длилась всего несколько десятилетий. На смену ей пришли почти одновременно две эпохи, начатые открытиями Планка и Эйнштейна. Максвелл дал им не только исходную теорию, но и поучительный пример. Решая поставленную перед собой проблему, он ввел в физику первое после Ньютона новое фундаментальное понятие.

Глава 6

Начало квантовой эпохи

Профессор, не желавший делать открытия

Следующим после Максвелла, кто изобрел новое фундаментальное понятие, стал человек, этого не желавший и для этого малоподходящий, — 42-летний германский профессор Макс Карл Эрнст Людвиг Планк. Он вырос в семье профессора-юриста, а окончив гимназию, думал заняться античной литературой или музыкой, прежде чем избрал физику. И длинный ряд имен, и гуманитарность семейных обстоятельств предвещали скорее чинно традиционную профессорскую жизнь, чем сногшибательное открытие, требующее перестроить фундамент физики. В жизни Планка это совместилось.

В студенческие годы от физики его пытался отговорить его же профессор, сказав ему, что там почти все уже открыто, осталось заполнить лишь пару пробелов. На это Планк ответил, что и не стремится открывать новое, а хочет лучше понять уже известные основы физики. Этим он и занимался 20 лет, изучая теоретическую физику и преподавая ее студентам.

В 1894 году чинная профессорская жизнь споткнулась о проблему теплового излучения.

Проблему эту, собственно, поставил перед собой сам профессор, размышляя над практической задачей — помочь электротехнической компании разработать экономичную лампу накаливания. Практическую задачу решать надо практически, выбрав конкретный материал для нити накаливания. Но конкретных материалов очень много. Нужна какая-то руководящая идея, а еще лучше теория в соответствии с афоризмом: «Нет ничего практичней хорошей теории».

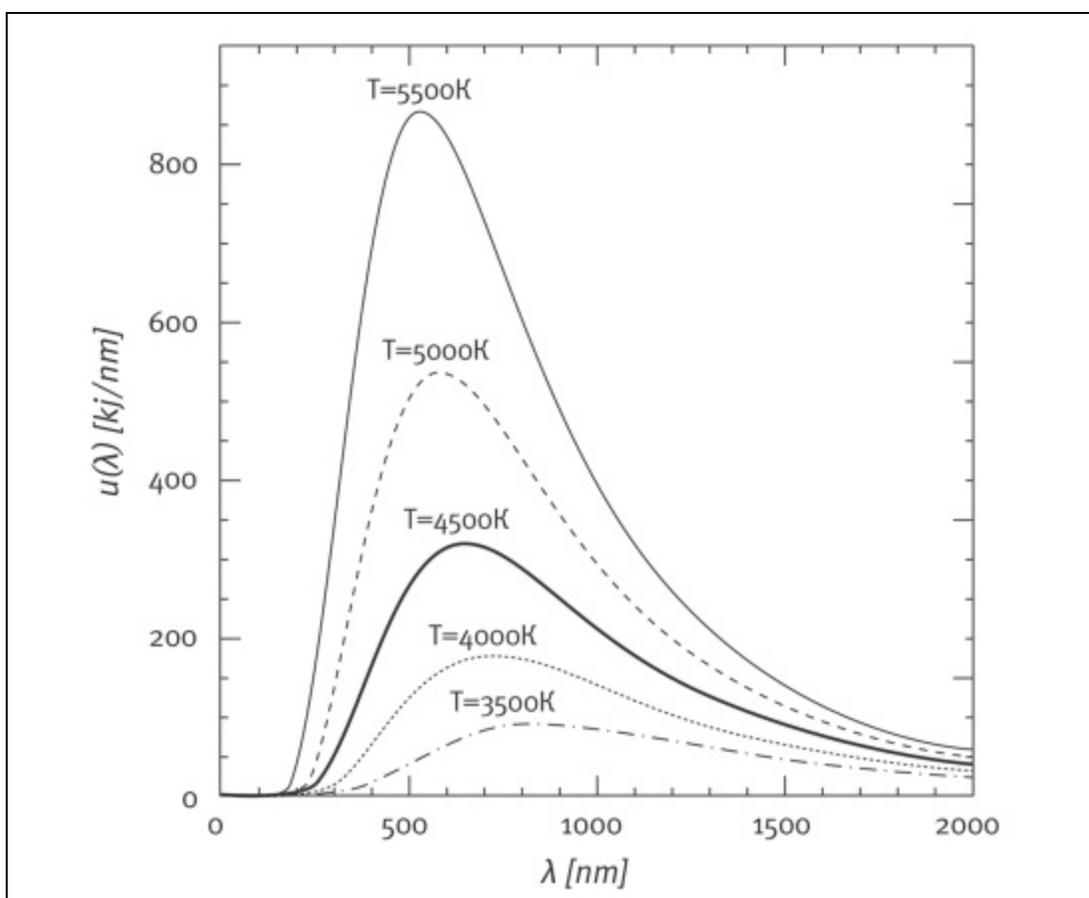
Теории тогда еще не было. Никто не понимал, что в точности происходит с веществом, когда оно от жара начинает светиться. Из наблюдений знали, что разные вещества, разогреты до одинаковой температуры, светят по-разному. На этом основан спектральный анализ, с помощью которого открыли гелий на Солнце.

Максвелл полагал, что разные вещества излучают по-разному потому, что состоят из разных атомов. Но если разные атомы излучают по-разному, то, казалось бы, и никакой общей теории быть не может?

Физики придумали, как сделать излучение зависящим лишь от температуры излучающего вещества, но не от других его свойств. Для этого надо излучение уравновесить с веществом в замкнутой емкости — в печке — с малым отверстием. Тогда излучение внутри печки выйдет наружу, наткнувшись на отверстие, лишь после долгих блужданий между стенками емкости. За время этих блужданий излучение придет в некое уравновешенное состояние.

Для физиков малое отверстие в большой емкости — отличная модель *абсолютно черного тела*. Так физики называют тело, которое поглощает все падающие на него лучи, не отражая ничего, но само может излучать. Отверстие в печке, разумеется, излучает, если печка достаточно разогрелась.

Физикам удалось доказать теоретически, что яркость такого теплового уравновешенного излучения зависит не от печки, а лишь от ее температуры. Но из теории никак не следовало, какого цвета и яркости это излучение должно быть. На помощь пришли экспериментаторы, и, согласно измерениям, яркость оказалась распределена по цветам согласно графикам такого вида (цвет описывается длиной волны или частотой колебаний ν):



Самый выдающийся пример печи, излучение которой определяется аналогичной кривой, — Солнце, если в его спектре не обращать внимание на темные фраунгоферовы линии и светлые линии протуберанцев. И те и другие линии возникают за пределами поверхности Солнца, а основное его излучение, прежде чем доберется до поверхности, успевает за время своих внутренних блужданий прийти в равновесие с веществом Солнца.

Важно, что спектр равновесного излучения — универсальная кривая, а значит, определяется какими-то универсальными — фундаментальными — законами. Но какими? Об этом и размышлял Планк, опираясь на главные достижения Максвелла и Больцмана: электромагнитную теорию света и статистическую теорию тепла. Надо было сложить две теории в одну. Но как это сделать, не зная устройство вещества, не зная, как именно излучают атомы?

Планк решил эту проблему, сделав вещество искусственно, теоретически. Ведь если спектр теплового излучения универсален, значит, он возникнет из равновесия с любым веществом. И Планк сотворил вещество — мысленно — из осцилляторов Герца, которыми тот изучал электромагнитные волны Максвелла. Каждый осциллятор — петля из проводника с маленьким разрывом. Поскольку осциллятор мысленный, можно не думать, из чего он сделан, а частота осциллятора определяется размерами петли и разрыва.

Мысленно-экспериментальная «печка» Планка с зеркальными стенками содержала внутри множество осцилляторов разных частот. Излучение уравнивалось в результате многократного взаимодействия с осцилляторами.

Поначалу Планк думал, что ему хватит одной электродинамики, что осциллятор излучает не так, как поглощает, чем и объяснится приход к равновесию. Надежду эту опроверг Больцман — в чистой электродинамике излучение и поглощение равноправны. Об этом своем заблуждении Планк рассказал в нобелевской лекции, в начале которой

процитировал Гёте: «Пока человек стремится к цели, он делает ошибки». Но поделился и собственным наблюдением: «Стремление к определенной цели, свет которой не гаснет от первых неудач, — предпосылка, хоть вовсе и не гарантия успеха». Такой целью для Планка было понять распределение яркости в спектре равновесного излучения, иначе говоря, вывести форму графика.

После неудачи электромагнитного объяснения он начал с другого конца, всматриваясь в само тепловое равновесие. Надо было понять равновесное распределение энергии между осцилляторами разных частот. Графики измерений кое-что подсказывали, но Планк искал теоретический путь к этим графикам.

Тепловое равновесие, как поняли Максвелл и Больцман, это наиболее вероятное состояние системы, наиболее вероятное распределение энергии между элементами системы. И Планк думал о наиболее вероятном распределении энергии между осцилляторами. Больцман вычислял вероятности состояний, полагая энергию разделенной на малые порции, а затем в полученной формуле уменьшая размер порции до нуля. Планк пошел тем же путем и в своих расчетах использовал вспомогательные константы a и b , вторая из которых отвечала за размер порции энергии. Пробуя разные варианты вычислений и учитывая, что осцилляторы различаются лишь частотой, он записал размер порции в виде $E = b$, собираясь в окончательной формуле устремить b к нулю. Однако полученная им формула давала график, удивительно похожий на те, какие давал опыт. Если же устремить b к нулю, то график получался неправильный и даже абсурдный — выходило, что нагретое тело излучает бесконечную энергию.

Сравнивая полученный им график с экспериментом при одном значении частоты, Планк определил саму величину b и обнаружил, что после этого график совпадает и при всех других частотах. Этим в 1900 году увенчалось его шестилетнее исследование проблемы теплового излучения.

Триумф? Увы, отягощенный сомнением.

Глубокое погружение в проблему и совпадение полученной формулы с опытом уверили Планка в том, что он открыл новую константу природы. Он изменил обозначение своей константы с вспомогательного b на сознательное h и назвал ее *квантом действия* в честь того, что h — величина той же размерности (произведение энергии на время), что и величина, называемая действием и обозначенная H в честь ее изобретателя — англичанина Hamilton'a. Уже отсюда ясно, что Планк заботился о традициях мировой науки больше, чем о своем месте в ней. За это мировая наука, приняв обозначение константы h , назвала ее *постоянной Планка*.

Именно глубокое почтение Планка к традициям науки омрачило его триумф. Способ, которым он пришел к своей формуле — к закону Планка, его совершенно не устраивал. Для разведки, для прикидки способ годился, но принять его всерьез Планк не мог. Сомнительны были мысленные осцилляторы, сделанные из неизвестно чего. И более чем сомнительна была «порционность» энергии $E = h$.

В физике до 1900 года все величины, включая энергию, могли принимать любое значение. Согласно теории Максвелла электромагнитные волны излучаются и поглощаются без каких-либо ограничений на величину энергии излучения. Откуда же странная порционность? Планк надеялся, что постоянную h можно ввести в физику каким-то иным способом и получить формулу теплового излучения без осцилляторов и порционности энергии.

Однако именно порционность оказалась самой плодотворной ролью новой физической константы — постоянной Планка. Первым это обнаружил безвестный 26-летний Альберт Эйнштейн.

В 1905 году Эйнштейн опубликовал три теории подряд — теорию фотоэффекта, теорию броуновского движения и теорию относительности.

Разговор о третьей, и самой знаменитой, отложим до следующей главы, сказав лишь, что теорию относительности уже знаменитый Планк принял сразу и включился в ее развитие, чем ускорил ее признание.

Вторая теория физически объяснила загадочное явление, открытое ботаником Броуном еще в 1827 году: он увидел через микроскоп хаотическое движение частиц цветочной пыльцы в жидкости. Эйнштейн объяснил это движение микроскопических частиц случайными толчками наноскопических молекул. Исходя из статистического понимания теплоты, он показал, как из наблюдений за малым, но видимым объектом оценить размер и массу невидимых молекул. Эти величины совпали с полученными еще во времена Максвелла (гораздо более косвенными методами), что подтвердило и реальность молекул (в чем еще сомневались некоторые видные физики), и силу статистической физики. Планк, также опиравшийся на статистическую физику, не мог не порадоваться этому.

Однако самую первую теорию Эйнштейна — теорию фотоэффекта — Планк не принял, хотя в ней замечательно сработала его же идея порционности энергии излучения.

Явление фотоэффекта открыл Герц, обнаружив, что отрицательно заряженная пластина при ее освещении разряжается — в зависимости от частоты, то есть цвета, излучения и его интенсивности, то есть яркости. Зависимость оказалась хитрой: во-первых, разной для пластин из разных материалов, а во-вторых, эффект возникал лишь при частоте, большей некоторой определенной величины.

К 1905 году уже было известно, что в состав вещества входят электроны и что при фотоэффекте именно электроны покидают пластину. По теории Эйнштейна, чтобы вырвать из данного вещества один электрон, нужна вполне определенная энергия A , а свет данной частоты поглощается веществом именно планковскими порциями $E = h\nu$. Тогда если частота света так мала, что эта порция меньше A , вырвать электрон невозможно. Яркость падающего света — это просто количество порций излучения в единицу времени. Такие порции, или кванты, света позже назвали фотонами. Из этой теории следовала вполне определенная связь между частотой падающего света, энергией вырванных фотоэлектронов и их числом. И связь эту опыты подтвердили.

Что же не нравилось Планку? Ему не нравилось, что гипотеза о порционном — квантовом — строении света не укладывалась в великолепную теорию электромагнитного поля Максвелла. Ему не нравилась и собственная гипотеза о том, что осциллятор излучает свет порциями, но там можно было думать, что речь идет о каких-то свойствах вещества, а гипотеза Эйнштейна означала, что само излучение — после свободного перелета в пространстве — сохраняет порционное строение и, вероятно, даже путешествует в виде порций. Ничего такого не было в теории Максвелла.

Прекрасно все это понимая, Эйнштейн назвал свою статью «Об одной эвристической точке зрения, касающейся возникновения и превращения света». К электродинамике Максвелла он относился с не меньшим уважением, чем Планк. Но считал, что планковское объяснение теплового излучения говорит о плодотворности квантовой гипотезы. А лучший способ проверить новую гипотезу — применить ее для понимания других физических

явлений, не дожидаясь, пока гипотеза превратится в стройную теорию.

Планк надеялся, что подлинная теория должна обойтись без участия грубо-противоречивой порционности света. А Эйнштейн полагал, что будущая теория осмыслит и обоснует саму эту порционность, или, по-научному, дискретность. Оба не ожидали, что до построения общей теории появится еще одно мощное подкрепление квантовой дискретности и одновременно решение загадки спектров, о которой говорил еще Максвелл:

Атом — не жесткий объект. Он способен к внутренним движениям, и, когда эти движения возбуждены, испускает излучение с длинами волн, соответствующими периодам его колебаний.

Какие движения? Как возбуждены? И чем определяются длины волн?

На эти вопросы ответил Нильс Бор в 1913 году, на 13-м году квантовой эпохи и на втором году ядерной истории.

Атом, который понял Бор

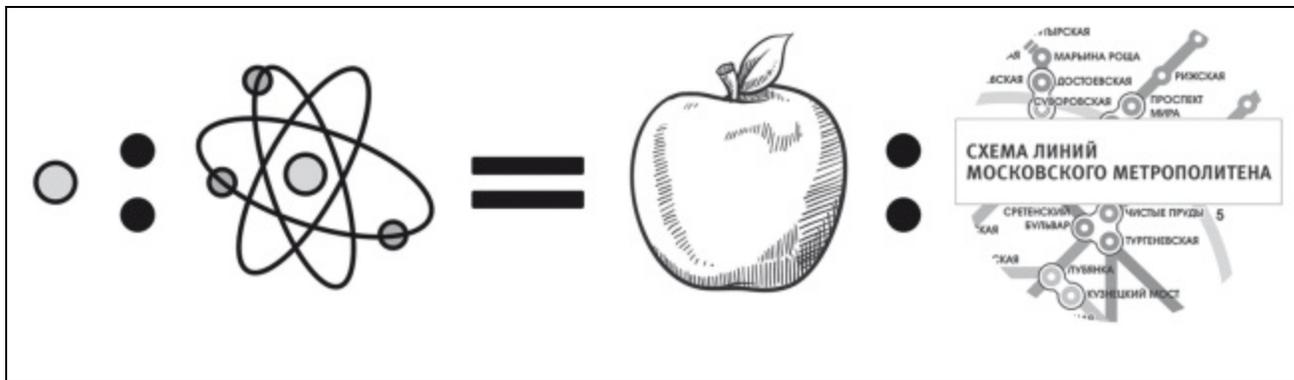
Впрочем, ядерную историю можно начинать и с 1896 года, когда счастливый случай помог открыть радиоактивность урана. А чтобы понять, как интересно было тогда физикам, напомню, что само слово «радиоактивность» появилось лишь два года спустя, после открытия нового элемента — радия, который подобно урану испускал невидимое, но пронизывающее излучение, притом гораздо более сильное. В 1911 году, однако, появилось выражение «ядро атома».

В своем главном открытии Бор опирался на результат головокружительной серии экспериментов, проникших в устройство атома. Эти эксперименты заняли 15 лет. Чтобы уложить их в 15 минут, начать надо с того, что невидимое проникающее излучение урана в 1896 году не было такой уж сенсацией, поскольку за год до того Рентген уже открыл свои лучи — тоже невидимые для глаз, но проникающие через картон, дерево и некоторые другие непрозрачные вещества. Сенсацией для физиков было то, что эти два типа излучения явно различались между собой и были не похожи на два других невидимых излучения, известных уже целый век, — инфракрасное и ультрафиолетовое. Те были открыты при внимательном изучении полосы спектра перед ее красным краем и за фиолетовым. Глаза там ничего не видели, но действие невидимых лучей удалось зафиксировать. Излучение урана, как и рентгеновские лучи, обнаружили случайно. Первооткрыватели, однако, вполне заслужили свои удачи, обратив серьезное внимание на странные явления в своих лабораториях.

В радиоактивном излучении экспериментаторы выявили три типа лучей, назвали их первыми буквами греческого алфавита и выяснили, что альфа-лучи — это поток положительно заряженных тяжелых частиц, бета-лучи — электроны, а гамма-лучи, как и рентгеновские, оказались электромагнитными волнами очень малой длины волны.

Эти лучи-частицы, несмотря на непонятность их происхождения, стали инструментами исследования в физике микромира. Главной фигурой в этих исследованиях стал Эрнест Резерфорд, который с помощью альфа-частиц узнал, как устроен атом, — устроен в основном... из пустоты. Пропуская альфа-частицы через тонкую металлическую пленку, он обнаружил, что почти все они проходили через пленку как будто через пустоту, мало меняя направление движения, но немногие — одна из десяти тысяч — отскакивали назад, как мячики от твердой стенки. Отсюда Резерфорд сделал прямолинейно-невероятный вывод: почти вся масса атома и положительный заряд сосредоточены в очень малом объекте, который Резерфорд назвал *ядром*.

Исходя из этих опытов и предполагая, что альфа-частица взаимодействует с ядром, подчиняясь законам Ньютона и Кулона, Резерфорд вычислил, что ядро меньше атома в сотню тысяч раз. Тогда уже было известно, что в состав атома входят электроны, но электрон примерно в восемь тысяч раз легче альфа-частицы, и, сталкиваясь с ним, альфа-частица меняет свое движение очень мало.



Суммируя все это, Резерфорд в 1911 году предложил так называемую *планетарную модель атома*, согласно которой электроны вращаются вокруг ядра под действием электрической силы, подобно планетам вокруг Солнца под действием гравитации.

Модель была заведомо неправильной. Согласно электродинамике Максвелла, электрический заряд, вращаясь, непременно излучает электромагнитные волны, и если применить формулы, проверенные Герцем и подтвержденные всей радиотехникой, то окажется, что электрон излучит всю свою энергию и упадет на ядро за малую долю секунды. Не доверять «старым» законам в атомных масштабах? Но ведь размер ядра Резерфорд определил, полагаясь именно на эти законы!

Такая головоломка стояла перед физиками. Не первая головоломка квантовой эпохи. Решения предыдущих — Планком и Эйнштейном — не проясняли горизонт, но двигали к нему, решая конкретные задачи и давая новые инструменты познания.

Головоломку атома решил 27-летний датский теоретик Нильс Бор, попавший в лабораторию к Резерфорду в 1912 году, вскоре после появления планетарной модели атома.

Счастливой идеей Бора было связать устройство атома с главным внешним проявлением «внутренних движений атома», о которых говорил Максвелл, — со спектрами излучения и поглощения. Спектры изучали уже почти век. Многие сотни высокоточных измерений, записанных в таблицах, что-то говорили об устройстве атомов, но не известно, на каком языке. Бор был не первым, кто всматривался в колонки цифр — спектральных частот — в надежде уловить какую-то закономерность. Единственный успех достался школьному учителю математики Бальмеру, который еще в 1885-м подобрал формулу, дающую положение некоторых спектральных линий водорода:

$$\nu = A(1/2^2 - 1/n^2), \text{ где } A \text{ — некоторая константа, } n = 3, 4, 5, \dots$$

Почему именно такая формула и что делать с остальными линиями, было неизвестно еще четверть века, пока эту формулу не увидел Бор. Смотрел он вооруженным глазом — вооруженным квантовыми идеями Планка и Эйнштейна. И увидел, что если умножить эмпирическую формулу Бальмера на постоянную Планка h , то получится, что квант энергии излучения частоты равен разнице каких-то двух энергий

$$h\nu = hA/2^2 - hA/n^2.$$

За этим последовал очередной — в истории фундаментальной физики — взлет теоретического разума, и Бор изобрел два постулата, управляющие «внутренними

движениями атома»:

1. Электрон в атоме может двигаться со скоростью V лишь по круговым орбитам с радиусом r , когда $mVr = n\hbar$, n — любое целое число, m — масса электрона; при этом скорость V и энергия E электрона на данной орбите определяются старыми законами механики и номером орбиты n .

2. При перескоке электрона с орбиты на орбиту излучается или поглощается квант электромагнитной энергии $h\nu = E_n - E_k$. При перескоке на нижний уровень энергия излучается, при перескоке на верхний — поглощается.

Боровская модель атома дала ключ к пониманию спектров и других атомных свойств и стала шагом к созданию общей квантовой теории, способной объяснить атомы более сложные, чем водород, и свойства более сложные, чем спектры.

Оценить изобретение Бора по-настоящему могли лишь те его современники, что усиленно пытались понять явления атомного масштаба, как, например, Эйнштейн, вспоминая тридцать лет спустя:

Все мои попытки изменить теоретический фундамент физики с учетом результатов Планка полностью провалились. Слово земля ушла из-под ног, и не было твердой почвы, на которой можно строить. Чудом казалось, что этой шаткой и противоречивой основы хватило Бору, с его уникальной интуицией, чтобы найти главные законы спектральных линий... Это мне кажется чудом и сейчас. Это наивысшая музыкальность мысли.

А Планк в своей лекции при получении Нобелевской премии, назвав атомную теорию Бора главной поддержкой «квантовой гипотезы», подчеркнул, что «подлинной квантовой теории все еще нет», и предсказал, что «путь, который предстоит проложить исследователю, не меньше пути от открытия Ремером скорости света до создания теории света Максвеллом».

Драма квантовых идей

От измерения скорости света до открытия его физической природы прошло два столетия. И лишь десяток лет отделял приведенные слова Планка от создания квантовой механики — первой квантовой теории, нацеленной не на какое-то одно явление или объект. Планк, Эйнштейн и Бор получили свои нобелевские награды в 1919–1922 годах за объяснения отдельных явлений — в формулировках Нобелевского комитета, Планк — «за открытие квантов энергии», Эйнштейн — «за объяснение фотоэффекта», Бор — «за исследование строения атомов и их излучения». А создатели квантовой механики — Гейзенберг, Шредингер и Дирак — получили Нобелевские премии в 1933 году.

Однако, если мерить путь не годами, а поворотами — числом поворотных идей и, значит, уровнем драматизма, прогноз Планка оправдался. Драматизм проявился уже в самих нобелевских формулировках.

Вопреки Нобелевскому комитету, Планк считал, что его главное открытие — не кванты энергии, а *квант действия*, то есть константа h . Именно выражение «квант действия» он в основном использовал в своей нобелевской лекции, а «кванты энергии», с которыми он так и не примирился, числил за Эйнштейном. Похоже, Планк надеялся, что в «подлинной квантовой теории» ключевым станет обновленное понятие действия, как-то обобщенное константой h , и тогда можно будет забыть противоречивое — промежуточное — представление о квантах электромагнитной энергии, или квантах света.

Полная формулировка Нобелевской премии Эйнштейна звучала так: «За заслуги перед теоретической физикой и особенно за объяснение закона фотоэффекта». Прямо не упомянуты ни знаменитая теория относительности, опубликованная в том же 1905 году, что и объяснение фотоэффекта, ни теория гравитации, опубликованная за шесть лет до его Нобелевской премии. При том, что Планк в своей нобелевской лекции упомянул обе как великие достижения.

Членам Нобелевского комитета можно посочувствовать. Эти несколько шведских физиков вершили суд истории, можно сказать, в военно-полевых условиях. Они опирались на мнения видных физиков мира, но решать-то приходилось самим шведам, что особенно трудно, когда мнения мировых светил расходятся. Послушаем председателя Нобелевского комитета по физике С. Аррениуса:

Нет, вероятно, современного физика известнее Альберта Эйнштейна. Более всего обсуждается его теория относительности. Она касается в основном эпистемологии и была поэтому предметом оживленных дебатов в философских кругах. Не секрет, что знаменитый философ Бергсон подверг эту теорию сомнению, тогда как другие философы горячо ее приветствовали. Теория эта имеет также астрофизические следствия, которые тщательно проверяются в настоящее время.

Примерно столько же слов Аррениус уделил эйнштейновской работе о броуновском движении, в которой видел не столько окончательное подтверждение атомизма, сколько начало коллоидной химии. А основную часть своей речи он посвятил закону фотоэффекта, к тому времени надежно подтвержденному. И в идее световых квантов увидел не столько новый шаг за пределы существующей фундаментальной физики, сколько основу для

количественной фотохимии.

Надо учесть, что 63-летний Аррениус, Нобелевский лауреат по химии 1903 года, был далек от фундаментальной физики. Настолько далек, что не отличал ее от философии, а теорию относительности 1905 года от теории гравитации 1916-го.

Философы могут обсуждать все что хотят, но теория относительности к 1922 году уже работала в физике. Об этом, в частности, рассказал в своей нобелевской лекции Бор. Электроны в атоме движутся со скоростью, близкой к скорости света, и в их движении проявляется теория относительности. В результате удалось описать так называемую тонкую структуру спектров и подтвердить ее на опыте.

Как отреагировал автор теории относительности на речь Аррениуса? Он ее не слышал. О своей награде Эйнштейн узнал в Японии, где читал лекции, а принял награду от его имени посол Германии.

Свою нобелевскую лекцию «Фундаментальные идеи и проблемы теории относительности» Эйнштейн прочел полгода спустя. В ней вовсе не упомянуты кванты света или кванты энергии, а эпитет «квантовая» идет лишь вместе со словом «проблема». Он не усомнился в своей старой идее «частиц света», которые несколько лет спустя назовут фотонами. Но он — так же, как другие фундаментальные физики, — понимал, что эта эвристическая идея, плодотворно объясняя некоторые явления, сама указывает на фундаментальную проблему — необходимость построения общей квантовой теории.

Путь к этой теории разные физики видели по-разному. Эйнштейн в 1923 году считал, что этот путь следует прокладывать через его теорию гравитации. И выбрал направление пути — объединенное описание гравитации и электричества, надеясь, что такая теория объяснит и элементарные заряды, и кванты.

Бор эту надежду не разделял, но вполне разделял взгляд Эйнштейна на квантовую проблему как самую глубокую в тогдашней физике. А гвоздь проблемы он видел в гипотезе Эйнштейна о световых квантах, которая, «несмотря на ее эвристическую ценность, несовместима с явлениями интерференции и неспособна прояснить природу излучения».

За решение квантовой проблемы Бор готов был заплатить высокую цену. В нобелевской речи он еще об этом не сказал, но к тому времени уже закончил статью, в которой предложил обойтись без понятия фотонов, предполагая соблюдение законов сохранения лишь «в среднем». Он видел пропасть между квантовым дискретным и классическим непрерывным описаниями и, чтобы построить мост теории через эту пропасть, даже нарушение закона сохранения считал не слишком большой ценой. По опыту создания теории атома он знал, что иногда достигнуть цель нельзя, двигаясь только малыми шагами.

Фундаментальным физикам-теоретикам — таким как Планк, Эйнштейн и Бор — труднее было, чем химику Аррениусу, мириться с отсутствием целостной квантовой теории. И вовсе не удивительно, что в 1922 году все три великих основоположника квантовой физики ошибались, предсказывая путь ее развития. Хотя науке присуща способность предсказывать исход опыта, истории науки столь же присуща непредсказуемость. Гравитация ничем не помогла квантовой теории, а идея квантов света, или фотонов, осталась ключевой навсегда или по меньшей мере на столетие, до наших дней. Непредсказуемой была идея, к которой год спустя пришел Луи де Бройль, заподозрив волновые свойства у электрона, самой что ни на есть, как тогда считалось, частицы. Волновые свойства оказались присущи любой частице: длина волны де Бройля равна h/mV , где m — масса частицы, V — ее скорость, h — *постоянная Планка*.

Два края пропасти между понятиями квантовой частицы и волнового поля оказались двумя коренными свойствами физической реальности. И надо было не строить мост через пропасть, а научиться летать мыслью над пропастью так, чтобы видеть оба ее края и уметь приземляться по обеим сторонам. Такой летательный аппарат дала квантовая механика, созданная во второй половине 1920-х годов трудами прежде всего физиков молодого поколения и сразу показавшая свою плодотворность.

Теорию эту основоположники восприняли по-разному.

Планк, которому уже было под семьдесят, — с грустью. Вместо того чтобы прояснить его же парадоксальные идеи, квантовая механика добавила новые. Тихо страдая, он сформулировал грустный закон истории:

Новые идеи входят в науку не потому, что их противники признают свою неправоту; просто противники эти постепенно вымирают, а подрастающее поколение усваивает новые понятия с самого начала.

Представители «вымирающего поколения», такие как Планк, молча переживают внутреннюю драму, мучаясь тем, что их научные идеалы обнаружили свою ограниченность. Другие, критически анализируя новую физику, проясняют ее. Так вел себя Эйнштейн. Он понимал, что квантовая механика успешно работает, но считал ее лишь промежуточным этапом, отказываясь признать ее полной теорией. При этом главное неприятие вызывала идея, которую он сам, по существу, впервые ввел в физику, — фундаментальная роль вероятности.

Новая вероятность принципиально отличалась от той, которую Максвелл положил в основу статистической физики, а Эйнштейн применил в задаче броуновского движения. Там речь шла об учете огромного числа факторов — например, толчков множества молекул. В подобных задачах нет практической возможности, да и надобности, следить за деталями движений всех молекул. Однако теоретически можно было думать, что каждая молекула движется неким определенным образом под воздействием толчков других молекул и соударений о стенки сосуда. Начиная с открытия радиоактивности, так думать уже не получалось. Радиоактивное ядро распадалось с некоторой вполне определенной вероятностью, казалось, независимо от окружения, и это не было результатом множества каких-то случайностей.

Устройство ядра, впрочем, еще долго оставалось непроницаемым, но уже поведение атомных электронов намекало на какую-то новую вероятность — вероятность перескока электрона с одной орбиты на другую. Ведь электрон мог перескочить с высокой орбиты на любую из нижних. Каждому перескоку соответствовала своя частота излучения, то есть положение спектральной линии, и это положение давалось моделью Бора. Но спектральная линия характеризуется еще и яркостью, которая как-то соответствует «охотности» данного перескока. Именно яркостью Эйнштейн занимался в 1916 году, когда ввел два типа излучения — спонтанное и вынужденное. Спонтанный перескок происходит сам собой, независимо ни от чего, и определяется некой величиной вероятности. А вынужденный перескок происходит под воздействием излучения той же частоты и пропорционален его интенсивности. Эйнштейн получил связь между интенсивностями этих излучений, начав фактически путь к теории лазеров, но для нас сейчас — и для создания квантовой теории в 1920-е годы — особенно важно само понятие спонтанного излучения, характеризуемого некой «первичной», фундаментальной вероятностью, а не результатом множества каких-то нано-микро-случайностей.

Такая вероятность стала ключевой особенностью квантовой механики и... неприемлемым понятием для самого Эйнштейна, как и для Планка. Они не верили, что подлинная теория может основываться на понятии вероятности. Почему, сказать трудно. Планковский закон истории науки дает ответ, но применять его к Планку и Эйнштейну, выдвинувшим прорывные квантовые идеи, особенно трудно.

Эйнштейн 20-х годов сильно отличался от Эйнштейна 1916 года. Избрав направлением поиска обобщение своей теории гравитации, он не видел там места для вероятности. А объясняя свою позицию, говорил об идеале причинности, который, по его мнению, должен был воплотиться в «полной» теории. Своему близкому другу он писал в 1926 году:

Квантовая механика внушает большое уважение. Но внутренний голос говорит мне, что все же это НЕ ТО... Эта теория многое дает, но к тайне Создателя она едва ли нас приближает. Во всяком случае, я убежден, что Он не играет в кости.

Такие доводы не убеждали Бора, который всей душой принял вероятностную основу квантовой механики и принял участие в ее осмыслении. Он признавал значение критики Эйнштейна для прояснения фундаментальных особенностей квантовой механики, но считал эти особенности необратимым изменением фундамента физики. А на довод Эйнштейна о

Боге, не играющим в азартные игры, отвечал, что «уже мыслители древности указывали на необходимость величайшей осторожности в присвоении Провидению свойств, выраженных на языке повседневной жизни».

Это не только остроумный ответ в тон Эйнштейну, а еще и напоминание о том, что явления классической физики гораздо ближе к повседневной жизни, чем явления атомных масштабов. Соответственно, понятия и научные идеалы квантовой физики могут кардинально отличаться от привычных. Тут стоит вспомнить слова Галилея о Природе, которая «вовсе не заботится о том, доступны ли человеческому восприятию ее скрытые причины и способы действия», и о Боге, который «наделил нас органами чувств, языком и разумом, чтобы с их помощью мы сами могли получить знания об устройстве Природы».

Освоение нового языка требует усилий. В квантовой физике нужно было выработать новый язык для мира квантовых явлений и говорить на нескольких языках сразу. Когда речь шла о зримо-осязаемых рукотворных приборах, нужен был язык классической физики. А говорить о квантовых явлениях, измеряемых этими приборами, нужно было на новом — квантовом — языке. И это было нелегко даже тем, кто этот новый язык изобретал.

Когда некий физик посетовал, что при одной мысли о квантовых проблемах у него кружится голова, Бор ответил: «Если кто-то думает о проблемах квантовой теории без головокружения, значит, он ничего в них не понимает». К трудностям двуязычия, впрочем, добавлялось головокружение от успехов теории.

Главным средством от головокружения было понимание, что квантовая механика — это еще не подлинная теория. Не потому, что она не соответствовала вкусам, или, скажем прямо, предрассудкам Эйнштейна, а потому, что квантовая механика не учитывала одно из главных его достижений — теорию относительности, которой было уже двадцать лет от роду. Создатели квантовой механики принимали теорию относительности как несомненную истину. Еще в модели атома Бора удалось, применив теорию относительности, объяснить тонкости спектра, но квантовая механика делала вид, что никакой теории относительности нет. Физика жила в двух эпохах параллельно — в квантовой и в релятивистской. Квантовая физика развивалась на основе константы Планка h , а релятивистская — на основе скорости света c , которая тоже оказалась фундаментальной константой.

Глава 7

Пространство-время Эйнштейна

Объясняя смысл поворотной научной работы, трудно взять из нее больше, чем отдельные фразы, — такие тексты пишутся для профессионалов. Однако начало статьи Эйнштейна «К электродинамике движущихся тел» вполне доступно:

Известно, что электродинамика Максвелла в применении к движущимся телам приводит к асимметрии, не свойственной самим явлениям. Например, взаимодействие магнита и проводника с током зависит лишь от их относительного движения, однако случаи, когда движется тот либо другой, описываются совсем по-разному. Если движется магнит, а проводник покоится, то вокруг магнита возникает электрическое поле, которое порождает ток в проводнике. Если же магнит покоится, а движется проводник, то никакого электрического поля вокруг магнита не возникает; зато в проводнике возникает электродвижущая сила, вызывающая точно такой же ток, как и в первом случае.

Примеры подобного рода, как и неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно «светоносной среды», побуждают предположить, что не только в механике, но и в электродинамике нет оснований для понятия абсолютного покоя и что для всех систем отсчета, для которых справедливы законы механики, справедливы также и законы электродинамики. К этому предположению, называемому далее «принципом относительности», добавим принцип, который лишь кажется противоречащим первому: свет в пустоте движется всегда с определенной скоростью, не зависящей от движения источника света. Этих двух принципов достаточно, чтобы на основе теории Максвелла для покоящихся тел построить простую и свободную от противоречий электродинамику движущихся тел. При этом понятие «светоносного эфира» окажется лишним.

Намерение Эйнштейна выглядит скромно — поправить формулировку теории Максвелла, не меняя ее основ. Однако, чтобы решить эту задачу, автору пришлось изменить основу всей физики — представления о пространстве и времени. Так в 1905 году родилась самая знаменитая, пожалуй, физическая теория — теория относительности.

За пять лет до того Эйнштейн закончил Политехникум в Цюрихе с дипломом учителя физики и математики. Более года он не мог найти постоянную работу, давал частные уроки, прежде чем его приняли в Патентное бюро техническим экспертом третьего класса, и то лишь после долгого испытательного срока. Через пару лет его класс повысили до второго, но не потому, что в свободное от службы время он получил несколько первоклассных научных результатов. А после семи лет работы в Патентном бюро он очень удивил своего начальника, сообщив, что приглашен читать лекции в университете.

Начальник наверняка удивился еще больше, узнав о взгляде его подчиненного на скорость света. Помню собственное изумление, которое пережил в седьмом классе, услышав, что, согласно Эйнштейну, никакой предмет не может двигаться со скоростью, большей скорости света c . Тогда я уже запросто решал задачки, в которых с некоторой скоростью V двигался поезд, а по его крыше бежал лихой пассажир со скоростью U в том же или противоположном направлении. Скорости надо было сложить или вычесть — и...

пятерка обеспечена. Поезд и пассажира я заменил на ракеты — большую и малую. Предположил, что обе ракеты могут двигаться со скоростью $V = 2/3 c$, чего Эйнштейн не запретил. Запустил большую ракету, а потом с ее борта — малую. Спрашивается, какова итоговая скорость малой ракеты? Ответ:

$$2/3 c + 2/3 c = 4/3 c,$$

что больше скорости света.

Где же тут ошибка? Этот вопрос я задал учительнице и... понял, что она не знает! Не помню, что она мне сказала, но помню, как в библиотеке липецкого Дома офицеров прошел мимо привычных полок с приключениями и фантастикой и подошел к полкам с научно-популярными книгами и журналами. Ответ на свой вопрос тогда я не нашел, но обнаружил, что фантастические приключения Майн Рида и Жюль Верна как-то вдруг поблекли рядом с настоящими приключениями тех, кто исследует устройство мира. Следы того давнего открытия сохранились у меня в виде выписок из журнала «Знание — Сила»: что такое альфа-частица, что происходит в атоме и даже таблица элементарных частиц. Но о скорости света в этих выписках нет ничего...

Как бы я теперь объяснил себе 14-летнему, почему $2/3 + 2/3$ может быть не равно $4/3$?

Начал бы я с того, что отношения между числами и физическими величинами не так уж просты. Соединив два равных объема воды с одинаковой температурой 20° , не получишь воду с температурой 40° , а соединив две капли равного радиуса, не получишь каплю удвоенного радиуса.

Поэтому, говоря о скоростях моих ракет, я прежде всего заменил бы арифметический символ сложения на условный [в квадратных скобках]:

$$V [+] U = ?$$

пояснив, что мы не числа складываем, а выясняем связь между тремя измеренными величинами: скорость большой ракеты, измеренная земным физиком, скорость бортовой ракеты, измеренная физиком на большой ракете, и скорость бортовой ракеты, измеренная земным физиком.

Итак, большая ракета летит со скоростью $V = 2/3 c$, то есть за одну секунду пролетает примерно 200 000 километров, и это измеряет физик на Земле. А физик на борту докладывает на Землю, что, согласно его измерениям, малая ракета, запущенная с борта большой, также летит со скоростью $U = 2/3 c$. В этих двух измерениях сомневаться нечего. Вопрос в том, какой будет скорость малой ракеты, измеренная физиком на Земле. Это вопрос не математический, а физический, вопрос к Природе, и правильный ответ может дать лишь измерение, то есть эксперимент. Заранее вовсе не известно, сколько времени — по часам земного физика — пройдет между двумя событиями, если по часам физика на ракете пройдет, скажем, 30 секунд. Два события — это, например, совпадения секундной стрелки ракетных часов с девяткой, а затем с тройкой. Читатель может сам придумать конкретный способ такого измерения.

Но прежде стоит задать вопрос попроще, безо всяких ракет. Как узнать, какое из двух

событий произошло раньше — скажем, какая из двух ламп зажглась раньше, красная или синяя? Если лампы стоят поблизости от наблюдателя и вспышки разделяет порядочный интервал времени, то в вопросе подвоха не заметно. Если же лампы разнести на многие километры, нетрудно сообразить, что надо как-то учитывать и время, которое потребуется свету на путь от каждой из ламп до наблюдателя. Чтобы сделать лампы равноправными, наблюдателю надо, конечно, расположиться ровно посередине между ними.

Итак, чтобы ответить на вопрос КОГДА, нам понадобилось знать ГДЕ — где расположен наблюдатель. Во времена Ньютона можно было надеяться, что, используя сигналы, движущиеся гораздо быстрее света (а лучше всего — бесконечно быстро), можно ответить на вопрос КОГДА и сам по себе. Но до сих пор науке не известно о сигналах, летящих быстрее света. Поэтому, чтобы остаться в пределах экспериментально возможного, будем опираться на самые быстрые из известных сигналов — световые.

Возвращаясь к нашим ракетам, придумать надо, как физик на Земле узнает о событии, КОГДА стрелка часов на летящей ракете укажет на определенную цифру, а для этого надо узнать, ГДЕ тогда находились часы, и сигнал об этом получить как можно быстрее, чтобы его запаздывание мало повлияло на результат измерения.

С другой стороны, измеряя длину стержня, движущегося вдоль покоящейся линейки, положения начала и конца стержня в ПРОСТРАНСТВЕ надо засечь в один и тот же момент ВРЕМЕНИ. Стало быть, надо уметь установить одновременность событий, для чего надо синхронизовать часы, размещенные в разных точках пространства. Уже известный нам способ синхронизации — встать наблюдателю ровно посередине между хронометрами, подающими сигнал, скажем, в полдень, когда минутная стрелка совпадает с часовой. Если сигналы достигнут наблюдателя в один и тот же момент, значит, часы синхронны. Нетрудно понять, что если второй наблюдатель движется относительно первого вдоль линии, соединяющей часы, то, пока сигнал путешествует, наблюдатель сместится из своего срединного положения, и одному из сигналов придется пройти более длинный путь. Так что, оказывается, само понятие одновременности зависит от наблюдателя. Это и заявил Эйнштейн: «Не следует придавать абсолютного значения понятию одновременности». Два события, одновременные для одного наблюдателя, уже не воспримутся одновременными наблюдателем, движущимся относительно первого.

Таким образом, измерения в ПРОСТРАНСТВЕ оказались связаны с измерениями ВРЕМЕНИ, а ответ на вопрос КОГДА связан с ответом на вопрос ГДЕ и, главное, связан со скоростью сигнала.

Скептик-оптимист имеет право уточнить, что сигналы, летящие быстрее света в пустоте, лишь *пока* не известны. Но кое-что важное и удивительное было известно уже во времена Эйнштейна. Упомянутые им «неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно „светоносной среды“» подразумевали опыты, из которых следовало, что

$$c [+] U \approx c,$$

где c — скорость света, а U — скорость Земли в ее движении вокруг Солнца. Эта скорость — примерно 30 км/сек — огромна по обыденным меркам, в сто раз больше скорости звука. Но в десять тысяч раз меньше скорости света.

Экспериментаторы смотрели на это приблизительное равенство как на вызов их искусству измерять малые величины на фоне очень больших и думали о том, не увлекает ли

движущаяся Земля за собой «светоносную среду».

Эйнштейн посмотрел иначе, предположив, что это не приближительное, а точное равенство, справедливое при *любой* величине U :

$$c [+] U = c$$

то есть превратил удивительное приближительное равенство в общий точный физический принцип, что и отмечено почетной рамкой. Это принципиальное равенство достаточно (для физика-теоретика), чтобы получить так называемый релятивистский закон сложения скоростей:

$$V [+] U = (V + U) / (1 + VU/c^2),$$

который можно назвать c -законом сложения скоростей, учитывая роль фундаментальной константы c , которую Эйнштейн распознал в скорости света. Свет как таковой в этом законе не участвует. А скорость чего-либо может стать фундаментальной величиной, только если эта скорость ни от чего не зависит, а от нее зависят важные вещи. В данном случае от нее зависит результат сложения любых скоростей.

Нетрудно проверить, что если одна из скоростей $V = c$, то общий c -закон превратится в исходное равенство в почетной рамке. А если и V , и U гораздо меньше скорости света c , то превратится в обычное школьное понимание $V [+] U \approx V + U$.

Вернусь теперь к себе-семикласснику. Если V и U — это скорости моих ракет, каждая по $2/3 c$, то итоговая скорость бортовой ракеты, измеренная земным физиком, согласно c -закону,

$$2/3 c [+] 2/3 c = 12/13 c,$$

то есть меньше скорости света, хоть и близка к ней.

С помощью того же взятого в рамку принципа Эйнштейн получил, что время между двумя событиями, измеренное по часам ракеты, короче времени, измеренного по земным часам. Укоротится и длина движущейся ракеты, измеренная земным наблюдателем. Отношение величин в обоих случаях равно $(1 - V^2/c^2)^{1/2}$.

Насколько важен этот эффект практически? Огромная по земным меркам скорость Земли дает эффект лишь порядка одной стомиллионной. Скорость электронов в атоме дает эффект порядка одной десятитысячной, вполне измеримый в спектрах, но... стоило ли ради таких малостей отказываться от обычного привычного понятия одновременности? Стоит ли игра свеч?

Стоит. Во-первых, фундаментальная физика ищет не практические эффекты, а знания об устройстве мироздания. А во-вторых, такие знания, как показала история, нечаянно и негаданно приводят к практически мощным эффектам. Так было и с теорией относительности.

Из ключевого принципа $c [+] U = c$ Эйнштейн получил самую знаменитую формулу в истории науки $E = mc^2$, известную даже тем, кто не знает, что обозначают буквы E , m и c . В

этой формуле на огромную величину c^2 уже не делят, а умножают. Поэтому малая масса m соответствует огромной энергии E , что объясняет и мощный источник энергии Солнца, и неземной масштаб ядерной энергии. Поэтому важнейшие вопросы астрофизики требуют учитывать теорию относительности.

Принцип относительности и поиск абсолютного

Все в мире относительно — гласит самое краткое изложение теории относительности. И самое неправильное. Ведь Эйнштейн положил в основу теории два абсолютных принципа — принцип относительности и принцип постоянства скорости света в пустоте. А их конкретные точные следствия, подтвержденные на опыте, доказали, что принципы эти действительно лежат в фундаменте мироздания.

Путь к теории относительности начал Галилей, открывший, что движение со скоростью, постоянной по величине и направлению, неотличимо от покоя. Свое открытие он предлагал проверить каждому:

Закройтесь в каюте корабля, взяв с собой мух, аквариум с рыбками и сосуд, вода из которого падает каплями в нижний сосуд с узким горлом. Пока корабль неподвижен, наблюдайте внимательно, как мухи и рыбки движутся одинаково во всех направлениях, капли попадают в нижний сосуд и предмет, брошенный с тем же усилием, упадет на том же расстоянии независимо от направления. Затем дайте кораблю двигаться с какой угодно скоростью, но равномерно, и вы не заметите никакой разницы во всех этих явлениях и не сможете, по ним судя, узнать, движется корабль или покоится.

Из этого открытия Галилея вырос первый закон механики Ньютона, или закон инерции.

Хотя Галилей не говорил об электрических и магнитных опытах, до Максвелла легко было думать, что и в таких опытах покой неотличим от равномерного движения. Максвелл выяснил, что свет — это электромагнитные колебания, а скорость света ввел в уравнения электромагнетизма. Если скорость света подобна скорости звука или скорости камня, то она *должна* зависеть от обстоятельств. Скорость звука, например, определенно зависела от свойств «звуконосной» среды — воздуха, например, или воды, но в уравнениях Максвелла не участвовали никакие свойства «светоносной» среды — эфира. А зачем нужен эфир, если никакие его свойства не важны? Так что в теории Максвелла были асимметрии и помимо той, с которой Эйнштейн начал свою статью о теории относительности.

Все асимметрии ушли, когда Эйнштейн возвысил «каютный» закон механики до всефизического принципа, а скорость света объявил бесподобной — неизменной, не зависящей ни от чего, и, в частности, от эфира. А значит, сам эфир излишен — с его обязанностями вполне справится пустота. И, значит, в уравнениях Максвелла скорость света — настоящая физическая константа.

Эйнштейн исправил электродинамику, не меняя этих уравнений. Но всякое движение под действием электромагнетизма происходит во времени и пространстве, а эти понятия он изменил радикально, совместив принцип относительности с неизменной скоростью света.

Первым, кто принял теорию Эйнштейна и включился в ее развитие, стал Планк. Задача прояснить электродинамику Максвелла пришлась по душе ему, классическому профессору и лишь нечаянно революционеру. Планк показал, как надо изменить законы механики, чтобы учесть новое понимание пространства, времени и электродинамики. В новых законах движения участвовала, конечно, скорость света.

Следующий важный шаг в развитии теории относительности сделал математик Герман Минковский, осознав, что новые физические представления о пространстве и времени

порождают новый тип геометрии — геометрию *пространства-времени*. Точка пространства-времени — это *событие*, происшедшее где-то и когда-то, например, пересечение стрелкой часов данной точки на циферблате или включение фонаря. А как выразить соотношение двух событий?

Мы уже знаем, что два события, одновременные для одного наблюдателя, могут быть неодновременными для другого. Но не всякие два события одновременны хоть для какого-нибудь наблюдателя. Пусть, например, первое событие — отправка светового сигнала включением фонаря, а второе — прибытие этого сигнала в другом месте, отмечаемое вспышкой другого цвета. Если для наблюдателя А эти два события разделены расстоянием r_A и временем t_A , то $r_A = ct_A$, где c — скорость света. Для наблюдателя Б эти два события разделены расстоянием r_B и временем t_B , но по-прежнему $r_B = ct_B$, поскольку скорость света — одна и та же для всех наблюдателей. Эту связь двух событий можно выразить и в форме, не зависящей от выбора наблюдателя: если для некоторого наблюдателя расстояние и время между двумя событиями связаны соотношением

$$r^2 - (ct)^2 = 0,$$

то и для любого другого наблюдателя измеренные им расстояние и время между теми же событиями связаны тем же соотношением. То есть получена *абсолютная* связь двух событий, одинаковая для всех наблюдателей.

Возьмем теперь пару событий, для которой измеренные наблюдателем А расстояние и время между ними дают неравенство

$$r_A^2 - (ct_A)^2 > 0,$$

то есть расстояние r_A между местами событий столь велико, что за время t_A свет не успел бы дойти от одного до другого. Но значит, не успеет и для любого другого наблюдателя, то есть по-прежнему

$$r_B^2 - (ct_B)^2 > 0.$$

Стало быть, первое событие для всех наблюдателей произошло раньше второго, абсолютно предшествовало второму.

Если же для некоторой пары событий

$$r^2 - (ct)^2 < 0,$$

то, во-первых, для любого наблюдателя такая величина также отрицательна, а, во-вторых, всегда найдется наблюдатель, для которого эти события окажутся одновременными.

Минковский показал, что, в силу теории относительности, для любой пары событий величина

$$r^2 - (ct)^2,$$

называемая интервалом между событиями, для всех наблюдателей имеет не только один и тот же знак — положительна, отрицательна или равна нулю, но и одинаковое численное значение. Таким интервалом, или *метрикой*, определяется абсолютная взаимосвязь событий в пространстве-времени и основа его абсолютной хроногеометрии.

Описанная связь пространства и времени дает новый смысл физической константе c . Называть ее скоростью света можно лишь по историческим причинам. Любые физические процессы проходят в пространстве и времени, даже если и без участия света, в кромешной тьме. Свету просто повезло распространяется со скоростью, равной фундаментальной константе c , связывающей пространство и время. Теорию относительности можно назвать ***c*-теорией**, поскольку она основана на фундаментальной роли константы c .

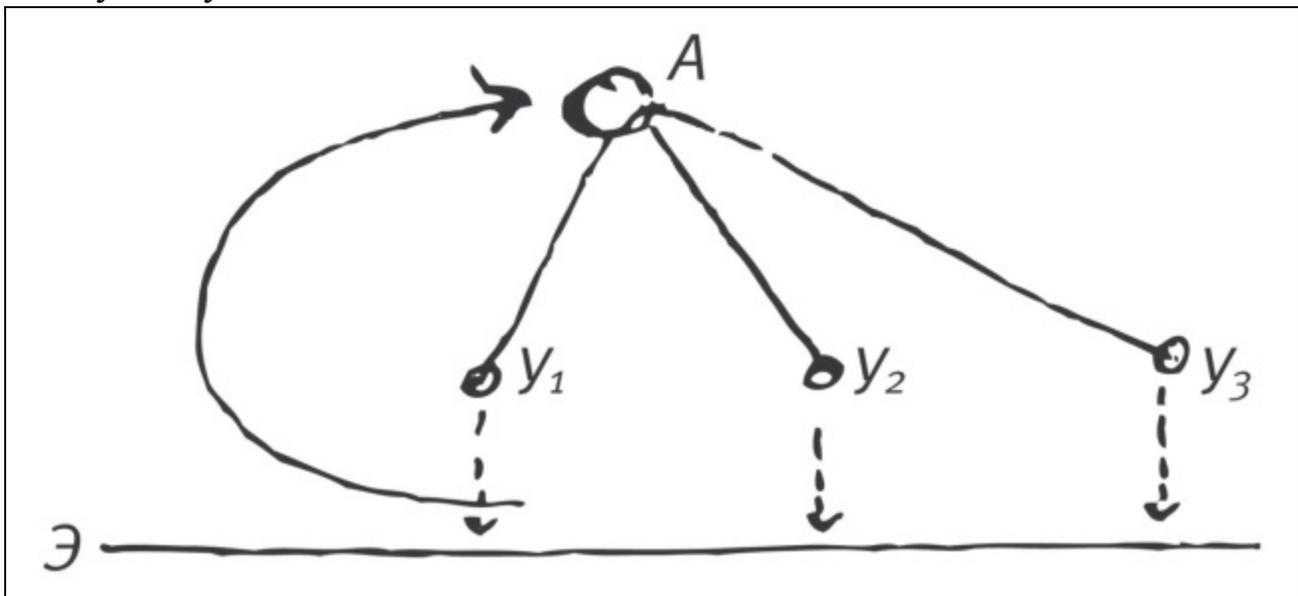
Разумеется, количественная роль этой константы в конкретном физическом явлении может быть и пренебрежимо мала, но это уже зависит от требуемой точности описания. В обыденной жизни и в большей части физики участие c незаметно потому, что обыденные скорости ничтожно малы по сравнению со скоростью c .

Когда-то люди думали, что Земля плоская. И это мнение вполне оправданно, если в жизненном опыте нет расстояний в тысячи километров (радиус Земли, напомним, — примерно шесть тысяч километров). Заметили шарообразность Земли и измерили ее радиус те, для кого подобные расстояния обычны, — географы и астрономы. Аналогично и особые свойства скорости света открылись физикам, когда они в своих опытах взялись за очень большие скорости. Теория относительности была бы открыта гораздо раньше, если бы в обыденной жизни встречались скорости, сопоставимые со скоростью света.

Теория относительности или закон всемирного тяготения?

Надо сказать, что Эйнштейн безо всякого восторга встретил геометрическую идею Минковского: мало ли какие фокусы делают математики с законами физики... Он изменил свое отношение, когда взялся за новую проблему, порожденную его же успехом. Теория относительности, преодолев «асимметрию» электродинамики Максвелла, вошла в конфликт с законом гравитации Ньютона.

Прежде чем перейти к этому конфликту, посмотрим на создание теории относительности с такой высоты, с какой видна вся история фундаментальной физики. При этом воспользуемся уже знакомой эйнштейновской схемой:



В данном случае эмпирически наблюдаемая реальность \mathcal{E} — «неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно „светоносной среды“». Крутым взлетом свободной интуиции Эйнштейн поднял странные результаты единичных искусных опытов до общего аксиоматического принципа A — о неизменности скорости света. До того же уровня он поднял Галилеев принцип относительности, убрав неработающую аксиому о существовании эфира. Из двух его аксиом последовало новое понимание одновременности, «странный» закон сложения скоростей и другие утверждения U , доступные опытной проверке.

Все просто и логично, если не считать интуиции, о которой Эйнштейн сказал: «Понятия никогда нельзя вывести из опыта логически безупречным образом... Не согрешив против логики, никуда не придешь». Нарушать приходится логику старой теории, и требуется огромная сила духа, чтобы из «нелогично» изобретенных аксиом настойчиво извлекать логические следствия, сверяя их с эмпирической реальностью, и выяснять логику новой теории.

Драматизм такого соединения логики и интуиции проявился в авторстве теории относительности. 26-летний патентный эксперт третьего класса был не единственным, кто в 1905 году размышлял об электродинамике движущихся тел, о пространстве и времени. Больше других в этой области сделали тогда уже знаменитые Х. Лоренц (голландский физик и нобелевский лауреат 1902 года) и А. Пуанкаре (французский математик с глубоким интересом к физике). Их имена не зря вошли в нынешние термины теории

относительности — «преобразования Лоренца» и «группа Пуанкаре». Эйнштейн изучал их труды, идеи которых вошли в теорию относительности. Лоренца и Пуанкаре можно назвать соавторами Эйнштейна, однако целостную и ясную физическую теорию относительности создал именно он.

Какую-то роль сыграл, вероятно, грустный закон Планка о смене поколений в науке. Лоренцу и Пуанкаре было уже за 50, и оба они — даже после эйнштейновской статьи 1905 года — держались за понятие эфира и придумывали сложные механизмы взаимодействия эфира и вещества, чтобы обеспечить правильные соотношения пространственных и временных величин. А Эйнштейн, опираясь на результаты опытов — те самые «неудавшиеся попытки», изобрел странный, но простой принцип постоянства скорости света — аксиому, которая вместе с принципом относительности безо всяких эфирных механизмов логически вела к новым важным результатам. Он стремился не к «понятности» объяснения, а к раскрытию устройства природы. «Понять» обычно означает «свести к знакомому, привычному», и эфир был привычным. Держась за привычное, легче идти в неведомое. Но невозможно взлететь.

Об этом писал Галилей: «Природа не заботится о том, доступны ли человеческому восприятию ее скрытые причины и способы действия». И Максвелл видел опасность предвзятой физической гипотезы, когда через ее узкий окуляр рассматриваются экспериментальные факты. Стремление к предвзятой «понятности» скрытых причин ограничивает свободу взлета изобретательной интуиции. Эйнштейн показал это не хуже великих предшественников. Можно сказать, что великое физическое открытие — подлинно новое слово в науке — требует великого физика, каким и оказался 26-летний патентный эксперт.

На лаврах молодой великий физик не почил, у него было дело поинтереснее и, как оказалось, потруднее. Новорожденная теория относительности поставила суровую проблему — она была несовместима с великим законом всемирного тяготения. Созданная Ньютоном теория гравитации уже более двух веков служила образцом в физике, а образцом научного триумфа стало открытие планеты Нептун «на кончике пера», которым водил, можно сказать, закон Ньютона.

Однако, согласно этому закону, сила притяжения между массами зависит от расстояния между ними — расстояния между точками ПРОСТРАНСТВА, в которых находятся эти массы в ДАННЫЙ — ОДИН И ТОТ ЖЕ — МОМЕНТ ВРЕМЕНИ. Фраза, еще недавно вполне научная, перестала быть таковой в свете теории относительности. Ведь для разных наблюдателей, движущихся по-разному, величина силы была бы разной. Значит, великий закон всемирного тяготения неверен?!

Эту проблему Пуанкаре осознал раньше Эйнштейна и предложил решение, точнее, даже два — два варианта обновить закон тяготения Ньютона: гравитация должна была распространяться со скоростью света, а при малых скоростях тел совпадать с Ньютоновой. В физике, однако, два варианта хуже, чем один, поскольку устройство природы лишь одно. Великий математик предложил новые формулы, выбрав физически хлипкую точку опоры. Он опирался на понятие эфира:

То, что гравитация распространяется со скоростью света, не может быть результатом каких-либо случайных обстоятельств, а должно быть обусловлено одним из свойств эфира; тогда возникает задача проникнуть в природу этого

свойства и связать ее с другими свойствами эфира.

Искомый закон гравитации великий математик ограничил скучным условием:

Так как астрономические наблюдения, по-видимому, не обнаруживают заметных отклонений от закона Ньютона, выберем решение, наименее расходящееся с этим законом для малых скоростей тел.

Работа Пуанкаре в гравитации напоминает то, что делали теоретики в электромагнетизме до Максвелла. Тогда, в первой половине девятнадцатого века, старались обобщить закон взаимодействия электрических зарядов на случай их движения, хотя Фарадей уже открыл совершенно новое явление. Пуанкаре же исходил из того, что никаких новых явлений в гравитации, «по-видимому, не обнаружено». К размышлениям его побудила логическая неувязка, но физика все же основана на реально наблюдаемых явлениях.

Физик Эйнштейн молчал по поводу гравитации два года, пока не «придумал» новые явления. Придумал, еще не имея новой теории, но опираясь на новейшие достижения современной физики и... на ее самый первый результат — закон свободного падения, то есть опираясь на себя самого и на Галилея.

Неувязка теории относительности с законом Ньютона, похоже, побудила Эйнштейна спросить себя: а что, собственно, физика знает о гравитации, кроме этого закона? Ответ известен каждому школьнику, кто решал задачи о камне, брошенном под углом к горизонту: движение камня зависит только от его начальной скорости, но не зависит от массы. Движение тела под действием электричества очень даже зависит от его электрического заряда, а движение под действием гравитации совсем не зависит от массы тела, то есть гравитационного заряда.

Образованный школьник знает, что если в закон движения

$$ma = F$$

подставить силу

$$F \neq GmM/r^2,$$

то масса камня m сократится. Но не странно ли это? От массы зависит гравитационная сила, которая определяет движение, а само движение от массы не зависит?! Двигается по одной и той же параболе и малая песчинка, и огромная глыба. Прямо не физика, а какая-то геометрия. Там тоже, какие бы линейку и циркуль ни взять — обычные или на основе натянутой нити, — свойства прямой и окружности от инструментов не зависят.

В 1907 году Эйнштейну физика была еще гораздо интереснее геометрии, и он в Галилеевом законе падения увидел путеводный принцип для поиска новой теории гравитации и назвал его *принципом эквивалентности*. Фактически Эйнштейн использовал еще одну придумку Галилея — опыты в каюте без окон, но каюту эту поместил в лифт.

Хотя первый лифт изобрел еще Архимед, обычным этот вид транспорта стал лишь к концу девятнадцатого века, когда решили наконец проблему безопасности — чтобы лифт не сорвался в свободное падение. Однако Эйнштейна интересовало как раз свободное падение

лифта. Пока тот падает, физик-теоретик успеет мысленно проделать в нем любые опыты и убедится, что тяжесть вовсе не заметна. В наше время каждый может увидеть это на телеэкране — невесомость в свободно летящем лифте, названном Международной космической станцией. А Эйнштейн еще сто лет назад мысленно приделал к лифту реактивный двигатель, обеспечил — в полной пустоте — ускорение $9,8 \text{ м/сек}^2$ и понял, что мысленный пассажир-экспериментатор обнаружит в лифте настоящую земную тяжесть. Таким образом, свободно падая вместе со своей лабораторией в каюте без окон, экспериментатор устраняет влияние гравитации, а, ускоренно двигаясь в полной пустоте, гравитацию обнаруживает. Эти соображения, доступные старшекласснику, стали важнейшим исследовательским инструментом Эйнштейна.

В предыдущих двух школьных формулах участвует одна и та же буква m , которая поэтому легко сокращается. Формулы более глубоко теоретические включали бы разные буквы — $m_{\text{и}}$ и $m_{\text{г}}$, обозначающие массу инертную и массу гравитационную. Тогда закон свободного падения выразился бы равенством:

$$m_{\text{и}} = m_{\text{г}},$$

отражающим экспериментальный факт, обнаруженный Галилеем: движение маятника (в пустоте) не зависит от того, какой груз висит на нити. Ньютон подтвердил этот факт с точностью до одной тысячной, а ко времени Эйнштейна точность повысилась до стомиллионной. Так же, как и с неудачными попытками обнаружить изменение скорости света, теоретик Эйнштейн доверился этой точности (и своей интуиции) и получил в руки принцип эквивалентности.

Принцип этот позволил Эйнштейну исследовать действие гравитации, не обращаясь к закону всемирного тяготения. Особенно интересно действие гравитации на движение при скорости, близкой к скорости света, когда без теории относительности не обойтись. Эйнштейн взялся за сам свет, к чему был подготовлен лучше других. Ведь в 1905 году свет был его главным инструментом в создании теории относительности, а идея квантов света объяснила явление фотоэффекта.

Воздействие гравитации на свет можно оценить двумя способами. Во-первых, свет, летящий в пустоте прямолинейно, попадая в ускоренно падающий лифт поперек его движению, очевидным образом движется относительно лифта по параболе, то есть искривляется. Во-вторых, энергия кванта света $E = h\nu$, согласно релятивистскому закону $E = mc^2$, дает вполне определенную массу m , подвластную гравитации. Так, с помощью принципа эквивалентности Эйнштейн обнаружил два новых эффекта гравитации — искривление луча света и изменение его частоты. Однако, подсчитав эффект, понял, что «влияние гравитации Земли слишком мало, чтобы сравнить теорию с опытом». Четыре года спустя он придумает, как можно увеличить эффект, чтобы его наблюдать. Но уже в 1907 году он убедился в работоспособности принципа эквивалентности.

Инструмент этот не был всемогущим. Помимо предсказания новых эффектов гравитации, Эйнштейн пытался объяснить эффект, уже известный астрономам, но непонятый: орбита Меркурия, ближайшей к Солнцу планеты, отклонялась от законов небесной механики Ньютона. Отклонялась очень мало, всего на одну десятимиллионную, но в пределах досягаемости для астрономической точности. Отклонение это выявил за полвека

до того У. Лаверье, прославленный открытием Нептуна. Поведение Меркурия пытались объяснить влиянием еще одной незамеченной планеты или космической пыли, но безуспешно. В 1907 году не удалось это объяснить и Эйнштейну, одного его инструмента — принципа эквивалентности — оказалось мало.

Второй важный инструмент Эйнштейн нашел два года спустя в короткой заметке неизвестного ему П. Эренфеста. Тот обнаружил парадокс в простом вращении диска вокруг своей оси. Согласно теории относительности размеры тела сокращаются вдоль движения, а поперечные остаются неизменными. Значит, длина окружности вращающегося диска уменьшится, а радиус остается, каким был в покое. Но тогда отношение длины окружности к радиусу станет меньше 2, вопреки Евклидовой геометрии?! Обсуждался и более общий вопрос: как понимать релятивистское сокращение, оно реально или субъективно? Эйнштейн изложил свое понимание в заметке 1911 года «К парадоксу Эренфеста»: сокращение нереально, поскольку его нет для наблюдателя, движущегося вместе с диском; однако оно вполне измеримо внешним наблюдателем.

С этого началась переписка и дружба двух физиков. Год спустя они встретились, и вот впечатление Эренфеста: «Неисчерпаемость идей, с одной стороны, абсолютная точность и аскетизм мышления — с другой... К тому же чрезвычайно простая, жизнерадостная, здоровая естественность, полная остроумия, — он необычайно душевен и одарен музыкально». Так выглядел Эйнштейн в 1912 году, когда к нему, после четырех лет размышлений, пришла величайшая его идея: гравитация — это переменная геометрия пространства-времени.

Гравитация — геометрия пространства-времени

Когда знаешь результат идеи, легче объяснять естественность ее происхождения. На геометричность гравитации намекал уже обнаруженный Галилеем факт: свободное падение тела не зависит от его массы. Были у Эйнштейна и другие намеки. Ускорение наблюдателя эквивалентно гравитации, а вращение — тоже ускоренное движение — порождает неевклидовы соотношения. Реально-относительные изменения пространственных и временных размеров подчинены абсолютной хроно-геометрии пространства-времени. И наконец, если луч света — идеальный эталон прямой линии — искривляется гравитацией, то что же тогда прямая? Не остается ли луч света «самой прямой» из всех возможных линий между двумя точками-событиями?

Подобные соображения могли стоять перед мысленным взором Эйнштейна, когда его интуиция в очередной раз взлетела к великой идее: гравитацию описывает геометрия пространства-времени, но уже не геометрия Минковского, одинаковая во всех своих точках-событиях, а переменная, меняющаяся в зависимости от распределения массы-энергии в пространстве-времени. Оставалось выяснить, как эту зависимость выразить математически и как связать математические величины с физическими измерениями. На это Эйнштейну потребовалось еще четыре года.

Открытие неевклидовой геометрии Лобачевским, развитое Гауссом, Риманом и другими, стало одной из главных научных сенсаций девятнадцатого века. Не зря в романе «Братья Карамазовы», написанном в 1880 году, упоминаются «геометры и философы, которые сомневаются в том, чтобы вся вселенная или, еще обширнее, все бытие было создано лишь по Евклидовой геометрии, осмеливаются даже мечтать, что две параллельные линии, которые по Евклиду ни за что не могут сойтись на земле, может быть, и сошлись бы где-нибудь в бесконечности». Иван Карамазов этого не понимал «своим земным евклидовским умом», но в начале двадцатого века неевклидову геометрию уже легко было объяснить школьнику на примере геометрии сферы, назвав прямой, проходящей через две точки сферы, кратчайшую линию, даваемую натянутой нитью. Представив себя геометром, обитающим на сфере (и не видящим ничего за ее пределами), можно убедиться, что в этом двумерном сферическом мире любые две прямые пересекаются, а отношение длины окружности к радиусу меньше 2π .

Понятно, что если радиус сферы очень велик, то саму сферичность заметить трудно, как и было во времена, когда Землю считали плоской. В начале двадцатого века неевклидову геометрию примеряли ко Вселенной не только геометры и философы, но и астрономы, пытаясь оценить радиус трехмерной вселенской сферы на основе астрономических наблюдений. При этом, однако, предполагалось, что свойства геометрии одинаковы во всех точках пространства. Эйнштейн же думал о геометрии пространства-времени, обобщавшей $3+1$ -мерную геометрию Минковского так, что геометрические свойства меняются от точки к точке в зависимости от распределения и движения вещества. Математики к тому времени уже умели обращаться с такой переменной, или Римановой, геометрией, но физикам до Эйнштейна эта новая математика была совершенно ни к чему.

Эйнштейн, разумеется, прежде всего думал о новой физике, необходимой для описания гравитации, а новый математический язык требовался для выражения его физических идей. Эти идеи, надо сказать, не нашли сочувствия у коллег — ни принцип эквивалентности,

понятный школьнику, ни геометричность гравитации, не понятая никем. Хотя сам Эйнштейн был уже знаменитым автором теории относительности и гипотезы фотонов. Пока он пытался воплотить свои соображения, коллеги публиковали свои теории гравитации по образу электродинамики, опираясь на его же теорию относительности. Коллеги, можно сказать, защищали теорию относительности от ее автора, посягающего на ее стройность и симметрию. Их теориям не удавалось объяснить аномалию Меркурия, но они думали, что не все варианты исследованы.

Увы, нам не узнать, как восприняли бы замысел Эйнштейна двое его коллег, подготовленных лучше всех. Пуанкаре и Минковский, выдающиеся математики с сильным интересом к физике, внесли важный вклад в создание теории относительности, уже работали над релятивистской теорией гравитации и «по долгу математической службы» владели Римановой геометрией. Оба лишь немного не дожили до публикации замысла Эйнштейна соединить гравитацию и геометрию. Умерли они преждевременно и в обычном смысле слова: одному не было еще 60, другому — 50 лет. Дай им история еще несколько лет, и, вполне вероятно, путь к реализации замысла Эйнштейна был бы короче.

Математика, нужная Эйнштейну, была настолько далека от физики, что он искал помощи. Будь жив Минковский, Эйнштейн обратился бы к нему. Ведь именно тогда он оценил важность идеи Минковского о геометрии пространства-времени в теории относительности. А кроме того, он был студентом Минковского в цюрихском Политехникуме, куда как раз в 1912 году Эйнштейна пригласили в качестве профессора физики. Однако история не захотела облегчить ему жизнь или же захотела большего драматизма.

Прибыв в Цюрих уже со своим замыслом, Эйнштейн навестил студенческого друга Марсея Гроссмана, к тому времени уже профессора математики, и попросил помочь. Гроссман согласился, «хотя, как настоящий математик, имел несколько скептическую точку зрения на физику» и отказался от какой-либо ответственности за физические утверждения. Он помог Эйнштейну разобраться в необходимой математике и написал математическую часть их совместной статьи, о чем осенью 1912 года Эйнштейн сообщал в письме:

Занимаюсь только гравитацией и надеюсь, с помощью здешнего друга-математика, преодолеть все трудности. Никогда в жизни я не трудился так усердно и сейчас преисполнен глубоким почтением к математике, которую ранее, по наивности, считал лишь утонченной роскошью. По сравнению с нынешней проблемой теория относительности — детская игра.

Скептический математик, не вникающий в физику, — не лучший помощник для теоретика, старающегося прочесть новую страницу в Книге Природы. Книга эта, согласно Галилею, написана на языке математики, однако говорит она именно о физическом мироустройстве. Знания отдельных слов иногда недостаточно для понимания целой фразы. Для этого нужен не простой словарь, а фразеологический, и Эйнштейн, можно сказать, работал над таким физико-математическим словарем гравитации. Будь его соавтором Минковский, который физикой интересовался не меньше, чем математикой, можно думать, они уже в 1913 году дали бы миру новую *теорию гравитации-пространства-времени*.

В реальной же истории совместно-раздельная статья физика Эйнштейна и математика Гроссмана не зря была названа лишь «Проектом теории гравитации». Главной неувязкой

проекта была его *недо*-геометричность. Геометрические свойства фигуры не должны зависеть от того, как фигура описана. А проект Эйнштейна — Гроссмана ограничивал способ описания, как если бы разрешал использовать лишь слова с четным числом букв. Риманова геометрия вела к стройным уравнениям гравитации, если допустимы любые обозначения событий пространства-времени, однако Эйнштейн думал, что против этого есть физические возражения. Он ошибался, но понял это лишь два года спустя, завершив создание теории в 1916 году. И в этом завершении ему помог, можно сказать, Минковский.

В последние месяцы восьмилетней эпопеи по созданию теории гравитации Эйнштейн обсуждал свои проблемы с одним из крупнейших тогда математиков, Д. Гильбертом, который один лишь и подключился к реализации эйнштейновского проекта. Гильберт, близкий друг Минковского, издал его посмертное собрание трудов, включая работу «Пространство и время», что наилучшим образом подготовило Гильберта к восприятию эйнштейновского замысла теории гравитации.

Сам Гильберт не преувеличивал свою роль, признавая, что «любой мальчишка в Геттингене понимает в четырехмерной геометрии больше, чем Эйнштейн, но сделал дело именно Эйнштейн, а не математики». И это не потому, что Гильберт физику ставил выше математики. Напротив, он говаривал, что «физика слишком сложна для физиков», и предлагал математикам упростить ее, привести в порядок, применяя свой проверенный способ — аксиоматизацию. Эту задачу он поставил на Международном конгрессе математиков в 1900 году, поставил шестой по порядку в перечне главных математических проблем наступившего века. Имел он в виду, что некоторые физические утверждения надо принять в качестве аксиом, из которых все остальные утверждения будут следовать согласно железной математической логике, подобно тому как выводятся теоремы из аксиом Евклида.

Вряд ли кто из физиков возражал бы против наведения порядка в данной физической теории, но аксиоматизация физики в целом имеет не больше шансов на успех, чем выработка единого способа завоевывать сердца. Разные сердца требуют разных подходов. Как раз в начале двадцатого века физика переживала большую смену того, что можно было бы назвать аксиомами. Однако если математики отвечают лишь перед собственной логикой, то физикам приходится отвечать за свои теории перед Природой.

Гильберт и сам, похоже, догадывался, что при всей важности и плодотворности контактов физики и математики они остаются разными странами. Как-то на лекции он задал вопрос и ответил на него:

Знаете ли вы, почему из наших современников самые оригинальные и глубокие идеи о пространстве и времени высказал Эйнштейн? Потому что он ничего не знал о философии и математике времени и пространства!

Не полагаясь на запасы философско-математической мудрости, Эйнштейн умел получать подсказки от самой Природы, даже если его коллеги-физики не принимали эти подсказки всерьез. Физика — дело коллективное, и создание успешной теории обычно требует соучастия нескольких человек. В создании новой теории гравитации и у Эйнштейна были соучастники — Эренфест, Минковский, Гроссман, Гильберт, однако вклад Эйнштейна был необычно велик, если сравнивать с другими теориями.

Необычно большой оказалась и награда за успех. Он это понял первым, когда из только что созданной теории получил точное количественное объяснение не-ньютонова движения

Меркурия и подтвердил оба эффекта, предсказанные им в самом начале его пути к теории гравитации. Оказалось, правда, что полная теория дает в два раза большее искривление луча света, что увеличило шансы проверить предсказание в астрономических наблюдениях.

Основной закон новой теории гравитации имеет вид

$$[R] = (G/c^2) [T],$$

где $[R]$ описывает геометрию пространства-времени, $[T]$ описывает распределение массы-энергии, G — гравитационная постоянная, c — скорость света. Так что теория прямо показывает фундаментальное значение двух констант природы, вошедших в физику и измеренных задолго до того, как выяснилась их подлинная роль в устройстве мироздания.

В эйнштейновской теории гравитации движение масс объясняется не силами, а геометрией искривленного пространства и времени, точнее — пространства-времени, потому что их уже накрепко связала постоянная c . Искривленное пространство-время наглядно можно представить себе натянутой упругой пленкой, прогибаемой в некоторых местах гирьками: присутствие вещества искривляет геометрию, а тела движутся по прямым линиям этой геометрии — правда, не в пространстве, а в пространстве-времени, где каждая точка — это событие. Такие линии называют геодезическими. Так что Меркурий движется в пространстве-времени по геодезической линии, которая в проекции на пространство дает почти эллиптическую орбиту, в целом медленно вращающуюся.

Чтобы узнать меру искривления пространства-времени, надо плотность вещества умножить на коэффициент G/c^2 , чрезвычайно малый из-за малости G и огромности c . Потому-то кривизну пространства-времени так долго не замечали. Гораздо дольше, чем кривизну земной поверхности.

Учитывая роль постоянных c и G в эйнштейновской теории гравитации, ее можно назвать cG -теорией или cG -теорией пространства-времени. Сам Эйнштейн называл ее *Общей теорией относительности*, имея на то веские личные причины. При создании теории он использовал, наряду с принципом эквивалентности, «общий принцип относительности» — отказ видеть в координатах метрические величины и возможность рассматривать произвольно искривленное пространство-время. Когда же теория была построена, оба вспомогательных принципа растворились в ней, потеряв самостоятельность. Можно сказать, что то были строительные леса, которые после окончания строительства можно убрать. В теории гравитации Эйнштейна нет никакой более общей относительности, чем в теории относительности. Впрочем, название теории не так важно, как ее содержание, а представление о содержании теории во время ее строительства и после окончания могут сильно отличаться.

В те годы, когда Эйнштейн искал теорию гравитации для описания астрономических явлений, он занимался и совсем другой физикой — физикой атомов и квантов света. Иногда у него возникала надежда, что новая теория гравитации заодно решит и проблемы физики микромира. Однако, завершив труд, Эйнштейн понял, что это не так, и трезво зафиксировал, что его теория гравитации «не может сказать о сущности других явлений природы ничего, что не было бы известно из теории относительности. Мое мнение, высказанное недавно по этому поводу, было ошибочным».

Как вам нравится такой триумфатор?

Как приходит мирская слава

В конце двадцатого века проводились разные опросы, подводящие итоги столетия, тысячелетия и всей человеческой истории. Эйнштейн оказался одним из самых знаменитых людей в мире. Согласно опросу, проведенному журналом «PhysicsWorld» среди сотни виднейших физиков, Эйнштейн и Ньютон заняли первое и второе место, при этом Эйнштейн впереди примерно на 201%. Если же «прогуглить» интернет именами Albert Einstein и Isaac Newton, то окажется, что в глазах широкой публики Эйнштейн популярнее Ньютона аж в 4 раза!

Почему мирская слава Эйнштейна столь непропорционально велика? Неужели публику современные проблемы квантов и гравитации волнуют настолько больше, чем физиков? Ведь, с практической точки зрения, открытия Максвелла имеют гораздо большее значение. С той же точки зрения, Эйнштейн, можно сказать, всего лишь поправил Максвелла и уточнил Ньютона. К тому же опираясь на открытия Галилея — на принцип относительности и принцип эквивалентности. Так откуда же пришла к Эйнштейну такая непомерная всемирная слава? Главное — не откуда, а когда.

Две разные славы возникли в разное время и по разным причинам.

К 1913 году заслуги Эйнштейна перед физикой были уже столь велики, что к нему в Цюрих из Берлина приехал Планк — с предложением королевским и даже императорским. За год до того возглавивший физико-математическое отделение Прусской Академии наук, Планк предложил Эйнштейну принять выдвижение в члены Академии, профессорскую должность в Берлинском университете без обязанностей преподавать и руководство создаваемым Институтом физики. Германский император и король Пруссии Вильгельм II одобрил это предложение, и 2 июля 1914 года состоялся торжественный прием Эйнштейна в Академию, на котором — по традиции — он произнес речь. Речь он начал с благодарности за то, что это избрание освободило от «забот службы и позволило полностью посвятить себя занятиям наукой», а говорил о соотношении теории и эксперимента:

Перед теоретиком стоят две разные задачи: отыскать общие принципы, из которых можно вывести проверяемые следствия, и получить сами эти следствия. Для второй задачи теоретика готовят в университете. Совершенно иного рода первая. Не существует метода, который можно выучить, чтобы его успешно применять. Исходные принципы теоретик должен выведать у природы, разглядев общие черты множества опытных фактов. Пока же такие принципы не найдены, отдельные факты бесполезны. В подобном положении находится квантовая теория с тех пор, как Планк показал, что соответствующий опытам закон теплового излучения можно рассчитать с помощью квантовой гипотезы, несовместимой с классической механикой Галилея — Ньютона. Гипотеза эта за прошедшее с тех пор время блестяще подтверждена. Но, несмотря на усилия теоретиков, до сих пор не удалось заменить принципы механики на такие, из которых следовал бы планковский закон теплового излучения. Мы находимся в том же положении, что и астрономы до Ньютона. Но есть и случай, когда четко сформулированные принципы ведут к следствиям, не доступным пока исследованию. Это — теория гравитации. Понадобятся, быть может, многолетние опыты, чтобы проверить обоснованность положенных в ее основу принципов.

Эйнштейн говорит о только что опубликованном «Проекте теории гравитации».

В ответной речи Планк, воздав должное новоизбранному академику, не скрыл своего скептического отношения к этому его проекту. Планк защищал теорию относительности от ее автора и при этом упомянул об экспедиции для наблюдений предстоящего солнечного затмения, которые должны были проверить предсказанное Эйнштейном искривление лучей света под действием гравитации. Закончил Планк тем, что в физике «острейшие противоречия разрешаются при полном уважении и сердечном отношении друг к другу».

Иначе обстояли дела в мировой политике, противоречия которой вторглись в ход истории науки и в историю мировой славы Эйнштейна. Солнечное затмение предстояло наблюдать в России 21 августа 1914 года, и германская астрономическая экспедиция уже была там, готовясь к наблюдениям, когда 1 августа началась мировая война. Руководителя германской экспедиции, астронома Фрейндлиха, интернировали, оборудование конфисковали.

А начнись война на месяц позже, и нынешней непомерной славы Эйнштейна, скорее всего, не было бы.

Дело в том, что в 1914 году проверялось бы предсказание Эйнштейна, сделанное на основе лишь принципа эквивалентности. Соответствующее отклонение луча света было в два раза меньше истинного, полученного Эйнштейном из завершённой теории гравитации в конце 1915 года. Стало быть, измерения германских астрономов в 1914 году опровергли бы предсказание германского физика, а исправление предсказания в 1915 году в глазах неспециалистов-журналистов выглядело бы вынужденным. И уж во всяком случае никакого триумфа для Эйнштейна.

Триумф состоялся пять лет спустя, вскоре после окончания мировой войны, когда британская астрономическая экспедиция в Африке и Бразилии наблюдала полное солнечное затмение 29 мая 1919 года. О результатах измерений, подтвердивших теорию Эйнштейна, было доложено 7 ноября на совместном заседании Королевского общества (Британской академии наук) и Астрономического общества, где президент Королевского общества Дж. Томсон назвал теорию Эйнштейна «одним из величайших, а возможно, и самым великим достижением в истории человеческой мысли».

Об этом 9 ноября сообщили заокеанская «Нью-Йорк таймс» и другие газеты мира. Газетный рассказ о чисто научном событии был удивительно подробным, с указанием измеренной величины 1,98 угловых секунд с возможной ошибкой 61% и предсказанной в теории Эйнштейна величины 1,7 угловых секунд (такого масштаба величина соответствует монете, разглядываемой на расстоянии одного километра). Сообщено было также, что точности измерений не хватило для проверки второго предсказания Эйнштейна — о сдвиге частоты света. В следующие несколько недель «Нью-Йорк таймс» еще пять раз возвращалась к теме.

Так родилась публичная мировая слава Эйнштейна.

Крохотная величина кажущегося сдвига нескольких звезд не имела никакого практического значения для обычной жизни людей, но, можно сказать, была обратно пропорциональна публичному эффекту. Причины этого связывают с тогдашним мировым контекстом. Только что закончилась страшная война, в которой солдаты Германии и Британии стреляли друг в друга, пылала иррациональная международная ненависть, миллионы были убиты и искалечены. А тут британские астрономы подтверждают теорию германского физика, говорящую о пространстве, времени, лучах света от дальних звезд...

Что могло лучше символизировать мирное рациональное мироустройство?

В публичной реакции на событие научной жизни 1919 года, однако, не упоминалось самое крупное открытие во всей истории науки — самое крупное по физическим размерам.

В 1917 году Эйнштейн открыл Вселенную.

Глава 8

Открытие Вселенной

Новый физический объект — Вселенная

Слово «вселенная» настолько обычно в русском языке, что его не выкинешь из народной песни:

Всю-то я вселенную проехал,
Нигде милой не нашел.

.....
За твои за глазки голубые
Всю вселенную отдам!

До 1917 года слово «вселенная» было не столько существительным, сколько собирательным и означало «весь видимый мир» — все, что кто-то как-то мог бы увидеть.

В начале 1917 года, однако, это неопределенное слово стало новым физическим понятием, обозначив один вполне определенный — самый большой — физический объект. Новое слово физики появилось в десятистраничной статье Эйнштейна, где родилась и новая наука — космология. Ранее космологию относили к метафизике, точнее было бы сказать, к недофизике, где нет ничего количественного, а лишь слова, слова, слова. Эйнштейн же указал вполне определенные количественные свойства нового физического объекта, свойства, доступные для экспериментальных, наблюдательных исследований. В обычной астрофизике не хватает места для космологии не потому, что ее главный объект слишком велик, а из-за того, что он — один в своем роде.

Рождение новой науки не стало сенсацией — еще полыхала мировая война, а Эйнштейн еще не был знаменитостью. Слава и признание гениальности обрушатся на него два года спустя не за открытие Вселенной, а за предсказание еле заметного отклонения лучей света под воздействием притяжения Солнца. Оба достижения — следствия его теории гравитации, завершенной в 1916 году. Но если отклонение лучей света — долгожданный результат драматических восьмилетних усилий, то космология — неожиданная премия.

Подобную премию получил когда-то Максвелл после своих десятилетних поисков электромагнитной теории. Он обнаружил, что одно из решений его уравнений описывает распространение электромагнитных колебаний, в которых он опознал световые волны.

Новая теория гравитации Эйнштейна уточнила теорию Ньютона с помощью основного уравнения:

$$[R] = (G/c^2) [T],$$

где $[R]$ — геометрия пространства-времени, $[T]$ — распределение вещества, G — гравитационная постоянная, c — скорость света. Решения этого уравнения описывают и движение луча света, и движение планеты вокруг звезды, но еще, как обнаружил Эйнштейн, могут описать и Вселенную в целом.

Обстоятельства этого открытия демонстрируют, что прихотливый путь истории науки мало похож на асфальтированное шоссе.

Чтобы ввести Вселенную в свою теорию гравитации, Эйнштейн предположил, что вселенское вещество распределено равномерно, то есть что в разных местах Вселенной одна и та же средняя плотность «для областей пространства, больших по сравнению с расстоянием между соседними неподвижными звездами, но малых по сравнению с размерами всей звездной системы».

Во-вторых, «самым важным опытным фактом о распределении вещества» он назвал то, что «относительные скорости звезд очень малы по сравнению со скоростью света». По сути же предположил, что средняя плотность Вселенной постоянна во времени.

Выражение «неподвижные звезды» напоминает о древней «сфере неподвижных звезд». Их неподвижность была *очевидной*, поскольку даже ближайšie звезды в тысячи раз дальше самой дальней планеты, и, стало быть, движения звезд в тысячи тысяч раз менее заметны. Такие движения астрономы заметили лишь во времена Ньютона — обнаружили, что положения нескольких звезд, нанесенных на карту неба древними греками, за два тысячелетия изменились на полградуса. Век спустя удалось измерить расстояние до некоторых звезд. И еще почти столетие можно было называть Вселенную «всею звездной системой», как это сделал и Эйнштейн в 1917 году.

Космологии повезло, что ее основатель не следил за новостями дальней астрономии. А там шел Великий спор. Дальняя астрономия помимо звезд знала еще и туманности. Одна тянется полосой через все небо и видна невооруженному глазу. Это — Млечный Путь, или по-гречески Галактика. Галилей, глядя в свой телескоп, обнаружил, однако, что это небесное молоко состоит из огромного числа крупинок-звезд. Отсюда возникла гипотеза, что и другие туманности — гораздо меньшие по видимым размерам — представляют собой звездные системы, подобные Млечному Пути, — другие галактики. К 1924 году астрономы убедились, что действительно многие туманности — это огромные звездные системы, удаленные от нашей Галактики. С тех пор Вселенную называют системой галактик, каковых — на сегодняшний день — насчитано сотни миллиардов. А в каждой галактике — миллиарды звезд.

В 1917 году Эйнштейн не знал о галактиках, но как мог он предположить равномерное распределение звезд во Вселенной?! Простой взгляд на небо опровергает это. Неравномерность расположения звезд очевидна: Млечный Путь — явное и несомненное сгущение звезд. Как стало известно позже, равномерно лишь распределение галактик, о чем Эйнштейн не ведал.

Другое его предположение правдоподобней: действительно, как скорости звезд могут сравниться со скоростью света?! Но говорить-то надо не о звездах, а о туманностях-галактиках. Фактически Эйнштейн подразумевал, что средняя плотность Вселенной постоянна во времени. Но почему?! Неудивительно, что астроном Виллем де Ситтер, единственный упомянутый в статье Эйнштейна, не принял этих предположений и искал иное решение эйнштейновских уравнений гравитации.

Эйнштейн же считал, что отказ от упрощающих предположений — это отказ от решения. И его предположения дали вполне определенное решение — вполне определенную форму Вселенной, сферически симметричную, конечную и безграничную, как и положено всякой сфере — и двухмерной и трехмерной. Радиус вселенской сферы R определялся плотностью вещества:

$$1/R^2 = (G/c^2).$$

Астрономы могли проверять это соотношение, оценивая по отдельности плотность и кривизну пространства, особенно «не заморачиваясь», как эта формула получилась у астрофизика Эйнштейна. Зато ему пришлось поморочиться. Дело в том, что принятое им предположение о плотности вещества, постоянной в пространстве-времени, будучи подставлено в его уравнение

$$[R] = (G/c^2) [T] \quad \#$$

давало лишь очень скучное решение: нулевая плотность и плоская геометрия пространства-времени, никаких звезд и сплошная космическая пустота.

Эйнштейн придумал выход, добавив в свои уравнения нечто, не имевшее никаких оснований в тогдашней физике, — некую новую универсальную константу:

$$[R] + [\lambda] = (G/c^2) [T].$$

И получил гораздо более интересное решение, связавшее радиус сферической Вселенной R и ее плотность с величиной новой константы

$$1/R^2 = (G/c^2) = \lambda.$$

Эта связь оправдала и само диковинное третье предположение: чрезвычайно малая плотность Вселенной (из-за огромных расстояний между звездами и галактиками) означала огромный радиус вселенской сферы и суперчрезвычайную малость новой константы. Потому-то можно было не беспокоиться о влиянии новой константы на уже известные и подтвержденные гравитационные эффекты планетного масштаба.

И все же не странно ли, что год спустя после того, как Эйнштейн получил свои долгожданные уравнения гравитации, он решился их изменить? Он понимал это, написав другу: «В теории гравитации я сделал нечто такое, за что меня могут посадить в сумасшедший дом».

Совершенно иначе смотрел на новую константу де Ситтер — первый собеседник и соучастник Эйнштейна в решении космологической задачи. Голландский астроном высшей математической пробы, он еще в 1910 году включился в поиск новой теории гравитации. В частности, он выяснял, способны ли предложенные теории объяснить ньютоново движение Меркурия, и знал, что не способны. Поэтому успех Эйнштейна, объяснившего это астрофизическое явление в 1915 году, был для него важнейшим событием, поднявшим авторитет германского физика до небес. И когда Эйнштейн дерзнул и необъятные небеса объял физической теорией, де Ситтер присоединился первым. Он, правда, счел неубедительными упрощения Эйнштейна и придумал свое, астрономически резонное: если плотность вещества во Вселенной столь мала, то почему не предположить для упрощения, что ею можно вовсе пренебречь, то есть считать плотность вещества нулевой. Соответствующее решение, при наличии космологической постоянной, давало вполне определенную и весьма особую

геометрию пространства-времени, которую надо было изучать и прикладывать к астрономическим наблюдениям.

Говорить о геометрии в отсутствие вещества было, однако, выше сил физика Эйнштейна, и он решение де Ситтера не принял всерьез. А впоследствии считал введение космологической константы своей ошибкой. И оказался неправ — сегодняшние космологи не мыслят своей науки без величины, которая у них, правда, перестала быть универсальной константой, и в ней появилась физическая начинка, но это — уже другая история и пока еще не история науки, а ее сегодняшний день.

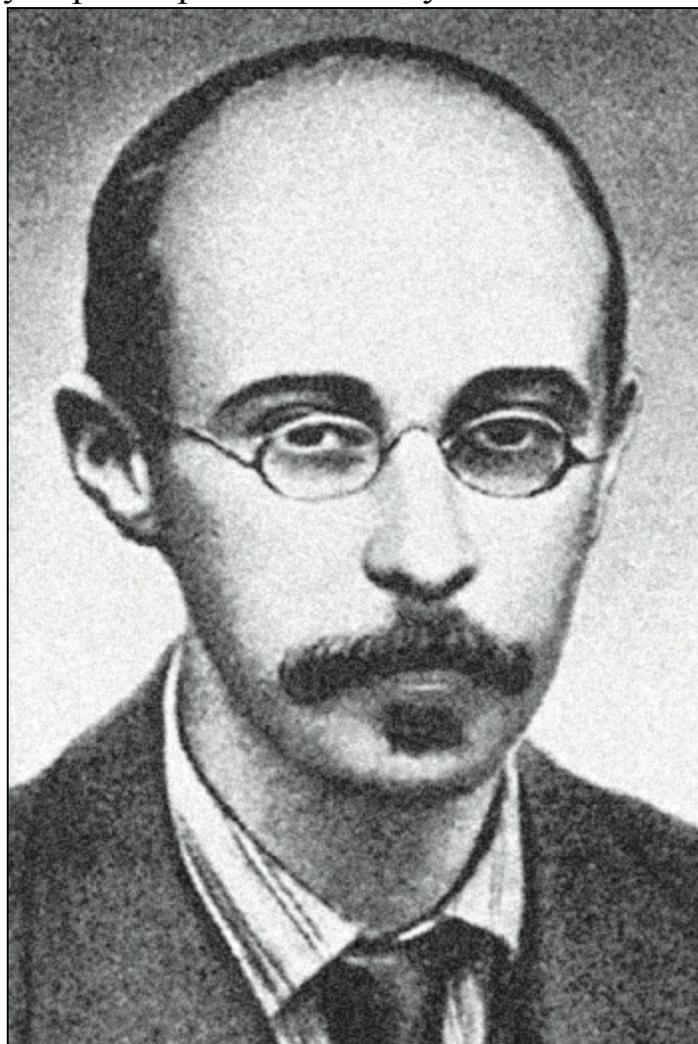
Физики ценят великих коллег не за их ошибки. А историкам дороги и ошибки, если они помогают понять драматизм истории открытий, сделанных живыми людьми, которым тоже свойственно ошибаться.

Выясняя физику Вселенной, Эйнштейн следовал своему принципу делать все как можно проще, но не проще, чем надо. Однако незаметно нарушил его — переупростил Вселенную. Пять лет спустя это понял российский математик Александр Фридман.

Александр Фридман: «Вселенная не стоит на месте»

Весной 1922 года в главном физическом журнале того времени — «Zeitschrift für Physik» появилось обращение «К физикам Германии». Правление Германского физического общества сообщало о трудном положении коллег в России, которые с начала войны не получали немецких журналов. Поскольку лидировала тогда физика немецкоязычная, речь шла о жестоком информационном голоде. У немецких физиков просили публикации последних лет для пересылки в Петроград.

В том же самом журнале, двадцатью пятью страницами ниже, помещена статья, полученная из Петрограда и противоречащая призыву о помощи. Имя автора — Александра Фридмана — физикам было неизвестно, но статья с названием «О кривизне пространства» претендовала на многое. Автор утверждал, что решения Эйнштейна и де Ситтера, опубликованные за пять лет до того, не единственно возможные, а лишь весьма частные случаи, что плотность, постоянная по всему пространству, вовсе не обязана быть постоянной во времени. Именно в этой статье впервые сказано о «расширении Вселенной». Астрономическим фактом оно станет семь лет спустя; еще предстоит измерять и вычислять, сколько миллиардов лет расширение длилось и каково расстояние до космического горизонта, но горизонт науки расширил в 1922 году 34-летний Александр Фридман.



Александр Фридман

Если, набравшись смелости, уподобить Вселенную маятнику, то решения

космологической задачи, полученные Эйнштейном и де Ситтером, можно сопоставить положениям маятника в покое. Таких положений два: когда маятник просто висит и когда он стоит «вверх ногами». А Фридман обнаружил, что вселенский маятник вовсе не обязан покоиться, ему гораздо естественней двигаться. И рассчитал закон движения на основе уравнений Эйнштейна. При этом показал, что движение возможно и при равной нулю космологической константе. Вселенная может и расширяться и сжиматься в зависимости от ее плотности и скорости в некий момент. Итак,

маятник в покое	=	маятник в движении
-----		-----
космология Эйнштейна		космология Фридмана

Уподобим теперь Вселенную резиновому шарик, помня суть эйнштейновской теории гравитации — связь кривизны пространства-времени и состояния вещества. Эйнштейн можно сказать, обнаружил, как радиус шарика связан с плотностью и упругостью резины. Начал он с шарика, радиус которого постоянен.

Упрощение задачи — один из главных инструментов теоретика. В потемках незнания иногда ищут ключ под фонарным столбом лишь потому, что в других местах искать невозможно. Как ни странно, подобные поиски бывают успешны. Решать сложные уравнения для произвольного случая не под силу даже автору уравнений. Эйнштейн начал с простейшего случая — с максимально однородной геометрии, хотя наблюдения астрономов в 1917 году не говорили об однородности вещества во Вселенной.

Зато второе его предположение — о неподвижности шарика — выглядело столь же очевидным, как и постоянство звездного неба. Только на фоне неподвижных звезд астрономам удалось изучить движение планет, а физикам найти управляющие этим движением законы. И наконец, вечность Вселенной привычно от имени науки противостояла религиозной идее о сотворении мира.

На эту аксиому и поднял руку Фридман.

Вернемся к резиновому, точнее к Риманову, шарик, Вселенной, который Эйнштейн взял в руки в 1917 году. Сделав свои упрощающие предположения, Эйнштейн с огорчением обнаружил, что никакого шарика в его руках на самом-то деле нет, есть только бесплотные аксиомы. Он обнаружил, что уравнения гравитации, выстраданные им два года назад, не имеют ожидаемого решения! Помочь ему мог любой ребенок, знающий, что настоящая жизнь резинового шарика начинается, если его надуть. Но Эйнштейн — не даром великий физик — и сам додумался до этого. Добавленная им в уравнения космологическая постоянная стала тем воздухом, упругость которого уравновесила упругость вселенского шарика.

Познакомившись с космологией Эйнштейна, Фридман оценил грандиозность поставленной физической задачи, однако математическое ее решение вызвало у него сомнения. Конечно, маятник может пребывать в покое, но это лишь частный случай его общего колебательного движения. Или на языке математики: у дифференциального уравнения, каким было и уравнение гравитации Эйнштейна, обычно бывает целый класс решений, зависящих от начальных условий.

В своей статье Фридман и показал, как меняется сферическое пространство-время в соответствии с его «упругостью», определяемой уравнением Эйнштейна. В одном из

возможных решений радиус Вселенной возрастал, начиная с нулевого значения, до некоторой максимальной величины, а затем опять уменьшался до нуля. А что такое сфера нулевого радиуса? Ничто! И Фридман написал:

Пользуясь очевидной аналогией, будем называть промежуток времени, за которое радиус кривизны от 0 дошел до R_0 , **временем, прошедшим от сотворения мира.**

Легко так сказать математику, но для физика Эйнштейна результат был настолько странным, что... он ему не поверил, нашел мнимую ошибку в вычислениях и сообщил об этом в краткой заметке в том же журнале. Лишь получив письмо от Фридмана и проделав еще раз вычисления, Эйнштейн признал результаты русского коллеги и в следующей заметке назвал их «проливающими новый свет» на космологическую проблему. Для историков же ошибка Эйнштейна проливает свет на масштаб работы Фридмана.

Эйнштейн о работе А. Фридмана

Замечание к работе А. Фридмана «О кривизне пространства» (18.09.1922)

...Результаты относительно динамического мира, содержащиеся в упомянутой работе, кажутся мне сомнительными... В действительности указанное в ней решение не удовлетворяет уравнениям поля. Значение этой работы в том и состоит, что она доказывает постоянство радиуса мира во времени...

К работе А. Фридмана «О кривизне пространства» (31.05.1923)

В предыдущей заметке я подверг критике названную выше работу. Однако моя критика, как я убедился из письма Фридмана, основывалась на ошибке в вычислениях. Я считаю результаты Фридмана правильными и проливающими новый свет. Оказывается, уравнения поля допускают наряду со статичными также и динамические (меняющиеся во времени) решения для структуры пространства.

Сегодняшний студент может проделать выкладки Фридмана на двух страницах и скептически подумать: «Ну что он, в сущности, сделал?! Решил уравнение, только и всего! Так ведь и школьники решают уравнения. Да, эйнштейновские уравнения сложнее квадратных, но и Фридман — не школьник. Эйнштейн нашел один „корень“ своих уравнений, Фридман — остальные».

Так, может, разговор о величии работы Фридмана — отголосок тех лет, когда радетели славы российской любой ценой отыскивали отечественных первооткрывателей? Нет, хотя бы потому, что те самые радетели старались забыть об отечественном вкладе в космологию, объявленную прислужницей «поповщины», на языке советской идеологии. Уж если сам Фридман писал о «сотворении мира», то блюстители государственной атеистической религии не могли разрешить такую свободу слова. Космологию в СССР закрыли в 1938 году и разрешили только после смерти Сталина.

Формулы в физических работах живут собственной жизнью. Это и хорошо, и не очень. Хорошо, потому что от формул легче отделяются научные предрассудки и необязательные

интерпретации. Но, с другой стороны, глядя на формулы, написанные много лет назад, трудно вникать в смысл, который в них вкладывали при их появлении.

Работу Фридмана нельзя назвать просто еще одним космологическим решением, которое поставили на полку рядом с первым эйнштейновским решением. Фридман открыл глубину космологической проблемы, обнаружив, что изменение — это родовое свойство Вселенной. Тем самым понятие эволюции распространилось на самый всеобъемлющий объект. Кроме того, возник вопрос, до сих пор не имеющий убедительного ответа: каким образом множественность космологических решений теории гравитации соотносится с принципиальной единственностью самой Вселенной?

Был ли результат Фридмана случайной удачей или наградой за смелость?

Первую научную работу он сделал, еще будучи гимназистом, в чистой математике — в теории чисел. Окончив математическое отделение университета, занимался динамической метеорологией — наукой о самых хаотических в подлунном мире процессах, попросту говоря, о предсказании погоды. Математика его науки напоминала математику эйнштейновской теории гравитации. А главное — ему, математику, легче было устоять перед авторитетом великого физика и усомниться в его результатах.

Значит, Фридман — чистый математик? Не только. Еще студентом он участвовал в «Кружке новой физики» под руководством жившего тогда в России Пауля Эренфеста — друга Эйнштейна.

История позаботилась и о других благоприятных обстоятельствах. В годы Гражданской войны из-за нехватки преподавателей Фридман вел курсы физики и Римановой геометрии. А в 1920 году судьба свела его с Всеволодом Фредериксом. Этого русского физика мировая война застала в Германии. Его ожидала бы грустная участь подданного вражеской державы, если бы не заступничество Гильберта, знаменитого немецкого математика. В результате Фредерикс на несколько лет стал его ассистентом — как раз тогда, когда завершалось создание теории гравитации и когда к Гильберту приезжал Эйнштейн для обсуждения своей теории. Свидетелем всего этого был Фредерикс.

Немецкие физики и до 1922 года старались помочь своим коллегам в России. Особенно заботился об этом Эренфест. Летом 1920 года в Петроград пришло его письмо, первое после многолетнего перерыва. В августе 1920 года Фридман ответил Эренфесту, что изучает теорию относительности и собирается заняться теорией гравитации.

В мире уже бушевал бум вокруг новой теории — после того, как подтвердилось предсказанное Эйнштейном отклонение лучей света от далеких звезд. Начали появляться популярные брошюры о новой теории, включая и книжку самого Эйнштейна. В предисловии автора к русскому переводу, изданному в Берлине осенью 1920 года, читаем:

Более чем когда-либо, в настоящее тревожное время следует заботиться обо всем, что способно сблизить людей различных языков и наций. С этой точки зрения особенно важно способствовать живому обмену художественными и научными произведениями и при нынешних столь трудных обстоятельствах. Мне поэтому особенно приятно, что моя книжечка появляется на русском языке.

Двусторонний обмен физико-математическими идеями в космологии произошел на удивление скоро.

Так кем же был основоположник динамической космологии — математиком или физиком? Лучше других сказал о Фридмане хорошо знавший его человек: «Математик по образованию и таланту, он и в юности, и в зрелых годах горел желанием применять математический аппарат к изучению природы».

Чтобы применять математический аппарат к такому уникальному объему, как Вселенная, необходима смелость, которой не учат ни на математическом, ни на физическом факультетах. Она или есть, или ее нет. Смелость Фридмана видна невооруженным глазом: добровольно пошел на фронт — в авиацию, а будучи уже профессором (и автором новой космологии), участвовал в рекордном полете на аэростате.

Итак, одаренность, знания и смелость. Такое сочетание вполне достойно награды, которую иногда называют везением, иногда — благоприятными историческими обстоятельствами. Но Фридману не суждено было дожить до времени, когда стал ясен масштаб его открытия. Талантливый и смелый человек умер в 37 лет от брюшного тифа.

Спустя семь лет в дневнике академика В.И. Вернадского появилась запись:

Разговор с Вериго об А.А. Фридмане. Рано погибший, может быть гениальный ученый, что мне чрезвычайно высоко характеризовал Б.Б. Голицын в 1915 и тогда я обратил на него внимание. А сейчас — в связи с моей теперешней работой и его идеей о раздвигающейся пульсирующей Вселенной — я прочел то, что мне доступно. Ясная, глубокая мысль широко образованного, Божьим даром охваченного человека. По словам Вериго — его товарища и друга — это была обаятельная личность, прекрасный товарищ. Он с ним сошелся на фронте. В начале большевистской власти Фридман и Тамаркин, его приятель, но гораздо легчевеснее его, были прогнаны из Университета. Одно время Фридман хотел бежать вместе с Тамаркиным: может быть, остался бы жив?

(Математик Я.Д. Тамаркин, товарищ и соавтор Фридмана в нескольких работах, покинул Советскую Россию в 1922 году. Работал и преподавал в Кембридже.)

После германского физика, голландского астронома и российского математика следующий важный вклад в космологию сделали американские астрономы.

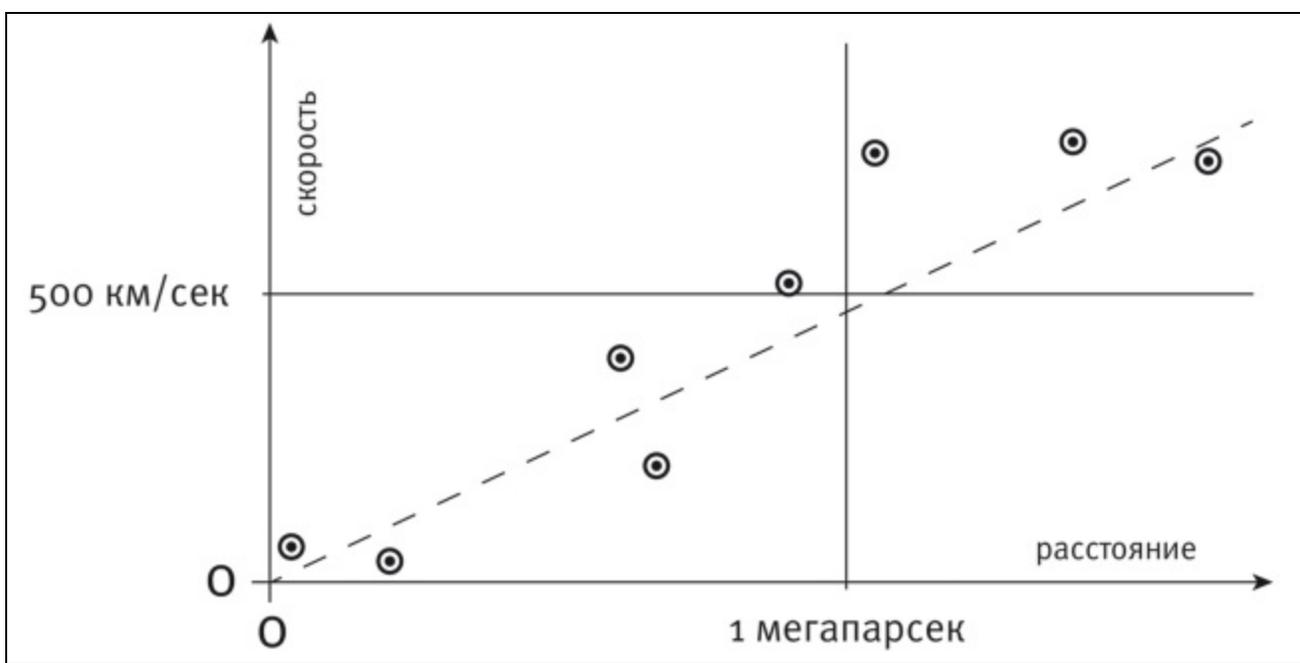
Закон красного смещения

Эта история началась с замечательного открытия, сделанного в 1908 году Генриеттой Ливитт, которая тогда не была еще астрономом. Она смотрела не вверх, в звездное небо, а вниз — на фотопластинки, сделанные в Гарвардской обсерватории за много лет. В те времена женщин к телескопам еще не допускали даже в этой, самой свободной части Америки. Она работала в группе вычислительниц, измеряла положения и яркости звезд на фотопластинках разного времени. Занимаясь этим скучным делом, она зарегистрировала тысячи звезд в Магеллановом облаке — туманности, соседней с нашей Галактикой. При этом Ливитт заметила несколько звезд-цефеид, яркость которых менялась с постоянным периодом, зависящим от их яркости, и получила определенное соотношение между этими величинами.

Открытие это стало возможно, поскольку расстояние до Магелланова облака много больше его размеров, и, значит, все тамошние цефеиды находятся от наблюдателя примерно на одинаковом расстоянии, хоть и неизвестном тогда. Вскоре удалось измерить расстояние до одной цефеиды в нашей Галактике, после чего соотношение между яркостью и периодом цефеид стало абсолютно определенным. И теперь уже можно было, измеряя период и видимую яркость цефеиды, вычислить истинное расстояние до нее. Это дало способ определять расстояния до туманностей. Именно этим способом астроном Эдвин Хаббл, работавший в обсерватории в Калифорнии, установил к 1924 году, что большинство туманностей — далекие галактики, подобные нашей.

К тому времени подоспело совсем другое исследование туманностей-галактик. Его начал в 1912 году Весто Слайфер в обсерватории в Аризоне, определяя скорости небесных объектов по их спектрам. Скорость света не зависит от скорости его источника, но цвет зависит: каждая спектральная линия смещается в красную сторону, если источник удаляется, и в фиолетовую — если приближается. Смещение тем больше, чем больше скорость. Это явление, называемое эффектом Доплера, имеет тот же характер, что изменение звука гудка поезда или машины с сиреной, когда они проносятся мимо. К 1923 году в результате очень трудоемких исследований спектров галактик Слайфер измерил скорости 41 галактики, из которых, как оказалось, 36 удаляются. Наблюдения явно намекали на что-то.

Этот намек воспринял уже известный нам Эдвин Хаббл, и, похоже, его восприимчивость усилилась в результате участия в 1928 году в конгрессе Международного астрономического союза в Голландии. Вернувшись с конгресса, Хаббл к данным Слайфера добавил еще несколько измерений и в 1929 году опубликовал статью, в которой представил новый закон — закон красного смещения. Данные о скоростях и расстояниях галактик дали примерно такую картину:



Пунктирная прямая означает, что скорости удаления галактик пропорциональны их удаленностям

$$V = H \cdot D$$

и что на расстоянии 1 мегапарсек ($\approx 3 \cdot 10^{19}$ км) галактики разлетаются со скоростью примерно 500 км/сек.

Иными словами, Вселенная расширяется, как и предсказывало решение Фридмана. Разделив расстояние 1 мегапарсек на скорость 500 км/сек, получим, что расширяется уже примерно два миллиарда лет. А что было в начале расширения два миллиарда лет назад? Расстояний между галактиками никаких не было, было некое сплошное единое целое. А если принять решение Фридмана полностью, то единое целое Вселенной возникло в некий момент в виде точки с бесконечной плотностью вещества.

Так это выглядит сейчас. Однако к началу 30-х годов картина была иной. Хаббл вскоре после публикации своей статьи разуверился в том, что закон красного смещения говорит о расширении Вселенной. Хоть он и откладывал на своем графике «скорость», впоследствии, до конца жизни, он считал это лишь условным обозначением спектрального сдвига, «как будто» этот сдвиг — результат эффекта Доплера. Измеряли-то именно спектральный сдвиг, а какая физика его определяла — вопрос открытый, считал он.

Причиной такого скептицизма было то, что возраст Вселенной в два миллиарда лет слишком мал для астрономов. Некоторые звезды старше, и даже Земля, согласно хронологии, основанной на изучении радиоактивных изотопов, оказывалась старше Вселенной, что абсурдно. Вслед за статьей Хаббла его коллега Фред Цвикки предложил другое объяснение: фотоны от далеких галактик краснеют не потому, что галактики удаляются, а потому, что за миллионы лет своего путешествия фотоны от далеких галактик теряют часть своей энергии в силу какого-то взаимодействия с межгалактической средой, как говорили тогда, фотоны «стареют» или «устают». Чем дольше путешествуют, тем больше теряют, а значит, согласно квантовому соотношению $E = h\nu$, частота фотонов уменьшается, то есть они краснеют.

В 1931 году Хаббл писал де Ситтеру:

Мы глубоко тронуты Вашей любезной оценкой наших работ о скоростях и

расстояниях туманностей. Мы говорим о «видимых» скоростях, чтобы подчеркнуть эмпирический характер этой связи. Интерпретацию, мы думаем, следует оставить Вам и тем очень немногим, кто компетентны обсуждать этот вопрос.

Осторожный астроном-наблюдатель пишет «туманности» вместо «галактики», хотя именно благодаря ему галактики утвердились в астрономии. Но его осторожное отношение к космологии более резонно.

Математический аппарат эйнштейновской теории гравитации настолько отличался от обычного аппарата астрофизики, что лишь немногие освоили его по-настоящему, тем более что применялся этот аппарат в считанных задачах. Да и сама возможность начала Вселенной шокировала и отбивала охоту у зрелых астрофизиков расширять свои математические знания.

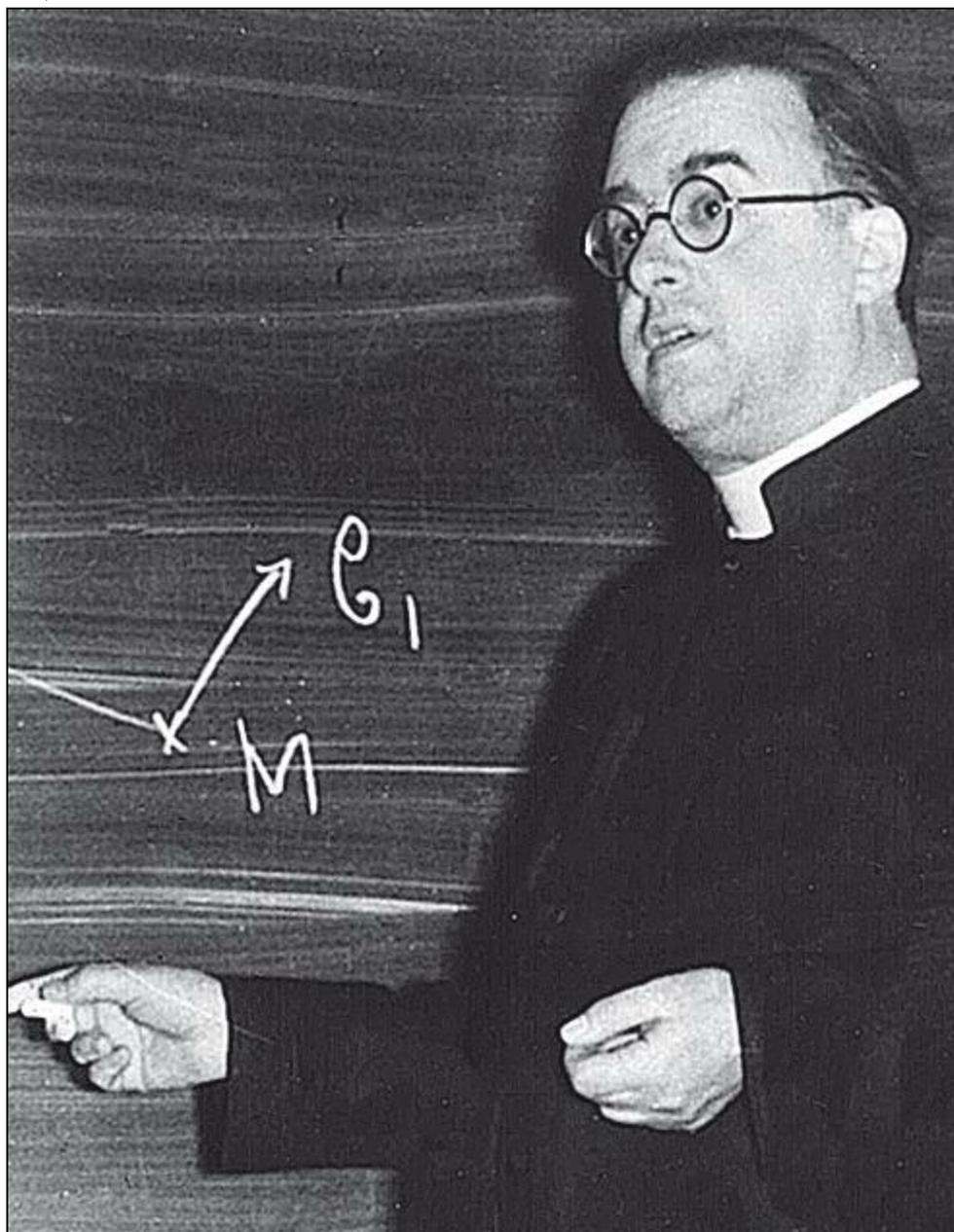
Видный британский астрофизик Эдвард Милн, например, чтобы не переучиваться, придумал в 1932 году замену релятивистской космологии: шарообразное скопление галактик разлеталось в окружающую пустоту по законам Ньютоновой физики. Так он получил формулу разлета, сопоставимую с законом красного смещения, но, как быть с перигелием Меркурия и с отклонением света, «теория» Милна не знала и знать не желала. Зато не было проблемы «сотворения мира» из точки. Что случилось в начале разлета, было неясно, но пространству и времени ничего не угрожало.

Сопоставлять наблюдения с кустарными формулами Милна наравне с уравнениями Эйнштейна не могли астрофизики, широко смотрящие на мир. Двое из них были особенно компетентны обсуждать закон красного смещения.

Жорж Леметр, астрофизик в сутане

Этот бельгийский астрофизик, прежде чем заняться наукой, стал католическим священником, всегда ходил в сутане, а свои статьи подписывал «аббат Ж. Леметр». Легко представить себе, какие мысли возникали у его коллег при первом знакомстве. Но даже и после знакомства нелегко было признать, что в его научных текстах все доводы подчинены обычной научной логике. Проще было его смелые идеи связать с сутаной, чем в них вдуматься.

Загадкой истории остается то, что закон красного смещения, называемый соотношением Хаббла, Леметр открыл за два года до Хаббла — в 1927 году. И лишь затем узнал, что динамическую космологию, с которой он связал наблюдаемый разлет галактик, открыл Фридман еще в 1922-м.



Жорж Леметр

Определился с профессией Леметр позже обычного, поскольку в его юношеские планы вторглась мировая война. Он изучал инженерные науки в Католическом университете, когда

его мобилизовали в армию. Служил в артиллерии, за боевые заслуги был награжден орденом. После войны изучал математику, физику, астрономию и... готовился к рукоположению. Приняв сан священника, в 1923 году поехал в Англию изучать астрофизику под руководством Эддингтона, а затем в США — в ту самую Гарвардскую обсерваторию, где открытием ритма цефеид начался выход за пределы нашей Галактики. Со знанием первых плодов внегалактической астрономии вернулся в Бельгию и стал профессором в родном университете.

В 1927 году Леметр опубликовал свою ныне самую знаменитую, а тогда совершенно не замеченную статью. Опубликовал он ее на французском языке в неведомом бельгийском журнале — Бельгия отнюдь не была великой научной державой, а главными языками тогдашней астрофизики были английский и немецкий.

«Однородная Вселенная с постоянной массой и увеличивающимся радиусом объясняет радиальную скорость внегалактических туманностей» — длинное название статьи говорит и об астрономическом поводе, и о главном результате. Автор использовал статью Хаббла 1926 года о расстояниях до «внегалактических туманностей», то бишь других галактик, и статью коллеги Хаббла по обсерватории — о скоростях галактик. Заметив связь этих величин, Леметр оценил коэффициент разлета галактик (ныне называемый коэффициентом Хаббла) и получил около 600 км/сек | Мпк — величина того же порядка, что у Хаббла два года спустя. При этом Леметр теоретически объяснил удивительный астрономический факт на основе нового, как он думал, решения уравнений Эйнштейна.

Опубликовав работу в малоизвестном журнале, Леметр тем не менее старался донести ее до первых лиц в тогдашней астрофизике. Он послал статью Эддингтону, но тот ее не прочитал (или не понял). Когда в 1927 году в Бельгию приехал Эйнштейн, Леметр встретился с ним и рассказал о своей работе. Эйнштейн указал ему на работу Фридмана, но, хоть и не имел математических доводов против, отвергнул физическую реальность расширяющейся Вселенной. По свидетельству Леметра, Эйнштейн ему сказал: «Математика у вас правильная, но физика отталкивающая».

Наконец, в 1928 году, Леметр отправился в соседнюю Голландию на конгресс Международного астрономического союза, встретился с его президентом де Ситтером, «космологом № 2», и попытался рассказать ему о своей работе. Увы, то ли президент был слишком занят конгрессом, то ли подобно Эйнштейну не допускал новую возможность, то ли в силу первого и второго просто не понял молодого теоретика-священника, говорящего о разбегании галактик.

На этот конгресс приехал из Америки и Хаббл. Нет свидетельств о его контакте с Леметром, но идея связать расстояния и скорости галактик слишком проста, чтобы исключить возможность какой-то неявной, опосредованной подсказки. Впрочем, простота идеи делает вполне вероятной и независимость двух открытий. Вскоре после возвращения с конгресса Хаббл опубликовал свою знаменитую статью. Так или иначе, роль Хаббла в открытии основного факта космологии несомненна — его измерения внегалактических расстояний, как и измерения скоростей Слайфером, были отправным пунктом для Леметра.

Именно астрономический авторитет Хаббла утвердил закон красного смещения как реально наблюдаемый факт. На обсуждении этого факта в Англии при участии Эддингтона и де Ситтера был признан теоретический тупик. Узнав об этом, Леметр вновь послал Эддингтону свою статью 1927 года. Тот наконец понял, организовал публикацию английского перевода статьи в главном астрономическом журнале и в своем комментарии

назвал ее «блестящим решением» космологической проблемы.

В английском переводе, правда, удалены абзацы, в которых Леметр «преждевременно» открыл закон красного смещения, то есть соотношение Хаббла. Люди, склонные к интригам, усматривают в этом какие-то тайные мотивы Эддингтона и нездоровые амбиции Хаббла. Такое подозрение, однако, не вяжется с тем, как Эддингтон превозносил Леметра, который к тому же сам одобрил сокращенный перевод своей статьи. Более простое объяснение состоит в том, что Эддингтон и Леметр хотели донести до коллег новое космологическое решение, а не затеять приоритетный спор по поводу уже признанного астрономического открытия — признанного благодаря авторитету Хаббла в астрономии.

Решение Леметра, подкрепленное соотношением Хаббла — Леметра, признали теперь также де Ситтер и Эйнштейн. Признали, собственно, то, что эйнштейновская теория гравитации может описать разлет галактик как расширение самого пространства-времени.

Почему же выдающиеся теоретики так долго не принимали простое следствие теории, которую все они признавали истинной? Почему Эйнштейн, еще в 1923 году признавший результаты Фридмана «правильными и проливающими новый свет», не находил им места в своей картине мира вплоть до публикации Хаббла 1929 года?

Потому что даже теоретическая физика — наука экспериментальная, и в ней факты природы бывают весомей задушевных идей. И потому что физическое понятие Вселенной оказалось гораздо глубже представления обо «всем видимом мире».

Космологии повезло, что сперва Эйнштейн нашел одно-единственное космологическое решение — одно решение для единственной Вселенной. Второе решение де Ситтера легко было забраковать, поскольку в нем не было никакого вещества, сплошная пустота. Но Фридман предложил выбор из бесконечного семейства космологических решений, каждое отвечало набору из трех величин: величина космологической постоянной, плотность вещества и скорость расширения в некий момент времени. Возможные типы космологических сценариев очень различались: вечное расширение, начинающееся с нулевого или конечного радиуса; расширение, переходящее в сжатие; сжатие до нуля или до конечного значения радиуса. Что делать с этим трижды бесконечным разнообразием космологий, было непонятно. При отсутствии наблюдаемых ориентиров действовала лишь личная интуиция, и она сказала Эйнштейну «нет», возможно, еще и потому, что Фридман из всего многообразия космологий выделил ту, которая начиналась с нулевого радиуса — «от сотворения мира».

Леметр нашел наблюдаемый ориентир — разлет галактик, и решение он выбрал не столь вызывающее: расширение начиналось с конечного радиуса в бесконечно удаленном прошлом. Кроме того, Фридман предполагал «начинку» Вселенной в виде пыли или идеального газа, где отдельные пылинки-молекулы-звезды (галактики) не замечают остальных. А Леметр принял более физическое описание «начинки», добавив к ней излучение.

Опираясь на работу Леметра, Эддингтон указал на неустойчивость первой космологической модели Эйнштейна. Чисто теоретически — математически — идеально симметричный карандаш может стоять вертикально на острие грифеля, но малейшее отклонение ведет к падению. Так же и статичная Вселенная Эйнштейна при малейшем возмущении начнет «падать», расширяясь, сжимаясь либо деформируясь как-то иначе. В сценарии Леметра модель Эйнштейна была «начальным» состоянием в бесконечно удаленном прошлом.

Сам Леметр, не довольствуясь астроматематикой, думал о физическом смысле начала расширения. В 1931 году он выдвинул идею «первичного атома», понимая атом в древнегреческом смысле, как нечто целое, о частях чего не имеет смысла говорить, а фактически имея в виду гигантское «первичное ядро», аналогичное атомному ядру — тогда главной загадке физики. Он глазами физика всматривался в то состояние Вселенной в прошлом, когда ее вещество, еще не разделенное на галактики, представляло собой нечто сплошное и ядерное. В физике ядра тогда мало что было ясно, кроме свойств радиоактивного распада, с чего и начался путь к открытию ядра. Леметр предположил, что нечто, подобное радиоактивному распаду ядер, стало началом расширения Вселенной — распад первичного ядра. То была лишь общая идея, но идея физическая и связанная с насущной тогда проблемой — с поиском теории ядра. Единственный подкрепляющий довод Леметр нашел в незадолго до того открытых космических лучах, в которых заподозрил осколки «первичного взрыва».

Однако представление о каком-то резком начале, о рождении Вселенной было совершенно неприемлемо для Эддингтона и, судя по молчанию, для Эйнштейна. Лишь спустя несколько десятилетий оно вошло в космологию и стало чуть ли не самоочевидным следствием расширения Вселенной. Тогда уже знали, что космические лучи рождаются в разнообразных астрофизических процессах, включая процессы на Солнце, и лишь в 1965 году обнаружились подлинные осколки «первичного взрыва» — реликтовое излучение.

Что же мешало Эйнштейну оценить новую фундаментальную идею уже при ее появлении в начале 1930-х? Да, идея эта не рождала ясных надежд на экспериментальное подкрепление. Но Эйнштейн тогда уже десять лет — во все большем одиночестве — занимался не менее теоретическими идеями в поисках так называемой «единой теории поля». Приходится вспомнить о грустном законе Планка, согласно которому новые фундаментальные идеи требуют открытости молодого ума. Эйнштейну было уже за 50.

Кроме того, размышляя об идее Леметра, вводящей в физику «начало Вселенной», трудно избежать другого грустного вывода, что на оценку идеи влияла «одежка» астрофизика-священника. Не только Фридман видел параллель с библейским сотворением мира. Легко было заподозрить Леметра в тайном — быть может, даже для него самого — желании подкрепить религию наукой. Это тем более грустно, что сам Леметр подобную связь отвергал по принципиальным религиозным основаниям. Как человек науки, он прекрасно понимал отличие объективного знания об устройстве природы от глубоко личной религиозной веры и это свое понимание счел нужным высказать в чисто научной аудитории:

По моему мнению, теория первичного атома находится вне всяких метафизических или религиозных вопросов. Материалисту она оставляет свободу отрицать всякое сверхъестественное существо. Верующему она не дает возможности ближе познакомиться с Богом. Она созвучна словам Исаии, говорившего о «скрытом Боге», скрытом даже в начале творения. Наука вовсе не должна тушеваться перед лицом Вселенной, и когда Паскаль пытается вывести существование Бога из предположенной бесконечности Природы, мы можем думать, что он смотрит в неправильном направлении. Для силы разума нет естественного предела. Вселенная не составляет исключения, — она не выходит за пределы способности понимания.

Приведенные слова Леметр произнес за два года до того, как стал президентом Папской академии наук (1960). Однако, несмотря на такой почет, идея «первичного атома» была экзотикой для большинства астрофизиков до 1965 года, когда экспериментаторы — случайно — обнаружили космическое фоновое излучение, в котором теоретики опознали наследие «первичного взрыва».

Расширяется Вселенная или стареют фотоны?

Следующий шаг в понимании космологической проблемы сделал соотечественник Александра Фридмана — Матвей Бронштейн. Его участие в физике Вселенной началось в 1931 году с первой обзорной статьи о космологии в журнале «Успехи физических наук», где он воздал должное «покойному русскому математику» и его «наполовину забытой» работе.

Двадцатичетырехлетний теоретик, родившийся на год позже теории относительности, был хорошо подготовлен для трудной задачи. Его интересы охватывали всю фундаментальную физику, и он чувствовал себя свободно в том соединении астрономии, физики и математики, каким была космология. Первую научную работу по квантовой физике он опубликовал в 18 лет, еще до поступления в университет, а к 1931 году сделал и важные работы по астрофизике звезд.

Во введении к обзору, описав звездно-галактическую структуру Вселенной, он подчеркнул, что

астроном-наблюдатель никогда не будет знать ничего о мире как о целом, как бы ни увеличивалась дальность астрономических инструментов. Поэтому может казаться, что космологическая проблема является неприступной крепостью, завоевание которой не может быть уделом эмпирической науки. Но там, где астроном-наблюдатель пришел в отчаяние от своего бессилия, к решению безнадежной проблемы подходит физик.



Матвей Бронштейн, начало 1930-х годов

Избавляя читателя от робости перед космологической задачей, Бронштейн изложил основы математического языка теории гравитации и рассмотрел три модели Вселенной: статичную модель Эйнштейна, пустую модель де Ситтера и динамическую модель Фридмана — Леметра. Диковинные тогда понятия «радиуса мира» и «горизонта событий» он пояснил и обычным языком:

если радиус мира очень велик, то цилиндрическая форма мира [Эйнштейна] так же мало сказывается на явлениях, происходящих в сравнительно небольших участках этого мира, как шарообразная форма Земли сказывается на явлениях, происходящих в пределах одной комнаты; ...письма, адресованные в пункт, отстоящий на расстояние $\pi R/2$ от ближайшей почтовой конторы, в мире де Ситтера никогда не доходят до места назначения, даже если почта передает их со скоростью света.

Завершается обзор главной проблемой:

Космологическая теория безусловно подвергнется еще многим изменениям. Прежде всего ей придется расширить свои сроки, которые все же чрезвычайно

стеснительны для космогонистов.

Бронштейн в своем обзоре не упомянул гипотезу старения фотонов, выдвинутую астрономом Цвикки для объяснения красного смещения. Предположенное в той гипотезе взаимодействие света с межгалактическим веществом не выдерживало астрофизической критики. Гипотеза привлекала тех, кому «понятный» малый эффект был милее грандиозной и непонятной картины Вселенной, разлетающейся во все стороны.

Ситуация изменилась пару лет спустя, когда новый механизм старения фотонов предложили физики с переднего края фундаментальной теории. Теперь речь шла о покраснении фотонов в результате их взаимодействия не с веществом, а с... пустотой. Тогдашние физики поняли, что пустота — это не просто пустое пространство, а квантовый вакуум, в котором идет своя незаметная жизнь — незаметная лишь «невооруженному глазу»: спонтанно возникают и очень быстро исчезают пары электронов и только что открытых позитронов — анти-электронов. В 1933 году появилась гипотеза, что фотон, взаимодействующий с такими виртуальными парами, отщепляет от себя маленькие фотончики и постепенно уменьшает свою энергию — «краснеет». При этом покраснение пропорционально расстоянию, проходимому фотоном через вакуум, что и дало бы соотношение Хаббла.

Это новое слово фундаментальной физики заслуживало рассмотрения. Однако настоящей теории электрон-позитронного вакуума еще не было, так что прямой расчет был уязвим. Бронштейн нашел изящный общий способ проверить гипотезу. Он показал, что, независимо от механизма гипотетического расщепления фотона, из принципа относительности следует вполне определенная связь вероятности распада фотона и его частоты. Соответствующее покраснение различалось бы в разных частях спектра, в отличие от эффекта Доплера и соотношения Хаббла. Так главный наблюдательный факт тогдашней космологии получил фундаментальное обоснование.

При этом осталась и проблема малого возраста Вселенной. С этим справились сами астрономы двадцать лет спустя, уточнив многоступенчатую шкалу расстояний, на которую опирался Хаббл. Первой ступенью этой шкалы была оценка расстояния до ближайших цефеид. Уточнение привело к тому, что шкала расстояний и, соответственно, шкала времени удлинилась в семь раз, устранив вопиющую внешнюю проблему космологии — неувязку возраста Вселенной и возраста Земли.

Оставалась, однако, глубокая внутренняя проблема космологии — проблема начала расширения.

Три фундаментальные константы c , G и h

На космологию и на передний край физики Бронштейн смотрел, можно сказать, свысока — с такого высока, откуда видно «отношение физических теорий друг к другу и к космологической теории». Так он назвал раздел в статье 1933 года «К вопросу о возможной теории мира как целого». В размышлениях об этом вопросе, привлекая историю физики и «географию» применимости разных теорий, он опирался на особую роль трех физических констант: c , G и h — скорость света, гравитационная постоянная и постоянная Планка. Константы эти входят в формулировки фундаментальных теорий, необходимых, в принципе, для описания любого физического явления. Ими можно пренебречь лишь из практических соображений, если не нужна слишком высокая точность. Константы c , G и h можно назвать фундаментальными, встроенными в фундамент мироздания. Но так было не всегда.

Скорость света c , введенная Галилеем и измеренная Ремером еще в семнадцатом веке, стала фундаментальной лишь в 1905 году в *теории относительности*. Гравитационная постоянная G , фактически измеренная Кавендишем в конце восемнадцатого века, а вошедшая в физику в начале девятнадцатого, обрела фундаментальность в *теории гравитации-пространства-времени*, завершенной в 1916 году. А постоянная h , введенная Планком в 1900 году, обрела фундаментальный статус в *квантовой механике*, завершенной к 1927 году.

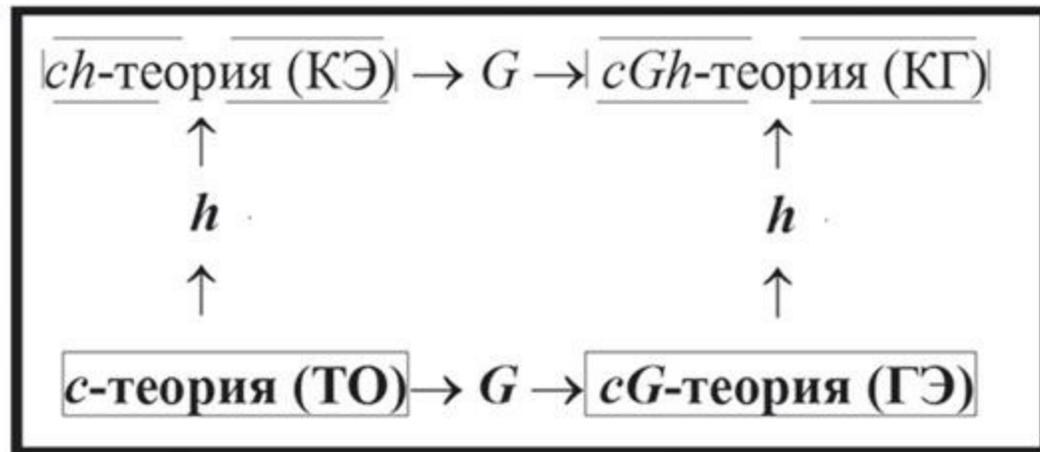
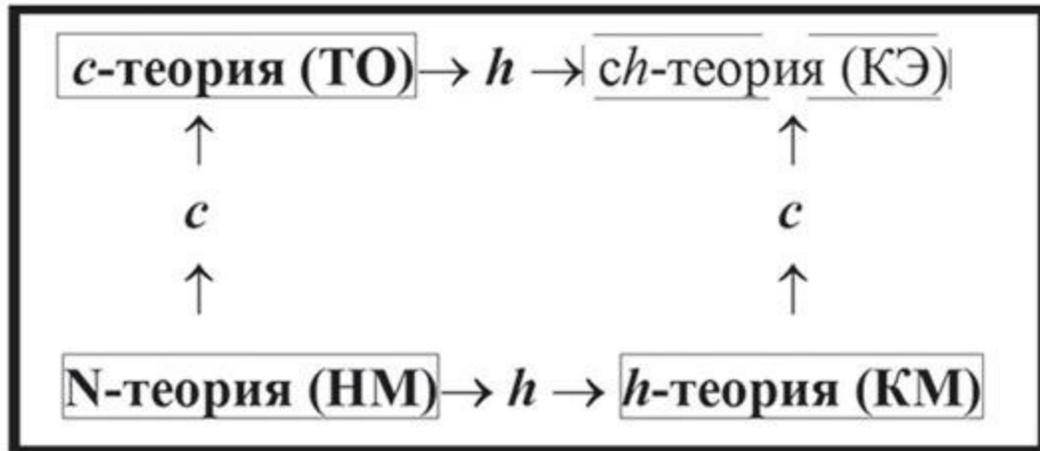
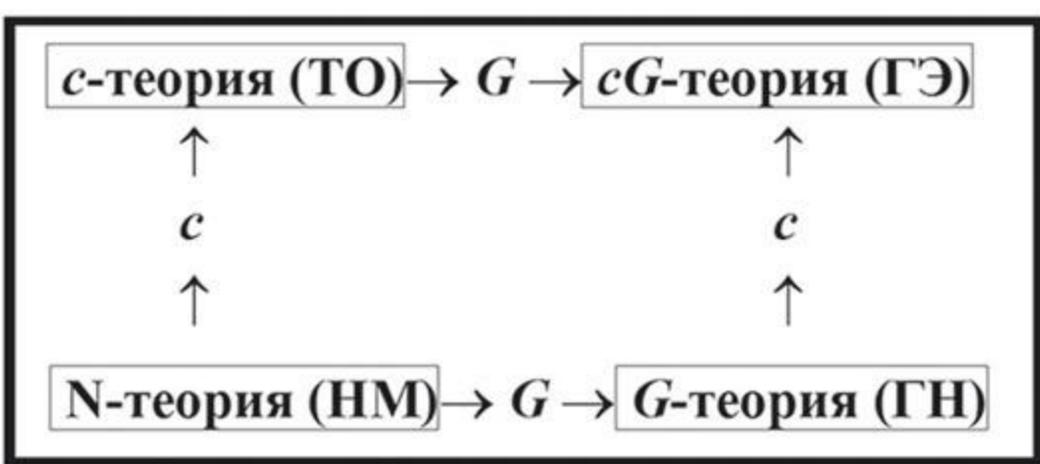
Именно тогда, в середине 1920-х годов, Матвей Бронштейн входил в науку и вырабатывал свой cGh -взгляд на мир теоретической физики. С этой точки зрения, указанные фундаментальные теории можно называть *c -теорией*, *cG -теорией* и *h -теорией*. А теорию гравитации Ньютона — *G -теорией*. Принимая за исходный пункт исторического развития Ньютонову механику как теорию упругого удара, или физику бильярда, Бронштейн представил схемы преемственного развития и смены теорий, которые образуют cGh -карту фундаментальных теорий или (вместо глобуса) cGh -куб, изображенные на рисунке, где полужирный шрифт и сплошные рамки соответствуют теориям, уже созданным к началу 30-х годов.

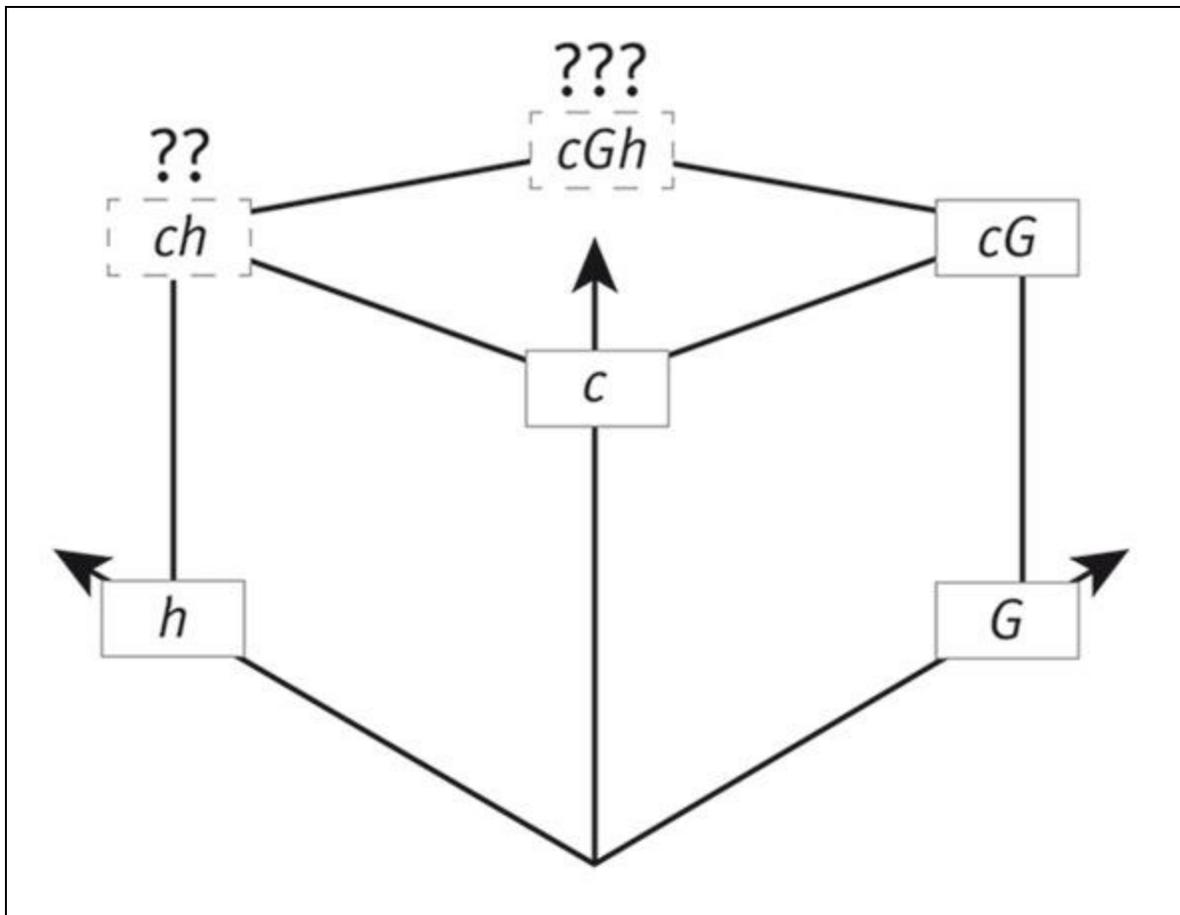
cGh -карта фундаментальной физики

Иллюстрации из статьи М. Бронштейна 1933 года

Классическая механика	Квантовая механика \hbar
Специальная теория относительности c	Релятивистская теория квант \hbar, c







N -теория (НМ) — Ньютонова механика,
 G -теория (ГН) — Гравитация Ньютона,
 c -теория (ТО) — Теория относительности,
 cG -теория (ГЭ) — Гравитация Эйнштейна,
 h -теория (КМ) — Квантовая механика,
 ch -теория (КЭ) — Квантовая электродинамика,
 cGh -теория (КГ) — Квантовая гравитация.

(Полужирный шрифт и сплошные рамки соответствует теориям, уже созданным к началу 30-х годов.)

Три схемы, изображенные слева, образуют грани cGh -куба фундаментальных теорий (справа).

Что же касается теорий, создания которых ожидали, физики о них думали по-разному.

Из уважения к заслугам Эйнштейна начнем с него, хотя к началу 30-х годов его взгляды мало кто разделял. Как ни удивительно, физик, столько сделавший для развития квантовой теории и получивший Нобелевскую премию в основном за это, тогда уже, по существу, не признавал фундаментальный характер постоянной h . Уже лет десять Эйнштейн искал так называемую единую теорию поля, в которой гравитация и электромагнетизм — проявления некоего единого поля, и надеялся, что следствием этой теории станет квантовая теория и сама величина h . В 30-е годы у него остались лишь считанные сторонники.

Все другие теоретики считали h не менее фундаментальной константой, чем c , и ожидали ch -теорию для явлений, где важны h -свойства, а скорости близки к c . Таким, в частности, был гипотетический эффект покраснения фотонов, который Бронштейну удалось

оценить и отвергнуть. Однако при всем почтении перед величайшим достижением Эйнштейна надо сказать, что роль гравитации в насущных проблемах тогдашней физики считалась — и вполне резонно — несущественной. Поэтому константа G в качестве основной выглядела гораздо менее убедительно, чем, например, элементарный электрический заряд, а также массы электрона и протона, из которых, как считалось к началу 30-х годов, построено все вещество.

Почти все теоретики, работавшие на переднем крае физики, свое внимание сосредоточивали на одной ch -грани cGh -куба, не заглядывая на cG -грань, на которой находились гравитация и космология. Да и Риманова геометрия, необходимая в теории гравитации, настолько отличалась от языка остальной физики, что лишь немногие ее освоили. Среди этих немногих был Бронштейн. Он понимал, что космология требует теорию явлений, в которых существенны и кванты и гравитация, то есть cGh -теорию.

Главная проблема космологии радикально отличается от обычных проблем физики и астрофизики, которые касаются многочисленных явлений, наблюдаемых в разных реализациях и с разных сторон. А Вселенная не только абсолютно единична, но — если верить теоретическим моделям Фридмана — Леметра — может быть в принципе не охватываема наблюдениями в силу своей бесконечности.

Оценить это отличие помогает пример Владимира Фока — выдающегося российского теоретика и виднейшего специалиста в теории гравитации. Он учился у Фридмана и его знаменитые статьи по космологии перевел по просьбе автора на немецкий язык для публикации в Германии. Не сомневаясь в математической правильности решений Фридмана, он не мог признать эти решения описанием Вселенной *в целом* именно потому, что *целое* это недоступно наблюдению.

Бронштейн студентом слушал лекции Фока и впоследствии с ним общался близко, однако космологию считал законной областью для размышлений физика-теоретика.

Для физика труднейший вопрос космологии: почему из множества возможных решений осуществилось то, которое мы наблюдаем, — расширение с определенной скоростью, радиусом кривизны и плотностью? В обычных задачах физики ответ на такого рода вопрос сводится к начальным условиям и к законам, управляющим данным явлением. В космологии ключевая проблема — как описать то начальное состояние, что привело к нынешнему — наблюдаемому — состоянию. Идея Леметра о первичном атоме и его «радиоактивном» распаде заменила формально-математическое начало яркой, но неопределенной физической метафорой. Чтобы превратить эту метафору в физику, надо было бы ответить на каверзные вопросы: почему радиоактивный распад, известный лишь для микромасштабов атомного ядра, может произойти и в мегамасштабном «ядре» всей Вселенной? Как в результате подобного распада возникла наблюдаемая однородность распределения вещества во Вселенной? И, главное, какая физическая теория управляла тем первоначальным распадом?

По мнению Бронштейна, управлять могла лишь cGh -теория.

Звуки физики Джаз-банда

Поиски обстоятельств, в которых родился *cGh*-взгляд на физику, приводят к заметке 1928 года «Мировые постоянные и предельный переход», где обсуждается несколько тем, но постоянные *c*, *G* и *h* выделены как наиболее общие. Автор этой заметки, однако, не Бронштейн, и авторов целых три — Георгий Гамов, Дмитрий Иваненко и Лев Ландау. Самому молодому, Льву, — 20 лет, двум другим по 24. Это их единственная общая статья, хотя они себя именовали Тремя мушкетерами. Матвей Бронштейн, который по возрасту был ближе к Ландау, присоединился к ним через пару лет после возникновения содружества и пользовался их студенческими прозвищами — Джо, Димус и Дау.

Мушкетеры, азартно занимаясь наукой и развлекаясь, стали центром притяжения для компании юных физиков, которая вошла в историю науки под именем Джаз-банда. Не желая жить по нотам, они свободно импровизировали, всегда готовые подхватить тему, развить, а еще лучше опровергнуть. Все как в джазе. Только вместо музыки в их жизни звучали стихи на темы физики и лирики.

Рождение Джаз-банда совпало с рождением *квантовой механики* — первой теории микромира. До того были лишь догадки и гениальные прозрения о физике атомов. А в 1925–1927 годах, в череде головокружительных открытий, возникала общая теория. Необычные понятия новой теории — как звуки джаза — невозможно было принимать равнодушно. Они очаровывали, выводили из себя, вовлекали в новую науку и... побуждали сочинять стихи.

Главный поэт Джаз-банда, Женя Каннегисер, рассказывала много лет спустя:

Джаз-Банд выпускал рукописный журнал «*Physikalische Dummheiten*» [Физические Глупости], который читался в Университете и вообще нахально развлекался по поводу наших учителей. Джо, Димус и Дау были гораздо дальше остальных как по способностям, так и по знанию физики и разъясняли нам все новые увлекательные открытия квантовой механики.

Квантовая механика была такой же новостью для преподавателей, как и для студентов. Поэтому учились в основном по научным журналам и друг у друга — в нескончаемых разговорах и спорах. Такое самостоятельное освоение науки как ничто другое способствовало развитию их способностей и научной смелости.

Дух Джаз-банда запечатлен в «Гимне Теоретикам», сочиненном Женей. Первую строку для «Гимна...» она позаимствовала из «Капитанов» Николая Гумилева:

Вы все, паладины Зеленого Храма,
Над пасмурным морем следившие румб,
Гонзальво и Кук, Лаперуз и де Гама,
Мечтатель и царь, генуэзец Колумб!

Жениных товарищей манили путешествия иного рода:

Вы все, паладины Зеленого Храма,
По волнам де Бройля державшие путь,

Барон Фредерикс и Георгий де Гамов,
Эфирному ветру открывшие грудь!

Ландау, Иваненко, крикливые братья,
Крутков, Ка-Тэ-Эфа ленивый патрон,
И ты, предводитель Рентгеновской рати,
Ты, Френкель, пустивший плясать электрон!

Блистательный Фок, Бурсиан, Финкельштейн
И жидкие толпы студентов-юнцов,
Вас всех за собою увлек А. Эйнштейн,
Освистаны вами заветы отцов.

Не всех Гейзенберга пленяют наркозы,
И Борна сомнителен очень успех,
Но Паули принцип, статистика Бозе
В руках, в головах и в работах у всех!

Но пусть расползлись волновые пакеты,
Еще на природе густая чадра,
Опять неизвестна теория света,
Еще не открыты законы ядра.

И в Цайтшрифте ваши читая работы,
Где темным становится ясный вопрос,
Как сладостно думать, что яростный Боте
Для ваших теорий готовит разнос!

Не стоит объяснять все физические имена и термины. Кому они неизвестны, тот может без них обойтись. Женя и ее друзья не могли. Поясню лишь несколько мест. Де Бройль догадался, что каждая частица, если к ней присмотреться, — кое в чем волна (квантовую механику называли также волновой механикой). Профессор Крутков заведовал в университете Ка-Тэ-Эфом (Кабинетом теоретической физики) без особого пыла, в отличие от легкого на подъем Френкеля в Физтехе. Квантовые идеи Гейзенберга и Паули оказались на редкость успешны, а опыты Боте только что «разнесли» в пух и прах гипотезу самого Нильса Бора.

С помощью стихов Гумилева Джаз-банд приобрел нового участника. Женя встретила его ранней весной 1927 года:

Стояли лужи, чирикали воробьи, дул теплый ветер, и я, выходя из лаборатории на Васильевском острове, повернулась к маленькому ростом юноше, в больших очках, с очень темными, очень аккуратно постриженными волосами, в теплой куртке, распахнутой, так как был очень неожиданно теплый день, и сказала: «Свежим ветром снова сердце пьяно...»

После чего он немедленно продекламировал:

...Тайный голос шепчет: «Все покинь!» —
Перед дверью над кустом бурьяна
Небосклон безоблачен и синь,
В каждой луже запах океана,
В каждом камне веянье пустынь, ^[3] —

и все вступление к этой поэме Гумилева. Я радостно взвизгнула, и мы тут же, по дороге в Университет, стали читать друг другу наши любимые стихи. И, к моему восхищению, Матвей Петрович прочитал мне почти всю «Синюю звезду» ^[4] Гумилева, о которой я только слышала, но никогда ее не читала.

Придя в Университет, я бросилась к Димусу и Джо — в восторге, что нашла такого замечательного человека. Все стихи знает наизусть и даже «Синюю звезду»! Вот как Матвей Петрович вошел в круг Джаз-Банда.

Я помню его, смотрящего через очки, которые у него почти всегда сползали на кончик носа. Он был исключительно «цивилизован». Не только в том смысле, что он все читал, почти обо всем думал, но для очень молодого еще человека он был необыкновенно деликатен по отношению к чувствам и ощущениям других людей, очень благожелателен, но вместе с тем непоколебим, когда дело шло о «безобразном поведении» его друзей.

Не помню, кто его назвал Аббатом, но это имя к нему очень шло. Благожелательный скептицизм, чувство юмора и почти универсальное понимание.

Необычное прозвище Аббат дали ему в другой студенческой компании — астрономической, с которой Бронштейн связался ранее. Он приехал из Киева в 1926 году и поступил учиться на физический факультет, уже успев опубликовать статью — о рентгеновских фотонах — в том самом знаменитом «Цайтшрифте». Его интересовала и физика небесная. Поэтому в университете ходил одновременно на лекции к астрономам и подружился с некоторыми, особенно с Виктором Амбарцумяном. В пригородном поезде между университетом и Пулковской обсерваторией читались вслух интересные книги — необязательно по астрофизике. В частности, повесть Анатоля Франса о жизни и приключениях аббата Куаньяра, доктора богословия и магистра всяческих наук. Острый ум, невероятная образованность и доброжелательность, сдобренная иронией, — все это подсказало молодым астрономам прозвище для своего товарища-физика — Аббат Куаньяр, которое укоротилось до Аббата. Так что аббат Леметр был тут ни при чем, хотя именно тогда он писал свою знаменито не замеченную статью. В истории случайные совпадения соседствуют с неслучайными.

Веселый дух Джаз-банда запечатлелся и в статье Трех мушкетеров о мировых константах, опубликованной в 1928 году в солидном «Журнале Русского физико-химического общества». Зачем понадобились утроенные усилия для статьи, которая не оставила следа в других работах всех троих авторов? И почему идея об особой роли констант *c*, *G* и *h* столь заметна у не-автора Бронштейна?

Мушкетеров вряд ли заботило, что они оставляют историкам трудную задачу — понять

происхождение странной статьи. Но трудные задачи интереснее решать. И вот решение.

Статья родилась не в ученых дискуссиях у доски с мелом, а в дружеском трепе за обедом в студенческой столовой. Кто-то вспомнил, что у одной из джаз-девушек грядет день рождения. И кто-то предложил в качестве подарка посвятить ей научную статью, а заодно повеселиться за счет «зубров» — так они именовали физиков, отставших от скорого поезда науки по возрасту и малой скорости ума. То, что зубры называли физикой, в Джаз-банде обзывали «филологией», «патологией» или просто ахинеей. Такого рода физика находила порой себе место в «Журнале Русского физико-химического общества», от аббревиатуры которого — ЖРФХО — веяло чем-то старорежимным.

Подарочную статью мушкетеры смастерили, можно сказать, из воздуха, в котором витали и трепались всевозможные идеи. В трепе физиков сырые идеи соединяются с идеями здравыми и остроумными, но не настолько определенными, чтобы их предлагать мировой научной публике в «Цайтшрифте». А чтобы поздравить с днем рождения, годится и ЖРФХО. Авторство идей, сложенных в такую рода статью, малосущественно. Почему Аббат не записан среди авторов? Быть может, в тот день его отвлекли какие-то другие дела, скажем, астрономические. А скорее, он уклонился от участия в самой затее. При полнокровном чувстве юмора он был человеком морально более серьезным, чем его друзья.

Как и предполагали мушкетеры, редакция ЖРФХО благосклонно отнеслась к их вкладу в мировую науку. Но поздравительное посвящение изъяли, чтобы к мыслям ученых мужей не примешивать ненаучные чувства. Уцелела, однако, дата в конце статьи, совпадающая с днем рождения невольной виновницы самой затеи.

Когда пять лет спустя Бронштейн развил и опубликовал свой *cGh*-взгляд на физику, он не сослался на статью своих друзей, что было бы для него немыслимо, если бы идея была не его. Человек высокой морали, он ссылался даже на устные замечания.

В понимание *cGh*-физики Бронштейну еще предстояло сделать важный вклад, но рассказ об этом следует начать с событий 1916 года, когда будущие участники Джаз-банда были еще детьми.

Глава 9

Как не состоялась *ch*-революция и родилась *cGh*-проблема

Квантовая гравитация во Вселенной 1916 года

Спустя несколько месяцев после триумфального завершения своей теории гравитации Эйнштейн понял, что она... неверна. Изучая следствия новой теории, он обнаружил, что гравитация не только искривляет лучи света — любая планетная система излучает гравитационную энергию. И первым делом он подумал о самых многочисленных планетных системах — об атомах, где вокруг звезды-ядра движутся планеты-электроны.

Всего лишь в 1913 году Нильс Бор спас эти планетные системы от неминуемо быстрой гибели, грозившей им в силу законов электродинамики: двигаясь по орбите, электрический заряд должен излучать электромагнитные волны и терять свою энергию, притом очень быстро — за миллиардную долю секунды электрон должен врезаться в ядро. Чтобы предотвратить такой коллапс атома, Бор предположил, что помимо законов электродинамики действуют и новые — квантовые — законы, запрещающие электрону излучать, пока он находится на одной и той же орбите, и разрешающие излучить соответствующую разность энергий при переходе — квантовом «перепрыжке» — с одной орбиты на другую.

Теперь же, три года спустя, в 1916 году, Эйнштейн увидел, что атому грозит новая опасность — гравитационное высвечивание:

Из-за внутриатомного движения электронов атом должен излучать энергию не только электромагнитную, но и гравитационную, хоть и ничтожное количество. Поскольку реально в природе такого быть не может, то, видимо, квантовая теория должна изменить не только электродинамику Максвелла, но также и новую теорию гравитации.

Отсюда ясно, что Эйнштейн не считал боровскую h -модель атома подлинной теорией, но осознал также, что и выстраданная им cG -теория гравитации требует h -доработки. «Ничтожность» гравитационного высвечивания он не показал количественно — и правильно сделал. Если в его общую формулу гравитационного излучения подставить параметры атомной планетной системы, то время «гравитационной гибели» атома измерялось бы не миллиардной долей секунды, а миллиардами миллиардов лет! По сравнению с этим ничтожна даже нынешняя оценка возраста Вселенной (десятки миллиардов лет), хотя в 1916 году выражение «возраст Вселенной» еще не имело смысла в физике. Так что никакой наблюдаемой опасности для атомов не было.

Вера Эйнштейна в то, что «реально в природе такого быть не может», относилась не столько к атомам, сколько к его представлению о Вселенной за полгода до публикации его космологии. Идея об эволюции Вселенной была тогда для него чуждой, а в неизменной Вселенной, существующей вечно, смертность атомов недопустима независимо от продолжительности их жизни.

В 1929 году, после признания факта расширения Вселенной и оценки ее возраста, довод Эйнштейна о необходимости квантовать гравитацию потерял силу, но теоретики уже были выше этого. По воле истории именно в 1929 году основатели квантовой механики (то есть h -теории) Гейзенберг и Паули изложили метод квантования электродинамики (то есть построения ch -теории) и заявили, что «квантование гравитационного поля проводится без каких-либо новых трудностей с помощью метода, аналогичного нашему».

Оптимизм этот подразумевал квантование *приближенных уравнений слабой гравитации*, что и проделал в 1930 году Леон Розенфельд. Работая под руководством Паули, он отвечал на вопрос Гейзенберга: не бесконечна ли энергия поля в квантовой электродинамике с учетом гравитации света. По расчетам Розенфельда, эта энергия действительно бесконечна, что обнаружило «новую трудность для квантовой теории волновых полей Гейзенберга — Паули». При этом Розенфельд, однако, не объяснил, как можно доверять бесконечности, полученной в предположении *слабого* поля.

Даже не вникая в эти хитрости, ясно, что, если в расчетах появляется бесконечность, значит, что-то не в порядке с самой теорией. Помимо этого, в конце 1920-х годов появились и другие причины ожидать, что подлинная *ch*-теория принесет в физику революционные перемены, не меньшие, чем принесли теория относительности и квантовая механика.

Так думали почти все фундаментальные теоретики... кроме Эйнштейна. Параллель между электродинамикой и гравитацией, подразумеваемая в его замечании 1916 года, к началу 20-х годов превратилась в его убеждение о глубинном родстве двух сил и в стремление соединить их в некой новой обобщенной *cG*-теории, следствиями которой стали бы и квантовые свойства. Это убеждение увело Эйнштейна из живой бурлящей науки к миру Единой теории поля. Некоторые называют это трагедией, хотя сам он сохранял оптимизм, сдобренный иронией. Но уж точно то была драма.

Прежде всего — драма возраста. Последний существенный вклад в физику Эйнштейн сделал в 1925 году, оценив и развив идею 30-летнего индийского теоретика Бозе, в результате чего в науку вошли «статистика Бозе — Эйнштейна» и «конденсат Бозе — Эйнштейна». Непочтительные физики по этому поводу говорят, что «Эйнштейн почил в Бозе». Великому теоретику было тогда всего 46 лет, но, судя по истории физики, это многовато для фундаментально новых идей.

Эйнштейну можно не сочувствовать — судьба дала ему двадцать поразительно плодотворных лет. Он по-прежнему слушал свою интуицию, а не общественное мнение. Интуиция, однако, повела его «не туда», и резко ослабла восприимчивость к новым фактам. Его размышления об истории идей и людей науки остались увлекательно-проницательными до конца его дней, но для новых идей он все более закрывался, как, например, для идей Фридмана и Леметра.

В 20-е годы стремление объединить гравитацию и электромагнетизм можно было оправдать тем, что других сил и не было известно. В 30-е же появились свидетельства о двух новых типах взаимодействия в микромире. А главное — мотив объединить теории «для красоты» радикально отличался от мотивов успешного новаторства Эйнштейна: *объяснить новый факт*, как в случае фотоэффекта, или *устранить противоречие*, что привело к теории относительности, к теории гравитации и даже к необходимости ее квантовой «модернизации», о чем он говорил вплоть до 1918 года.

Радикальный поворот, можно сказать, переворот, произошел в 1919–1921 годах, когда Эйнштейн надел на себя шоры Единой теории поля и не снимал их до конца жизни. Трудно уйти от мысли, что в этом сыграл свою роль беспримерный триумф 1919 года, когда экспедиция Эддингтона во время солнечного затмения подтвердила «чисто» теоретическое предсказание Эйнштейна об отклонении света. При всей его самоиронии испытание медными трубами выпало на долю Эйнштейна сильнейшее. На него накиннулись репортеры, издатели и просто поклонники знаменитостей:

Хлынул поток газетных статей, и страшное наводнение запросов и приглашений затопило меня так, что мне снится, будто я жарюсь в аду, а почтальон — это сам сатана; он рычит на меня не переставая и швыряет мне в голову очередную кипу писем, между тем как я еще не успел ответить на старые.

Адское наводнение славой могло усилить и без того неслабое доверие Эйнштейна к своей интуиции и сделать это доверие слепым. Так, по крайней мере, думали молодые физики Джаз-банда: неужели великий физик не понимает, что из сколь угодно обобщенной cG -теории не выведешь h -физику, если из констант c и G невозможно получить величину размерности h ?!

А может, Эйнштейн попросту зазнался? Для мании величия оснований у него было больше, чем у многих, но признаков такой мании не видно. Скорее наоборот. Свое величайшее достижение — теорию гравитации — он поставил под (квантовый) вопрос в год ее создания. А спустя двадцать лет, когда теорию уже экспериментально подтвердили и она заняла свое почетное место, он сравнил ее со зданием, «одно крыло которого сделано из благородного мрамора [геометрия пространства-времени], а другое — из низкосортного дерева [описание массы-энергии]». С такими разными крыльями высоко не поднимешься. Поэтому Эйнштейн и пытался перестроить фундамент глубоко внизу, чтобы на новой основе возвести новое здание полной физической теории.

Так или иначе, к 1930-м годам жизнь Эйнштейна все более разъединялась с жизнью фундаментальной физики. И его не занимали новые проблемы, предвещавшие новый кризис и новую революцию в физике.

В ожидании *ch*-революции

Завершенная в 1927 году квантовая механика, или *h*-теория, дала надежную теоретическую основу для физики атомных явлений — поведения частиц, движущихся вне ядра. Другое дело — само ядро.

Тогдашняя физика знала, что мироздание построено из трех видов частиц: протоны, электроны и фотоны. Протон — ядро водорода, самое легкое из ядер. Считалось, что все другие ядра, по весу примерно кратные протону, из соответствующего числа протонов и состоят. А то, что положительный заряд ядер меньше, чем это число, объясняли наличием в ядрах электронов — *внутриядерных электронов*, отрицательный заряд которых компенсирует «лишний» положительный заряд протонов. Так, например, ядро второго по номеру элемента — гелия — считали состоящим из четырех протонов и двух электронов.

К тому времени уже давно расшифровали все три типа радиоактивности — альфа-, бета — и гамма-лучи. Оказалось, что это не столько лучи, сколько частицы: альфа — ядра гелия, бета — электроны, гамма — фотоны очень высокой энергии. Все эти лучи-частицы вылетают из ядер. Но почему из некоторых ядер вылетают альфа-частицы, из других — бета или гамма, а из третьих ничего никогда не вылетает? То был лишь один из безответных вопросов, но только что открытые законы квантовой механики, как считалось, неприменимы к физике ядра. Основания так думать усматривали и в экспериментах, и в теории.

В 1927 году в точных опытах установили, что электроны, вылетающие при бета-распаде ядер, имеют разные энергии, а разность энергий ядра до и после распада больше средней энергии бета-электронов. При этом не было гамма-излучения, которое могло бы спасти баланс энергии.

Это дало Бору основание предположить, что в ядерной физике баланс действительно нарушается — нарушается закон сохранения энергии. Эту страшную гипотезу Бор высказал, будучи уверен, что речь шла о новой, неизученной области физики, для которой требуется *ch*-теория. И опирался он при этом на *h*-теорию квантовой механики, в основе которой знаменитое *соотношение неопределенностей* координаты частицы x и ее импульса $p = mV$:

$$\Delta x \cdot \Delta p > h.$$

Применяя это соотношение к *внутриядерным* электронам, для которых Δx не больше размеров ядра, получали, что диапазон скоростей этих электронов

$$\Delta V > h/m\Delta x.$$

Если сюда подставить массу электрона m , а вместо Δx — размер ядра, окажется, что скорости *внутриядерных* электронов близки к скорости света, и, значит, для описания их поведения нужна *ch*-теория, которой еще не было и в которой мог не выполняться закон сохранения энергии. К этому Бор привлек еще одну загадку тогдашней физики, точнее астрофизики, — загадку звездной энергии: тогда не знали, какой источник энергии обеспечивает сияние звезды на протяжении миллиардов лет. И Бор предположил, что нужный источник объясняется той же самой *ch*-теорией, в которой энергия может рождаться из «ничего» и которая объяснит, как и в каком темпе такое рождение происходит.

В 1929 году Бор послал свою гипотезу Паули. А тот, взамен, выдвинул собственную: в ядрах существуют какие-то нейтральные — незаряженные — частицы, которые при бета-распаде вылетают вместе с электронами, но из-за своей нейтральности уносят неучтенную часть энергии незаметно. В 1931 году противостоящие гипотезы публично встретились на Первом международном конгрессе по ядерной физике в Риме, где большинство участников поддержали Бора.

Надо сказать, что сохранность энергии стала вопросом уже в самом начале ядерной эры. Открытие радиоактивности намекало на порождение энергии из ничего. Потом выяснили, что «не из ничего», а из ядра, где эта энергия неизвестным образом запасена и хранится до поры до времени — до загадочного момента радиоактивного распада.

Так что не надо ставить двойку по физике Нильсу Бору и примкнувшим к нему физикам. Конечно же, они знали, что в неядерной физике закон сохранения действует неукоснительно. Но знали и то, что уже осуществилась замшелая мечта средневековых алхимиков — превратить одно простое вещество в другое, скажем, свинец в золото. В ядерной физике, или, если хотите, в ядерной алфизике, это стало возможно. Добавь к ядру протон — и безо всяких магических заклинаний другое вещество готово. Так можно из свинца сделать золото. Другое дело, что дешевле добыть золото из земли, но это уже вопрос не физики, а экономики.

Так что, заподозрив вечный нано-двигатель в ядре и вечный мега-фонарь в звезде, Бор лишь проявил оправданную смелость. Вопрос был в том, оправдается ли эта смелость в новой теории или все доводы как-то рассеются и возникнет какая-то иная теория ядерных процессов.

На гипотезу же Паули смотрели как на отчаянно искусственную попытку спасти старый закон сохранения энергии. Паули, правда, нашел и другой резон заподозрить новую нейтральную частицу — чтобы предотвратить так называемую азотную катастрофу. Тогда было известно, что свойства ядра зависят от того, содержит ли оно четное или нечетное число частиц. В ядре азота число протонов и внутриядерных электронов было нечетным, а вело себя это ядро как «четное». Участие нейтральной частицы могло бы это противоречие решить. Тем не менее и этот довод большинству теоретиков казался совершенно искусственным. Добавить неведомую нейтральную частицу к трем надежно установленным элементам мироздания — непомерная цена консерватизма. Не случайно и Паули, уже знаменитый среди коллег, несколько лет не решался опубликовать свою гипотезу.

А как на все это смотрели еще не знаменитые физики Джаз-банда?

Джаз-банд, по существу, распался в 1928 году, когда между двумя мушкетерами пробежала черная кошка, а третий — Георгий Гамов — отправился в Европу. В университет он поступил раньше своих друзей, раньше закончил и поехал на стажировку в Германию по стипендии Наркомпроса (тогдашнего Министерства образования).

Гамову повезло не только с талантом при рождении. Повезло еще и в том, что незадолго до отъезда он прочитал важную статью московских теоретиков, а вскоре после приезда в Германию узнал о новых опытах великого Резерфорда по альфа-распаду. Эти везения помогли Гамову сделать свою первую важную работу в физике, и то был первый успех теоретической ядерной физики. За этот успех, помимо мировой славы, Гамов получил и западную стипендию еще на целый год пребывания в лучших физических домах Европы — как раз когда заканчивалась трехмесячная стипендия Наркомпроса. История этого успеха помогает понять, чем тогдашняя физика так притягивала молодых веселых людей, что они посвящали ей стихи и готовы были посвятить жизнь.

Гамов теоретически объяснил одно ядерное явление — альфа-распад, объяснил на основе квантовой механики, безо всякой ch -теории. Это не противоречило общим соображениям Бора, поскольку альфа-частица в восемь тысяч раз тяжелее электрона. Поэтому, подставив ее массу в соотношение неопределенностей, получим, что ее скорость в ядре много меньше скорости света, а значит, для нее достаточно h -теории.

Чтобы ощутить необычность квантовых законов, вспомним историю о лягушке, попавшей в горшок со сливками. Она стала дрыгать лапками, отчего из сливок сбилась твердое масло, и уже с этой подставки выпрыгнула из горшка. Мораль «не падать духом и дрыгать лапками» годится на все случаи жизни. Почти на все — дело плохо, если сливок в горшке вовсе нет, а лягушачьих сил не хватает, чтобы допрыгнуть до края горшка.

Дело, однако, меняется, если обычный горшок заменить на квантовый — если и горшок, и лягушка имеют атомные размеры. Тогда даже и без сливок лягушка имеет шанс выбраться на волю, если, конечно, не падает духом и прыгает. Шанс есть, даже если она прыгает лишь на полвысоты горшка. А чем выше прыгает, тем вероятнее освобождение — сказочно-квантовое проникновение сквозь стенки горшка, на волю. Этот странный результат квантовой механики, названный позже «туннельным эффектом», обнаружили в конце 1927 года московские теоретики Леонид Мандельштам и Михаил Леонтович, статью которых Гамов прочитал перед отправкой в Европу.

Гамов, можно сказать, уподобил альфа-частицу лягушке и атомное ядро — горшку. Он не знал, из чего сделаны стенки ядерного горшка, но обнаружил, что и без этого знания — на основе квантовых законов — можно получить закономерности альфа-радиоактивности, заодно объяснив новые опыты Резерфорда. Тем самым квантовые законы оказались применимы не только в атоме, но и, хотя бы частично, в ядре. Неудивительно, что первооткрыватель атомных законов Нильс Бор, оценив этот результат, выхлопотал несоветскую стипендию для молодого советского теоретика. И неудивительно, что физика, в которой возможны подобные альфа-лягушки, притягивала умных и веселых молодых людей.

Через год после Гамова еще один умный и веселый советский теоретик, Лев Ландау, отправился в Берлин с наркомпросовской стипендией в кармане. Немецкая физика была тогда сильнейшей в мире, в Берлине жил великий Эйнштейн — так что столицу Германии

можно было назвать физической столицей мира. Ландау, однако, вряд ли согласился бы с этим. Да, он считал Эйнштейна не просто великим, а величайшим и созданную им теорию гравитации — самой красивой из физических теорий. Но восхищение перед творениями прошлого не мешало 21-летнему Ландау видеть насущные проблемы физики и считать, что великий Эйнштейн, сделавший важные первые шаги к квантовой теории, пошел не туда.

Оба теоретика оказались однажды на собрании Германского физического общества, и вот что об этом рассказал очевидец (Отто Фриш):

Когда Эйнштейн закончил доклад, председательствующий почтительно предложил задавать вопросы. Тут в задних рядах встал молодой человек и сказал примерно так: «То, что профессор Эйнштейн рассказал нам, не так уж глупо. Однако второе уравнение, строго говоря, не следует из первого. Необходимо предположение, которое не доказано...» Все обернулись, разглядывая смельчака. Все, кроме Эйнштейна, который смотрел на доску и думал. Через минуту он перевел взгляд на аудиторию и сказал: «Молодой человек совершенно прав; забудьте все, что я сегодня вам рассказал».

Не надо думать, что молодой человек — Ландау — упивался своей смелостью. Ему, как и Эйнштейну, было интереснее происходившее на доске и важнее, как соотносятся написанные мелом формулы с устройством природы. То есть он любил саму науку, а не себя в ней. Любил самозабвенно, хотел взаимности, но не грустил, когда взаимность доставалась не ему, а кому-то другому.

После Берлина Ландау отправился в Цюрих, где царил Вольфганг Паули, о котором в гимне Джаз-банда пелось:

...но Паули принцип та-ТА-та та-ТА-та
В руках, в головах и в работах у всех!

Знаменитый принцип Паули выразил новое свойство элементарных частиц. Любые два электрона похожи друг на друга гораздо больше, чем две капли воды. Они абсолютно одинаковы, совершенно неотличимы. Размышляя над подопытными фактами микромира, Паули понял, что кое-что в этих фактах можно объяснить, если одинаковым частицам, подобным электрону, запрещено находиться в одинаковых состояниях. Строжайший запрет — не собираться даже по двое. Так в 1924 году Паули открыл закон природы, совершенно неведомый в мире обыденных явлений, но явления эти объясняющий, — к примеру, почему вещества отличаются друг от друга, как воздух от воды.

К 1929 году, когда Ландау прибыл в Цюрих, в физике зияли две огромные проблемы, о которых пелось в гимне Джаз-банда:

...Опять не известна теория света,
Еще не открыты законы ядра.

Альфа-частичный успех Гамова в физике ядра оказался лишь удачной партизанской вылазкой, не более. Неподступным оставался главный вопрос: из какого сверхпрочного

материала сделаны стенки ядерного горшка, в котором прыгают альфа-лягушки? Неподступной оставалась и загадка электронов, выпрыгивающих из ядра, — то есть бета-частиц. Казалось очевидным, что электроны содержатся в ядре — раз они оттуда вылетают, но по нескольким причинам им там нельзя было находиться. Невыносимо-необъяснимое поведение внутриядерных электронов побудило Гамова сделать печатку, которую он прикладывал каждый раз, упоминая бета-электроны в своих текстах: под черепом вместо костей скрестились две буквы «бета».



Печатка Гамова (ок. 1931) — череп и бета-кости.

В те времена считалось, что крошечную ядерную тьму может рассеять не свет, а *теория света*, которая уже четверть века была «опять не известна». Ведь поведение электронов должно определяться электромагнитными силами, а свет — проявление тех же сил. Загвоздка была в том, что электромагнитная теория света споткнулась об атомную физику в 1905 году, когда Эйнштейн предположил, что свет состоит из частиц — фотонов. Гипотеза прекрасно объяснила фотоэффект, принесла Эйнштейну Нобелевскую премию, но... не лезла ни в какие теоретические ворота.

Поиски квантовой теории света оставались безуспешными до 1929 года, когда за дело взялся Паули, и у него что-то начало получаться. Потому-то для Ландау нестоличный Цюрих с Паули был привлекательнее столичного Берлина с Эйнштейном. И не только для Ландау. Незадолго до того ассистентом Паули стал уроженец Берлина Рудольф Пайерлс. Биографически и психологически очень разные молодые физики приглянулись друг другу и нашли себе совместную работу, как раз связанную с проблемой «частиц света». Работа превратилась в статью и подружила их на всю жизнь.

Ландау, несмотря на его просоветский и антибуржуазный задор, понравился ироничному Паули тем, что, можно сказать, утер ему нос. За два года до того, рассматривая поведение электронов в металле, Паули открыл новое явление, называемое «парамагнетизмом Паули». А новичок из России обнаружил другое свойство тех же самых электронов в металле — свойство противоположное по знаку. Паули понял, что новичок прав, и порекомендовал благотворительному фонду Рокфеллера дать Ландау стипендию еще на год. А новое свойство называли «диамагнетизмом Ландау».

Таким образом сделав себе имя в мировой физике, сам Ландау, однако, в отчете о командировке назвал эту работу лишь одной из частных задач. А центральной счел «узловую проблему», которая «привела к грандиозным затруднениям», — «проблему объединения в одно целое двух наиболее общих современных теорий: принципа относительности и теории квант».

Чтобы прочувствовать, как этот центральный узел воспринимался в 1930 году, последуем за Ландау в Копенгаген, где тогда у Нильса Бора собрался совет знатоков квантовой теории. Их собрал «Новый кризис теории квант», как назвал свою статью Бронштейн, узнавший о событии, надо думать, от Ландау:

Совет заседал в шутивно-торжественной обстановке, в руках у Паули был рог, в который он трубил каждый раз, когда хотел отметить в разбиравшихся теоретических построениях непонятное место или новую трудность. К сожалению, ему приходилось трубить в свой рог слишком часто. Положение было признано безнадежным, что и было отмечено в шуточной резолюции, в которой все присутствующие зарекались впредь заниматься квантовой теорией (Паули якобы решил впредь заниматься математикой, Гейзенберг — музыкой, и только осторожный Бор заявил, что еще подумает).

В такой ситуации совершенно неосторожный Ландау не стал ждать, пока старшие коллеги выяснят, что делать. Он верил, что лучшее решение кризиса — революция, и ему нравилась революционная идея Бора о том, что новая физика пожертвует законом сохранения энергии ради истинной картины мира. Частицы в ядре так плотно прижаты друг к другу, что этого... просто не могло быть по тогдашним теориям. И так же частицы сжаты в центрах звезд, неистощимо светящихся. Так что гипотеза Бора могла осветить оба края тогдашней физики.

Ландау взялся за проблему с двух сторон — и в микрофизике, и в астрофизике. Вернувшись в Цюрих, он занялся обеими задачами и в одну увлек Пайерлса. Горячие дискуссии шли иногда в присутствии Паули, но тот слушал с прохладцей. Как-то раз распаленный Ландау спросил Паули, неужели он считает все, им сказанное, чушью?! Тот ответил остужающе: «О нет, что вы! Произнесенное вами настолько сумбурно, что нельзя даже сказать, чушь это или нет!»

Льва Ландау это не остудило. Он был уверен, что нащупал принципиальный дефект *ch*-теории электромагнитного поля — невозможность измерить основную величину теории, величину самого поля. А значит, само понятие «поле в точке» не имеет права на существование. Доказав таким образом, что без *ch*-революции не обойтись, они с Пайерлсом отправились к Бору в Копенгаген со статьей, в которой заявили, что следовали «красивой идее проф. Нильса Бора».

Вместо благодарности своим последователям Бор, однако, их вывод отверг. Как это выглядело, вспоминал его ассистент Леон Розенфельд:

Я прибыл в Институт в последний день февраля 1931 года, и первым, кого я увидел, был Гамов. Я спросил, что новенького, — он в ответ протянул рисунок: Ландау, привязанный к стулу и с кляпом во рту, а перед ним Бор, с поднятым пальцем говорящий: «Ландау, ну, пожалуйста! Дайте же мне хоть слово сказать!» За несколько дней до того Ландау и Пайерлс привезли свою статью — показать Бору. «Но, — добавил Гамов весело, — похоже, он не согласен с их доводами, и такие вот дебаты идут все время». Пайерлс уехал за день до того, «в состоянии полного изнеможения», как сказал Гамов. Ландау оставался еще несколько недель, и я убедился, что Гамов не слишком преувеличил драматизм ситуации.



Само по себе несогласие Бора не укротило молодого Льва и не помешало ему впредь считать себя его учеником, и только его одного. Отправив статью в печать, он вернулся на родину в приподнятом настроении, что видно по его отчету о командировке:

Пайерлсу и мне удалось на основании анализа возможных экспериментов показать, что основные физические принципы квантовой механики не выполнены — при наличии предельной скорости распространения [скорости света]. Этим заранее обрекаются на неудачу все попытки непосредственного обобщения квантово-механических методов [*h*-методов] на случай релятивистской теории квант [*ch*-теории], попытки, за последнее время ставшие весьма частыми в мировой литературе. С другой стороны, установленные нами неравенства, представляющие собой дальнейшее обобщение знаменитого принципа неопределенности Гейзенберга, дают возможность понять основные положения и характер еще не известной нам полной теории вопроса. В частности, такой подход дает возможность объяснить существование при бета-распаде радиоактивных ядер

непрерывного распределения скоростей вылетающих электронов — явления, которое, ввиду своего резкого противоречия закону сохранения энергии (Н. Бор), совершенно не могло быть истолковано с точки зрения современных теорий.

Вскоре после возвращения на родину Ландау опубликовал и статью об астрофизическом обосновании гипотезы Бора. В глазах нынешних физиков, это статья о теории остывающих сверхплотных звезд — белых карликов, а также предсказание гравитационного коллапса — неостановимого сжатия — звезды, если ее масса превышает критическую величину порядка полутора масс Солнца. Но сам Ландау тогда считал, что обосновал наличие в звездах «патологических» областей, требующих для своего описания ch -теории и рождающих излучение звезды «из ничего»:

Следуя красивой идее проф. Нильса Бора, можно думать, что излучение звезд обязано просто нарушению закона сохранения энергии, который, как впервые указал Бор, несправедлив в релятивистской квантовой теории, когда отказывают законы обычной квантовой механики (что доказывается экспериментами по непрерывному спектру электронов бета-распада и стало вероятным благодаря теоретическому рассмотрению [ссылка на статью Ландау — Пайерлса]). Мы ожидаем, что все это должно проявляться, когда плотность материи станет столь большой, что атомные ядра придут в тесный контакт, образовав одно гигантское ядро.

Бронштейн, также принимая идею Бора о несохранении энергии в ch -физике, внес ее и в космологию — в виде переменной космологической «константы» в уравнении гравитации. Так в 1933 году к микрофизике подключилась гравитация и... закрыла подрывную идею. Именно при обсуждении этой работы Ландау сообразил, что эта идея несовместима с теорией гравитации. В конце статьи Бронштейн добавил:

Ландау привлек мое внимание к тому факту, что выполнение гравитационных уравнений эйнштейновской теории для пустого пространства, окружающего материальное тело, несовместимо с несохранением массы этого тела.

Иными словами, как бы экзотична ни была физика «патологической» области звезды (или ядра), законы гравитации — в пустоте, вдали от всей экзотики — не допускают изменения массы-энергии.

Узнав об этой новости из письма Гамова, Бор ответил, что тем хуже для теории гравитации:

Я вполне согласен, что отказ от сохранения энергии принесет столь же серьезные последствия для эйнштейновской теории гравитации, как возможный отказ от сохранения заряда для теории Максвелла.

И тут же сообщил свою новость:

В течение этой осени [1933] нам с Розенфельдом удалось подтвердить полное соответствие основ квантовой электродинамики и измеримости

электромагнитного поля. Надеюсь, некоторым утешением для Ландау и Пайерлса будет то, что глупости, которые они совершили в этом противоречивом вопросе, не хуже тех, в которых повинны все мы, включая Гейзенберга и Паули.

Нынешнему физику неловко за великого Бора, столь упорно покушавшегося на закон сохранения энергии, и за «детский» довод великого Ландау (ведь гравитация пренебрежима в микрофизике). Но неловкость превращается в сочувствие, когда узнаешь, что даже Паули, с самого начала защищавший сохранение энергии и для этого придумавший новую нейтральную частицу, говорил о важности гравитационного аргумента.

Подытоживая, можно сказать, что в матче Бор — Ландау счет стал 1:1 в пользу науки, когда Бор обезвредил приговор Ландау относительно *ch*-теории, а Ландау закрыл гипотезу Бора о несохранении энергии с помощью *cG*-теории, или некантовой теории гравитации. Впрочем, оба не спешили признать счет. Бор еще задавал отчаянный вопрос: «Надо ли требовать, чтобы все эффекты гравитации имели такое же отношение к атомным частицам, как электрические заряды имеют к электронам?» А Ландау так и не признал рассуждения Бора — Розенфельда, считая их чересчур мысленными, нереализуемыми практически.

В этой драматичной ситуации за «узловую проблему» *ch*-теории и взялся Бронштейн. Гравитационный довод против несохранения энергии его вполне убедил. А соображения Бора — Розенфельда он не просто принял, а понял лучше самих авторов. Весной 1934 года он опубликовал заметку, в которой упростил логику рассуждений Бора — Розенфельда, изложив ее на трех страницах вместо шестидесяти (!) и, главное, прояснив их физическую суть, к которой мы сейчас и обратимся.

Обсуждался вопрос, как измерить электромагнитное поле в точке.

До квантовой эры ответили бы, что надо поместить малый пробный заряд — скажем, электрон — в данную точку и измерить скорость, приобретенную им за малое время. Поле измеряется тем точнее, чем точнее измерены координата и скорость заряда и чем меньше время измерения.

Этот рецепт, однако, невыполним в силу квантовой теории, в которой *соотношение неопределенностей* ограничивает совместную точность координаты частицы x и ее скорости V , точнее, импульса $p = mV$:

$$\Delta x \cdot \Delta p > h.$$

Физический смысл этого соотношения можно понять, считая, что положение электрона измеряют, освещая его светом с длиной волны $= \Delta x$. Фотон с такой длиной волны имеет импульс h/λ и способен именно на эту величину изменить измеряемый импульс электрона $\Delta p = h/\lambda$.

Помимо этих *h*-ограничений точности, действуют и *c*-ограничения. Чтобы измерять положение электрона со все большей точностью, надо уменьшать длину волны освещающего света. При этом импульс отдачи электрона породит дополнительное поле, искажая само измеряемое поле. А если энергия фотона превысит энергию покоя электрона $E = mc^2$, то и вовсе может родиться новый электрон, неотличимый от исходного. В результате неопределенность измерения поля никак не уменьшить до нуля. Такого рода рассуждения привели Ландау к выводу, что точность измерения поля в точке принципиально ограничена. Значит, «поле в точке» неизмеримо, само понятие неопределимо и не имеет права на

существование. А вместе с ним и надежды на применимость квантовой механики к c -теории, какой была электродинамика. Отсюда Ландау сделал вывод о том, что подлинная ch -теория потребует каких-то совершенно новых понятий: «В правильной релятивистской квантовой теории, которая пока не существует, не будет ни физических величин, ни измерений в смысле квантовой механики».

Слабое место этих рассуждений Бор увидел в том, что предполагалось измерять поле электроном, как точечным зарядом. Электрон же — не точечная частица, а... толком не известно что. И свойства электрона, его заряд и масса при всей важности их надежно измеренных значений не входят в формулировку электродинамики Максвелла и, значит, не могут претендовать на особую роль в квантовой электродинамике.

Расхождение Бора с Ландау касалось понятия «возможного эксперимента» и — вопреки экспериментальному звучанию — было почти философским. Бор считал, что надо обсуждать измерение поля в конечной области пространства с заданной точностью, а затем уменьшать размер области. Исходил он из того, что разрешено все не запрещенное теорией и что измерительный прибор должен быть макроскопическим, как и сам экспериментатор. Соответствующий эксперимент Бор описал детально, и слабонервным теоретикам лучше не смотреть на многостраничные описания пробных тел произвольной массы и заряда, способных вдвигаться одно в другое, бесчисленных маленьких зеркал у каждой части пробного тела, жестких креплений к твердому каркасу, гибких магнитных нитей и тому подобное. Однако то был *мысленный* эксперимент — способ анализа самой теории.

Попросту говоря, мысленный экспериментатор, действующий в квантовой теории электромагнетизма, имеет две «ручки» управления: одна меняет заряд пробного тела, другая — его массу. А поскольку теория электромагнетизма никак не ограничивает отношение массы и заряда, экспериментатор может выбирать эти величины произвольно.

Простой ch -довод в поддержку этой позиции: если бы измерению поля препятствовали какие-то фундаментальные факторы, то некий характерный масштаб ограничивал бы размер области пространства, в которой такое измерение еще возможно. Однако в основе квантовой электродинамики лишь две константы — c и h , из которых нельзя составить никакую длину.

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ФИЗИКОВ



Делегат международной конференции по физике, известный ученый, проф. НИЛЬС БОР, беседует с сотрудниками Украинского физико-технического института. На фото (слева направо) — Ландау, проф. Бор, Розенфельд, Бронштейн.

Вполне вероятно, что именно о *ch*-физике говорили в мае 1934 года Ландау, Бор, Розенфельд и Бронштейн, когда газетный фотограф застал их за одним столом во время конференции в Харькове. Все четверо принимали близко к сердцу проблемы *ch*-теории, еще не созданной, но уже названной «Релятивистской теорией квант». Переводя историю физики на юридический язык, можно сказать, что Ландау с Пайерлсом в 1931 году приговорили эту теорию к смерти — «Казнить! Нельзя помиловать», Бор с Розенфельдом в 1933-м ее полностью реабилитировали, а Бронштейн в 1934-м внятно объяснил, почему «Казнить нельзя, помиловать», но уточнил, что касается это только *ch*-теории электромагнетизма.

Впрочем, возможно, в той беседе 1934 года говорили не только о *ch*-теории. Ведь с 1931 года, когда Ландау поставил *ch*-вопрос ребром, ситуация изменилась кардинально. Гордиев узел *ch*-проблем не пришлось разрубать. Большая его часть развязалась благодаря физикам-экспериментаторам. За считанные месяцы в физическую картину миру вошли аж целые три новые элементарные частицы. Вместо одной нейтральной частицы, заподозренной Паули, появились две: нейтрон и нейтрино. Открыли также первую античастицу — антиэлектрон, названный позитроном. Ранее такая частица, предсказанная теорией, казалась ее роковым дефектом, а теперь она стала триумфальным подтверждением.

В этом клубке проблем для гравитации, казалось бы, места нет. В истории физики, однако, не раз бывало, что внешне очень непохожие явления оказывались в родстве. Галилей и Ньютон не поверили бы, что притяжение пушинок к натертому янтарю и взаимодействие магнитов имеют отношение друг к другу и к свету. Глубинное родство этих явлений выяснил лишь Максвелл.

Впрочем, теоретическую физику двигают вперед не красноречивые примеры из прошлого, а внутренняя логика настоящего в стремлении к будущему пониманию.

Матвей Бронштейн и проблема cGh -теории

В упомянутой ch -заметке Бронштейна 1934 года нет ни слова о гравитации, но в его мыслях она давно присутствовала, что и помогло ему увидеть «принципиальное различие между квантовой электродинамикой и квантовой теорией гравитационного поля». Так он написал в статье 1936 года.

Основной объем этой работы посвящен квантованию слабой гравитации, когда искривление пространства-времени очень мало. В этом приближении он получил два результата — не удивительные, но совершенно необходимые для здоровой теории, чтобы обеспечить преемственность научного знания. Представляя гравитационное взаимодействие материальных тел посредством «промежуточного агента — „гравитационных квантов“», он и з cGh -теории слабого поля получил в неквантовом пределе эйнштейновский cG -закон гравитационного излучения, а в классическом пределе — Ньютонов G -закон гравитации.

Совершенно неожиданный результат, однако, Бронштейн получил, выйдя за пределы слабой гравитации. Построенная им квантовая теория слабой гравитации для такого выхода была бесполезна. Он воспользовался другим методом, хорошо им продуманным, — проанализировал измеримость величин, описывающих гравитацию, или, условно говоря, «гравитационное поле». И обнаружил, что, в отличие от ch -теории электромагнетизма, cGh -теорию гравитации уже не спасают ни исходное рассуждение Бора — Розенфельда, ни усовершенствованный им вариант. Дело в том, что у мысленного экспериментатора в гравитации нет двух независимых ручек для массы и заряда, а только одна: гравитационный заряд и инертная масса — это, по существу, одно и то же, что обнаружил еще Галилей.

Это отличие, как показал Бронштейн, в ситуации, когда важны и квантовые, и гравитационные эффекты, ведет к противоречию и требует

радикальной перестройки теории и, в частности, отказа от Римановой геометрии, оперирующей... принципиально не наблюдаемыми величинами — а может быть, и отказа от обычных представлений о пространстве и времени и замены их какими-то гораздо более глубокими и лишенными наглядности понятиями.

Разумеется, эти «гораздо более глубокие» понятия должны давать обычное пространство-время как приближенное, предельное описание. Но и с этой оговоркой предсказание Бронштейна требовало силы духа. Оно не только противоречило квантовым авторитетам Паули и Гейзенберга, заявившим, что квантовать гравитацию не труднее, чем электродинамику. Экспериментальные открытия «обезвредили» основные парадоксы теории, и теоретики, уставшие от пророчеств и ожидания революционных перемен, занялись решением насущных задач атомной и ядерной физики. А тут Бронштейн вновь провозглашает неизбежность радикальной перестройки?! В 1936 году это выглядело не столько смелым, сколько неприличным.

Такая перемена в научно-общественном настрое, вероятно, и побудила Бронштейна невольный пафос своего прогноза смягчить ироничной фразой «Wer's nicht glaubt, bezahlt einen Taler» («Кто этому не верит, с того талер»). Этими словами кончается сказка братьев Гримм, герой которой умудрился, с невероятными приключениями, выполнить невыполнимые задания принцессы, за что, разумеется, и получил ее в награду. (В 1936 году

немецкий язык был главным языком мировой физики.)

Предыдущие пророчества говорили о соединении квантов и теории относительности в последовательной *ch*-теории. Бронштейн добавил к соединению гравитацию и говорил о *cGh*-теории. Большинство коллег смотрели скептически на такое добавление. У них был количественный резон: в мире атомов сила гравитации ничтожно мала по сравнению с другими. Знаменатель соответствующей дроби — астрономическое 40-значное число. А если так, зачем скрещивать кванты и гравитацию?!

Матвей Бронштейн, однако, не утверждал, что гравитация понадобится в атомной физике, и слово «астрономическое» тут кстати. Он первым понял, что именно в астрофизике есть проблемы, для понимания которых нужны и кванты, и сильная гравитация — прежде всего чтобы понять самое начало расширения Вселенной и последнюю стадию гравитационного сжатия — коллапса — звезды.

Пытаясь соединить квантовую теорию с теорией гравитации, Бронштейн обнаружил, что применять их совместно можно лишь с полузакрытыми глазами. Если же правде смотреть в лицо, то эти теории не-со-е-ди-ни-мы. Каждая из них подрывает исходные понятия другой. Фундаментальные теории, экспериментально проверенные по отдельности, не способны сотрудничать друг с другом.

А может, просто нечего интересоваться такими вопросами, как рождение Вселенной? Мало ли задач практически важных?! Во-первых, как учит история, чистая теория не раз давала важнейшие практические приложения; самый известный пример — радио и все, что из него развилось. А во-вторых, и в самых главных, если вопрос возник, теоретики все равно будут искать ответ, выясняя при этом, правильно ли сам вопрос задан.



Дружеский шарж выражает отношение М.П. Бронштейна к «социалистическому» планированию науки, которое обсуждалось на больших конференциях. Однако предсказание о теории квантовой гравитации он сделал без помощи гадальных карт, лишь силой научной логики.

Предсказание Бронштейна остается в силе уже три четверти века. И со временем становится все более вызывающим.

Критерии правильной теории и квантовые границы гравитации

Эйнштейн говорил о двух главных критериях в оценке теории: ее «внешнем оправдании», или соответствии опыту, и «внутреннем совершенстве», или логической простоте основ теории.

Критерии эти, успешно работавшие во всей истории физики, споткнулись на проблеме квантовой гравитации. «Внешнему оправданию» здесь мешает астрономическое число 10^{40} — отношение величины электромагнитного взаимодействия между элементарными частицами к их гравитационному взаимодействию. Справиться с числами такого астрономического масштаба можно было бы, заменяя лабораторные опыты на астрофизические наблюдения, но практического пути к реальным cGh -объектам пока не найдено.

Не легче говорить о «внутреннем совершенстве» попыток квантования гравитации, разглядывая накопленные за многие десятилетия теоретические конструкции. Кладбище этих попыток напоминает о заброшенных кладбищах проектов вечного двигателя и теорий эфира. А очередные приливы авторского оптимизма основаны скорее на сомнительном критерии «внешнего совершенства», попросту говоря, — внешней привлекательности очередной кандидатки в теорию. И вдобавок — на популярной у студентов-физиков мудрости, согласно которой «математика умнее человека»: надо лишь аккуратно проводить выкладки, а там, глядишь, физический результат сам собой проявится. О критерии привлекательности говорить особенно нечего, поскольку «мятеж никогда не кончался удачей, иначе бы он назывался иначе». А о математике Эйнштейн когда-то сказал, что это — лучший способ водить самого себя за нос. Анализ измеримости поля, которым занимались в 1930-е годы, можно — в добавление к критериям Эйнштейна — назвать «внутренним оправданием» теории. Это был анализ *границ применимости* теории, проводимый изнутри ее самой — до создания теории более общей.

Результат Бора — Розенфельда состоял в том, что квантовая электродинамика как ch -теория, не имеет пространственно-временных границ, поскольку из двух ее фундаментальных констант c и h нельзя составить никакую длину.

В cGh -теории констант три, и из них длину составить уже можно:

$$l_{cGh} = (hG/c^3)^{1/2} \approx 10^{-33} \text{ см.}$$

Эту величину называют иногда *планковской длиной*. Она впервые появилась в статье Планка 1900 года безо всякой связи с квантованием гравитации. Планк тогда даже не понимал, что в физике началась новая — квантовая — эра. Он был лишь уверен, что открыл новую физическую константу h (тогда еще обозначаемую буквой b) и надеялся встроить ее в здание классической физики. А предложенные им «естественные единицы измерения»

$$l_{cGh} = (hG/c^3)^{1/2} \approx 10^{-33} \text{ см,}$$

$$m_{cGh} = (hG/G) \approx 10^{-5} \text{ г,}$$

$$t_{cGh} = (hG/c^5) \approx 10^{-43} \text{ сек}$$

имели единственную цель — чтобы новые единицы измерения «сохраняли свое значение для всех времен и для всех культур, в том числе и внеземных, и нечеловеческих». Это экзотически-межпланетное предложение с несуразными значениями «естественных эталонов» не нашло сочувствия у коллег и было забыто на полвека.

Бронштейн пришел к cGh -границе в ходе своего анализа измеримости. Явно у него фигурирует лишь планковская масса — как рубежная масса пробного тела, «пылинки, весящей сотую долю миллиграмма»,

$$m_{cGh} = (hG/c) \approx 10^{-5} \text{ г.}$$

Такая пылинка проявит квантово-гравитационную суть, если ее размер l_{cGh} , а тогда ее плотность

$$cGh = m_{cGh} / (r_{cGh})^3 = c^5/G^2h \approx 10^{94} \text{ г/см}^3.$$

И это — граница, за которой необходима теория квантовой гравитации, cGh -теория. За этой границей — начало расширения Вселенной и последняя стадия коллапса звезды.

Самое малое расстояние, доступное современной экспериментальной физике, порядка 10^{-16} см, во столько же раз больше квантово-гравитационной длины r_{cGh} , во сколько земной шар больше атома. С учетом такой пропасти, отделяющей эксперимент от теории, говорить что-либо определенное о квантово-гравитационной физике может показаться делом совершенно несерьезным. Однако история знает похожий случай: теория электромагнетизма, созданная в прошлом веке для явлений масштаба 1 см, подтверждается в наше время экспериментально вплоть до расстояний 10^{-16} см. Поэтому можно надеяться, что квантовая теория гравитации, cGh -теория, поможет объяснить устройство нашего мира и в самых малых, и в самых больших масштабах. Эту надежду первым выразил Бронштейн еще в 1930 году:

Будущая физика не удержит того странного и неудовлетворительного деления, которое сделало квантовую теорию «микрофизикой» и подчинило ей атомные явления, а релятивистскую теорию тяготения — «макрофизикой», управляющей не отдельными атомами, а лишь макроскопическими телами. Физика не будет делиться на микроскопическую и космическую: она должна стать и станет единой и нераздельной.

Предсказание Бронштейна относительно квантовой гравитации имело характер запрета: невозможно решить cGh -проблему «малой кровью», с сохранением основных понятий теории гравитации. Характер запрета имели такие законы физики, как, например, запрет на существование вечного двигателя, то есть закон сохранения энергии, или невозможность определить скорость источника света по измерению скорости самого света, что стало основой теории относительности.

Размышляя об истории попыток квантования гравитации, приходишь к выводу, что

большая часть публикаций не возникла бы, если бы их авторы знали и всерьез восприняли анализ, проделанный Бронштейном. Тем самым по меньшей мере сэкономили бы изрядное количество бумаги и рабочего времени.

Ну, а почему сам Матвей Бронштейн остановился на достигнутом и не перешагнул *cGh*-границу, найдя те самые «лишенные наглядности понятия», которые, как он предвидел, заменят обычные представления о пространстве и времени?

Вскоре после защиты *cGh*-диссертации Бронштейну исполнилось 29 лет. На все его замыслы ему осталось полтора года. За это время он сделал несколько научных работ, в том числе уже известную нам работу о (не)возможности спонтанного распада фотона как обоснование факта расширения Вселенной и первое в истории соединение *ch*-физики и *cG*-космологии. Кроме того, он преподавал в Ленинградском университете и многообразно участвовал в жизни науки. Особенно близкие отношения связывали его с Ландау.

Документальное свидетельство тому — конспект рукописи, озаглавленной «М.П. Бронштейн и Л. Ландау. Статистическая физика». На обложке тетради приметы времени: столетие со дня смерти Пушкина, отмечавшееся в феврале 1937 года, картина дуэли и стихотворение Лермонтова «Смерть поэта».

Эта рукопись не успела превратиться в книгу, как и многие другие рукописи того времени, авторы которых — поэты и физики — гибли в 1937 году не на дуэлях, а в тюремных подвалах и лагерях...

Ближе всего, в домашней обстановке, дружбу Ландау и Бронштейна наблюдала Лидия Чуковская, жена Бронштейна:

Расхаживая из угла в угол по Митиной [домашнее имя М.П. Бронштейна] комнате и неохотно отрываясь для обеда и ужина, они обсуждали физические проблемы. Я заходила, садилась на край тахты; из вежливости они на секунду умолкали; Лева произносил что-нибудь насмешливо-доброе... Но я видела, что им совершенно не до меня, уходила — и из Митиной комнаты снова доносились два перебивающих друг друга мальчишеских голоса и слова непонятного мне языка.

Это была дружба на равных — при всех различиях внутренних миров и стилей жизни. Быть может, слово «дружба» в данном случае неточное — слишком самостоятельны были оба. Проще сказать об их различиях в объеме культурной жизни. Для Бронштейна гуманитарная культура во всей полноте была столь же важна, как и физика. Для Ландау это были несопоставимые сферы. Особенно ясно это видела Лидия Чуковская, для которой физика была лишь делом жизни любимого человека, а главным в ее жизни было точное слово — слово, точно выражающее чувство и мысль:

Не знаю, как на семинарах или в дружеском общении с собратьями по науке, но с простыми смертными Ландау никакой формы собеседования, кроме спора, не признавал. Однако меня в спор втягивать ему не удавалось: со мной он считал нужным говорить о литературе, а о литературе — наверное, для эпатажа! — произносил такие благоглупости, что спорить было неинтересно. Увидя на столе томик Ахматовой: «Неужели вы в состоянии читать эту скучищу? То ли дело — Вера Инбер», — говорил Ландау. В ответ я повторяла одно, им же пущенное в ход словечко: «Ерундовина». Тогда он хватал с полки какую-нибудь историко-литературную книгу — ну, скажем, Жирмунского, Щеголева, Модзалевского или Тынянова. «А, кислещецкие профессора!» — говорил он с издевкой. (Все гуманитарии были, на его взгляд, «профессора кислых щей», то есть «кислещецкие».) «Ерундовина», — повторяла я. И в любимые Левого разговоры об

«эротехнике» тоже не удавалось ему меня втянуть. «Кушайте, Лева», — говорила я в ответ на какое-нибудь сообщение о свойствах «особ первого класса» и клала ему на тарелку кусочек торта. «Лида! — сейчас же вскрикивал Лев Давыдович, — вы единственный человек на земле, называющий меня Левой. Почему? Разве вы не знаете, что я — Дау?»

— «Дау» — это так вас физики называют. А я кислощецкий редактор, всего лишь. Не хочу притворяться, будто я тоже принадлежу к славной плеяде ваших учеников или сподвижников.

Митя, придерживаясь строгого нейтралитета, вслушивался в нашу пикировку. Забавно! Его занимало: удастся ли в конце концов Ландау втянуть меня в спор или нет.

Зато Лидии Чуковской, совместно с Самуилом Маршаком, удалось втянуть Бронштейна в научно-художественную литературу для юных читателей. На его письменном столе рядом с высоконаучными статьями, понятными считанным коллегам, в работе были детские книги о научных открытиях — при редакторском соучастии Лидии Чуковской. «Солнечное вещество» и «Лучи Икс» вышли в Детиздате в 1936-м и 1937-м, книжка об изобретении радио успела выйти лишь в журнальном варианте, и он начал книгу о Галилее.

Для предыдущих книг Бронштейн брал сюжеты из жизни физиков-экспериментаторов. Теоретическую физику с экспериментальной связывает единая кровеносная система, но язык теории слишком далеко отстоит от повседневного, чтобы о ней рассказывать 12-летнему читателю. Жизнь Галилея — первого современного физика — дает уникальную возможность рассказать простыми словами о всей физике — и экспериментальной, и теоретической. Его экспериментальные открытия стали основой теоретических. Галилеев закон свободного падения не только стал основой, на которой Ньютон создал единый свод законов движения земных и небесных тел. Тремя веками позже Эйнштейн в законе Галилея разглядел принцип эквивалентности и геометрический язык гравитации. И то же самое свойство гравитации, открытое Галилеем, завязало главный узел квантовой гравитации — узел, открытый Бронштейном в 1935 году.

Книга эта стала бы не просто очередной его научно-художественной повестью. Для предыдущих он брал сюжеты из физики экспериментальной, а Галилей — и теоретик, и экспериментатор, что дает уникальную возможность рассказать простыми словами о современной физике в целом, тем более что он ее, собственно, и основал.

Все знают, как Галилей забрался на башню, бросал сверху шары из разного материала и заметил, что, вопреки Аристотелю, они достигают земли одновременно. Бронштейн в своей книге наверняка объяснил бы, что это — всего лишь легенда, что Галилей шары не бросал, а придумал опыты, хоть и менее эффектные, но более убедительные, — колебания маятников и движение по наклонной плоскости. И вместе с этим придумал новый метод поиска истины: свободно изобретать понятия для описания Природы, ставить ей вопросы языком эксперимента, а ее ответы выражать на языке математики.

Бронштейн в своей книге, вероятно, объяснил бы, как Галилеев закон свободного падения помог Ньютону открыть динамику движения тел земных и небесных. Рассказал бы, возможно, как в законе Галилея Эйнштейн разглядел искривленное пространство-время. А быть может, и о том, что свойство гравитации, открытое Галилеем, завязало узел квантовой гравитации.

Как Бронштейн собирался строить свой рассказ о Галилее, неизвестно. Но известно, почему эта книга не состоялась. Об этом — письмо Бронштейна с датой «5 апреля 1937». Оно адресовано новому руководителю Детиздата, который только что разгромил редакцию Маршака и отстранил Чуковскую от редактирования ряда книг:

Так как среди этих книг есть и начатая мною книга о Галилее, то я считаю своим долгом и своим правом высказать Вам мои соображения по этому поводу.

И высказал, назвав все своими именами — «бездушный чиновник-бюрократ», «наглое литературное воровство», «литературный бандитизм».

Я вынужден реагировать на Ваш цинический поступок следующим образом: так как редактор Л.К. Чуковская руководила моей работой в области детской литературы с самого начала этой работы и так как без ее редакторских указаний я никогда не смог бы написать написанных мною детских книг, то я не считаю для себя возможным согласиться на передачу другому редактору подготовляемой мною книги о Галилее. Поэтому я расторгаю договор...

Это письмо Лидия Чуковская увидела лишь после его отправки. Ей казалось, что именно оно привело к аресту четыре месяца спустя...

В августе 1937 года, когда Ландау возвращался из отпуска, на перроне его встретили физики:

Они стали рассказывать. Фамилии исчезнувших людей, друзей и сотрудников назывались одна за другой... В конце перечисления было названо еще и имя ленинградского физика Матвея Петровича Бронштейна... Дау был потрясен... Дау очень любил и ценил его и говорил, что «Аббат» — единственный человек, который повлиял на него «при выработке стиля».

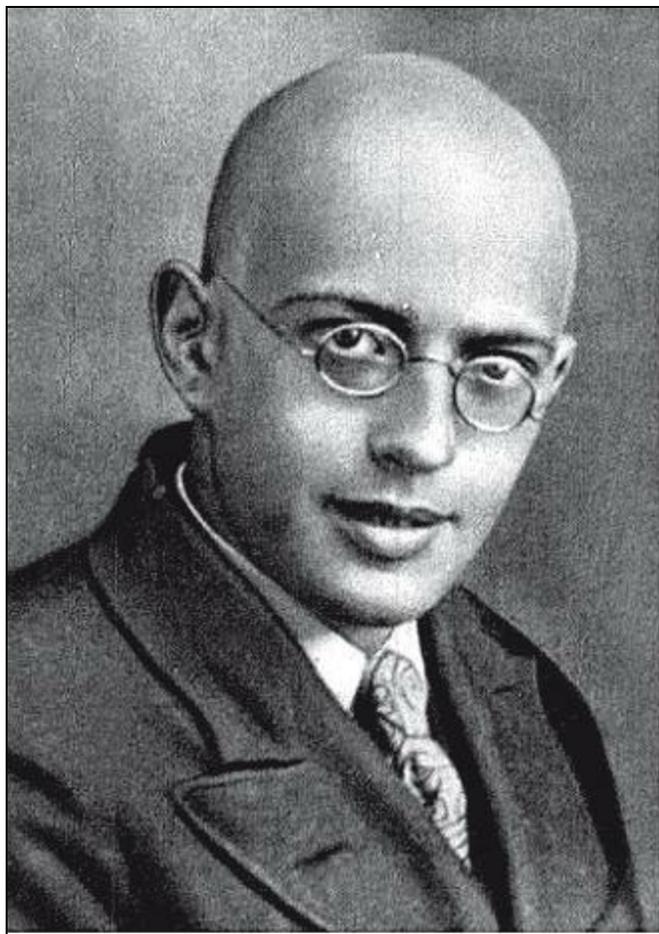
В апреле 1938 года «исчез» и Ландау, но всего на год. Вытащил его из тюремной пропасти П.Л. Капица. Выйдя из тюрьмы в конце апреля 1939 года, Ландау через несколько недель приехал в Ленинград и пришел к Чуковской. Она записала тогда в дневнике:

Он снял с моей души камень. А я и не знала, что камень был такой тяжелый. Мне казалось, я об этом и не думаю...

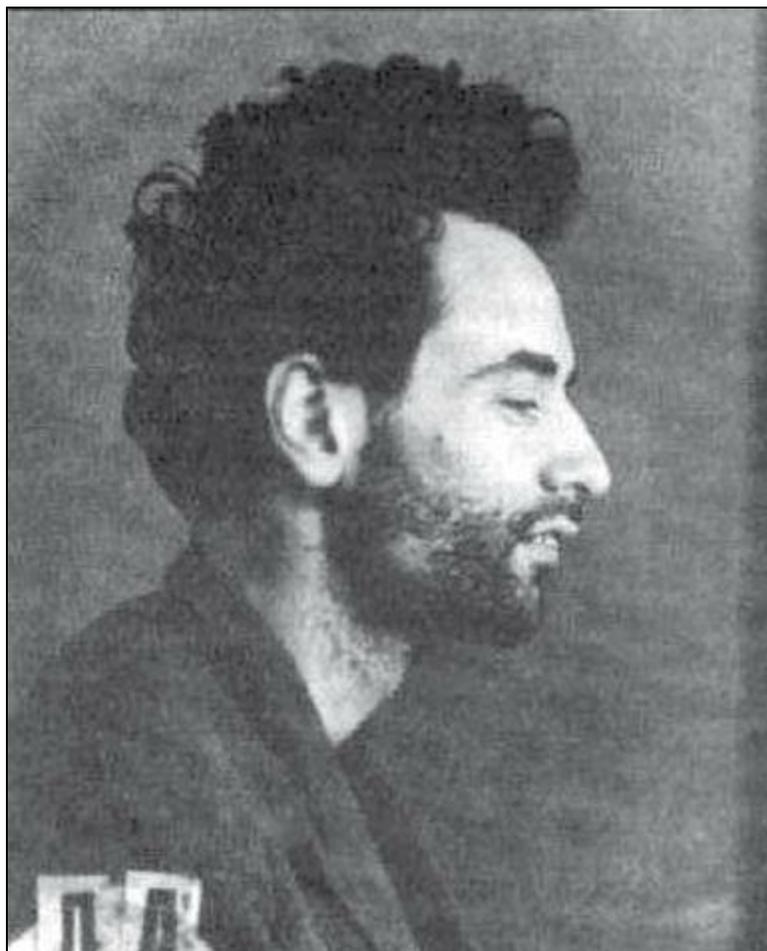
Тридцать лет спустя она пояснила, что подумала, узнав об аресте Ландау:

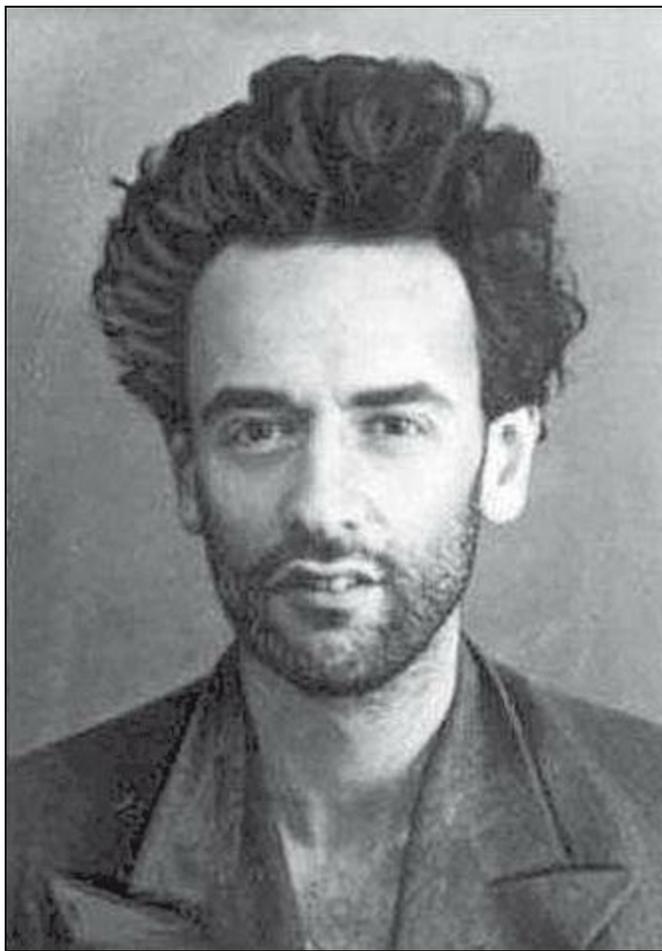
Кроме острой боли за него, я испытала дополнительную боль: а вдруг они по общему делу — Митя и Лева, — вдруг Митю вынудили дать какие-нибудь показания против Левы? Камень этот был снят с моей души Левиным появлением и Левиным рассказом: его «дело» не было связано с Митиным.





Не успевшие стать академиками: Матвей Бронштейн (1906–1938), Александр Витт (1902–1938), Семен Шубин (1910–1938).





Тюремные фотографии Льва Ландау (1938), которые могли стать последними.

Двадцать лет имя «врага народа» М.И. Бронштейна не упоминалось публично. Его детские книги изъяли из библиотек. Запрет сняла смерть Сталина. В томе «Октябрь и научный прогресс», выпущенном к 50-летию Советской власти, академик И.Е. Тамм, подводя итоги развития советской теоретической физики, написал: «Некоторые исключительно яркие и многообещающие физики этого поколения безвременно погибли: М.П. Бронштейн, С.П. Шубин, А.А. Витт». Эти физики из первого поколения получивших образование в советское время были арестованы в 1937-м, получили разные приговоры — расстрел, восемь лет, пять лет, и все трое погибли в 1938-м. Тамм, первый советский физик-теоретик, получивший Нобелевскую премию, знал их лично. Он был оппонентом на диссертации Бронштейна, Шубин был его любимым учеником, а вместе с Виттом он работал в Московском университете.

В тридцатые годы квантовая гравитация не была актуальной ни в каком практическом смысле. Теоретики занимались физикой атомов и молекул, металлов и полупроводников. Затем в центре внимания оказалась ядерная физика с ее военно-практическими и глобально-политическими приложениями. Из-за этих приложений физика стала Большой Наукой, число теоретиков быстро выросло. К 1970-м годам задач им стало не хватать. Тогда-то и взялись за проблемы гравитации.

С тех пор изданы сотни книг о квантовой гравитации, опубликованы многие тысячи статей, но проблема не поддается. Так можно ли думать, что Бронштейн, проживи он

дольше, сумел бы найти путь к решению? История науки дает довод «за», опираясь на различия в происхождении теории относительности и теории гравитации Эйнштейна.

По мнению самого Эйнштейна, с которым согласны историки, теория относительности появилась бы и без его участия. Возможно, на пару лет позже. Опыты со светом и с быстрыми электронами требовали теоретического ответа. Потенциальные авторы такого ответа, то бишь теории относительности, — Х. Лоренц и А. Пуанкаре — были, можно сказать, соавторами Эйнштейна.

Теория гравитации рождалась совершенно иначе. Не было практической надобности. Главной причиной стало чисто теоретическое противоречие гравитации Ньютона и предельной скорости света. Эйнштейн нашел путь, опираясь фактически лишь на Галилеев закон свободного падения и уже признанную теорию относительности. Но за восемь лет движения по этому пути к новой теории гравитации никто из коллег-физиков к нему не присоединился. Трудно сказать, как развивалась бы история физики, если бы Эйнштейн погиб в 30-летнем возрасте. Но вполне вероятно, что новая теория гравитации не возникла бы до наших дней.

Так же не исключено, что Матвей Бронштейн в последние дни своей жизни, в тюремной камере, нашел путь к понятиям более глубоким, чем пространство-время. Ведь творческая мысль была единственным болеутоляющим средством в его распоряжении.

Глава 10

Физики в Горячей Вселенной

«Работа в области теории взрыва»

Даже те физики, кто ощущали себя гражданами Вселенной, в середине двадцатого века точно знали о своем паспортном гражданстве. Об этом им повседневно напоминала земная политическая реальность, разделенная на две части железобетонным занавесом «холодной войны». Физика дала главное оружие той войны — ядерное.

Этот научно-политический факт иногда сопровождают ехидные слова о бессмысленности страшного оружия, поскольку обе сверхдержавы не желали его применять. Другие утверждают, что само наличие сверхоружия предотвратило третью мировую войну. Изобретатель советской водородной бомбы Андрей Сахаров говорил осторожнее: «Мы себя успокаиваем тем, что отодвигаем возможность войны». И действительно, трудно с определенностью назвать причину того, что не произошло.

Однако некоторые важные события в истории цивилизации определенно стали побочными результатами нового оружия.

Прежде всего так называемое «покорение Космоса». Именно для доставки ядерного оружия к заморским целям СССР начал форсированную программу баллистических ракет. Вес задуманного Сахаровым термоядерного «изделия» существенно превысил вес человека, и лишь поэтому возникла возможность отправить человека в космос.

Не столь масштабным, но прямым следствием нового оружия стало в 1946 году название купальника, который произвел эффект разорвавшейся ядерной бомбы. Купальник назвали «бикини», в честь атолла, где США впервые несекретно испытали ядерное оружие в том же 1946 году.

Менее заметную прибыль от «холодной ядерной войны» получила чистая наука, а наибольшую получила наука о самом большом — космология, абсолютно мирная, практически бесполезная и мало кому из физиков интересная в 1940–1950-е годы.

Тогдашнее состояние космологии было удручающим. Теория Фридмана — Леметра не могла справиться с парадоксально короткой шкалой времени — Вселенная оказывалась моложе своих звезд. Это стало одной из причин появления новой — *стационарной* — космологии, согласно которой Вселенная всегда была, есть и будет одной и той же для любого наблюдателя. Стационарная космология не следовала из какой-либо физики, зато из нее следовала новая физика. Чтобы восполнить наблюдаемое разбегание галактик, постулировалось постоянное вселенское рождение вещества «из ничего». Темп рождения вещества требовался настолько малый, что был вне пределов экспериментальной проверки.

Сейчас трудно поверить, что столь нефизическая космология могла серьезно противостоять теории Фридмана — Леметра, а значит, и теории гравитации Эйнштейна. Авторы стационарной космологии, видные астрофизики во главе с Фредом Хойлом, конечно же знали и теории, и наблюдательные факты. Но они слишком всерьез принимали то, что единственный тогда наблюдательный факт вселенского масштаба — закон красного смещения и разбегание галактик — не укладывался в теорию Фридмана — Леметра. И в насмешку над «безответственными» теоретиками, которые игнорировали это несоответствие, Хойл назвал их «голливудски-эффектную» космологическую картину теорией Большого взрыва.

В конце 1950-х годов астрономы исправили свои оценки внегалактических расстояний, в результате чего космологическая шкала времени удлинилась почти в десять раз. Это

устранило главную — уже тридцатилетнюю — проблему релятивистской космологии, однако сторонники стационарной космологии упорствовали, подкрепляя себя философскими доводами вроде суперпринципа Коперника, то есть утверждая, что во Вселенной не только нет какого-то уникально выделенного места, которое можно было бы назвать ее центром, но нет и никакого выделенного момента времени вроде момента Большого взрыва. Классическую фразу «Ничто не ново под луною» стационарная космология дополнила «...и над луною».

Противостояние двух космологий длилось более пятнадцати лет и завершилось после открытия в 1965 году второго наблюдательного факта вселенского масштаба — космического фонового излучения, идущего равномерно со всех сторон, а не от каких-то определенных источников. Излучение это тепловое, подобно тому, что ощущается рядом с печкой, но печкой, которая лишь на три градуса теплее абсолютного нуля. Это сверхслабое излучение американские экспериментаторы открыли случайно, но не случайно открыли его при разработке высокочувствительной радиосвязи со спутниками, что стало практическим вкладом «оборонки» в космологию. В странном излучении теоретики опознали наследство Большого взрыва, оставленное в горячий момент ранней Вселенной, когда вещество и излучение только что расцепились, продолжая дальнейшую жизнь врозь.

Задолго до того другие экспериментаторы несколько раз натыкались на это излучение и публиковали свои непонятные результаты, которые, однако, никого не зацепили. Тогда теоретики были заняты совсем другим и совершенно секретным — термоядерным — делом. Лишь к концу 50-х годов в США и в начале 60-х в СССР из самой гущи событий в разработке термоядерного оружия вышли мощные лидеры, благодаря которым гравитация, релятивистская астрофизика и космология стали областью активных исследований. Эти физики — Джон Уилер и Яков Зельдович — страстные исследователи, широко открытые к научному общению, сходным образом круто изменили свои научные интересы при всех советско-американских различиях. Уилер в 1955 году заново открыл cGh -границы применимости эйнштейновской теории гравитации. Зельдович стал автором первых советских книг по релятивистской астрофизике и космологии, где, в частности, изложил ch -обоснование расширения Вселенной («нестарение» фотонов), данное М.Бронштейном.

При этом Зельдович говорил, что «прошлое Вселенной бесконечно интереснее прошлого науки о Вселенной». Быть может, потому, что для понимания истории науки — даже такой чистой науки, как космология, — одной лишь науки недостаточно. Особенно когда речь идет о повороте от физики супербомб к физике Вселенной. Объясняя этот крутой поворот в своей научной автобиографии, семидесятилетний Зельдович сказал об «атомной проблеме», которая его в свое время «целиком захватила»:

В очень трудные годы страна ничего не жалела для создания наилучших условий работы. Для меня это были счастливые годы. Большая новая техника создавалась в лучших традициях большой науки <...> К середине 50-х годов некоторые первоочередные задачи были уже решены... Работа в области теории взрыва психологически подготавливала к исследованию взрывов звезд и самого большого взрыва — Вселенной как целого... Работа с Курчатовым и Харитоном дала мне очень много. Главным было и остается внутреннее ощущение того, что выполнен долг перед страной и народом. Это дало мне определенное моральное право заниматься в последующий период такими вопросами, как элементарные

частицы и астрономия, без оглядки на практическую ценность их.

О бомбах тут прямо не сказано, но, переводя с советского языка на обычный русский, получим такую картину. К концу 1950-х годов (в США несколько раньше) теоретическая физика термоядерного оружия исчерпалась (сменившись физикой инженерной). Первоочередная задача «большой новой техники» действительно была решена: американские и советские физики совместными усилиями создали для политиков «бич Божий». Его назвали «взаимно-гарантированное уничтожение» — способность каждой из сверхдержав уничтожить другую, даже после внезапной атаки противника.

Руководители сверхдержав, осознав связь «большой новой техники» и «большой науки», испытывали почтение к тем, кто эту связь осуществил, и предоставили им возможность заниматься чем они хотят, надеясь, что их новые занятия тоже приведут к какой-то новой технике. Тем более что на теоретические исследования денег надо совсем немного.

«Работа в области теории взрыва» если и готовила к космологии, то лишь приучая к дистанции между теорией и ее проверкой и, соответственно, приучая теоретика к смелости. Термоядерную бомбу физики создавали, не имея возможности проверять свои расчеты на маленьких, пробных, лабораторных бомбочках. Сначала полная теория, и только потом полномасштабный мегатонный взрыв... или пшик. Космология с этим сопоставима не масштабами, а психологией: нужна большая смелость (если не наглость), чтобы решиться строить теорию столь ненаблюдаемого объекта, как Вселенная миллиарды лет назад.

Зельдович хотел заниматься научными вопросами «без оглядки на практическую ценность их». Для физиков его калибра к концу 1950-х годов термоядерное оружие исчерпало свою теоретическую ценность, а от его практической ценности хотелось уйти куда подальше. Дальше, чем в космологию, уйти было трудно.

В СССР сделать это было особенно трудно и особенно интересно. Прежде всего потому, что в конце 1930-х годов космология стала жертвой правящей советской идеологии, еще до генетики и кибернетики. Главными пороками всех этих наук объявили идеализм, поповщину и буржуазность. Крамольным стало выражение «расширение Вселенной», а слово «космология» попросту изгнали из словаря. Зато в ходу было слово «невозвращенец» для обозначения советских граждан, которые не возвратились из командировок за рубеж, став автоматически изменниками родины. И, как назло, именно «невозвращенец» Георгий Гамов сделал следующий шаг в теории расширяющейся Вселенной.

В реабилитации космологии в СССР больше всего заслуг у трижды Героя Социалистического Труда и (по секрету) главного теоретика советской атомной бомбы — Зельдовича. В 1961 году он опубликовал свою первую работу по космологии, а затем две большие обзорные статьи в главном физическом журнале «Успехи физических наук». Еще одной его заслугой перед космологией было то, что он увлек туда за собою другого трижды Героя, Андрея Сахарова — главного теоретика советской водородной бомбы.

Георгий Гамов — прадед водородной бомбы

С космологией Гамов познакомился еще студентом, слушая лекции самого Фридмана, вскоре после открытия динамичной Вселенной. Хотел работать под его началом, если бы не смерть 37-летнего профессора. Вряд ли, впрочем, из намерения Гамова получилось бы что-то путное — слишком далек он был по характеру мышления от математика Фридмана, нацеленного тогда на динамическую метеорологию — задачу предсказания погоды. Космологическая задача, прославившая Фридмана, для него была лишь отвлечением, хоть и очень интересным.

Физический талант Гамова совершенно не вписывался в программу динамики атмосферы. Этот талант обходился минимальной математикой и опирался на сногшибательное легкомыслие, которое бывает трудно отличить от научной смелости. Главный урок Фридмана, укрепивший смелость Гамова, учил, что даже великий Эйнштейн мог ошибаться.

Описывая свое отношение к науке, Гамов сравнивал себя с пауком, который притаился на краю большой паутины, поджидая легкую добычу. А заметив, что в сеть попала какая-то муха, бросался к ней. То, что первую свою муху Гамов поймал в альфа-распаде, — это отчасти удача, отчасти смелость. Он интересовался всей физикой — от самой маленькой альфы в ядерной физике до самой большой Омеги в космологии, очередь до которой дойдет двадцать лет спустя. Гораздо меньше его интересовала водородная бомба, которой он занимался в 1949–1950 годах.

Титул «отец водородной бомбы» давно бытует в ненаучно-популярных текстах. Почему-то не говорят о дедушках, а ведь без них не было бы и отцов. Гамов имеет право на титул «прадеда водородной бомбы», и даже сразу двух — и американской и советской. При этом никакой мрачной тени на него не падает, хотя его собственная тень появилась в совершенно секретной хронологии водородной бомбы, подготовленной в 1953 году в Конгрессе США в связи с разбирательством, кто мешал созданию американской водородной бомбы: «As early as 1932 there were suggestions by Russian scientists and others that thermonuclear reactions might release enormous amounts of energy», или на родном языке Гамова: «Еще в 1932 году русскими учеными и другими высказывались соображения, что термоядерные реакции могли бы привести к высвобождению огромных количеств энергии».

Факт истории — то, что русский Гамов совместно с австрийцем Хоутермансом и англичанином Аткинсоном первыми занялись теорией термоядерных реакций. Ну, а факты политики начала 1950-х годов побудили авторов совсекретного документа напомнить о русской опасности, не указывая, что русский термоядерный пионер давно живет в США.

Авторы той историко-политической хронологии не знали тайного вклада Гамова в успех советской водородной бомбы. В 1931–1932 годах он пытался создать в Ленинграде Институт теоретической физики. Его старания привели к основанию Физического института Академии наук — ФИАНа, который переехал в 1934 году в Москву и стал убежищем для научной школы академика Леонида Мандельштама. Именно выпускники этой школы Андрей Сахаров и Виталий Гинзбург в конце 40-х годов выдвинули ключевые идеи первой советской водородной бомбы.

Зато хорошо известна роль Гамова в истории американской водородной бомбы. Когда ему в 1934 году предложили должность профессора в университете имени Джорджа

Вашингтона, он попросил университет пригласить еще одного теоретика — чтобы было с кем говорить о теоретической физике. И предложил венгерского физика Эдварда Теллера, с которым подружился в Институте Бора и который маялся тогда в Европе в поисках места. Вряд ли надо напоминать, что Эдвард Теллер стал «отцом американской водородной бомбы».

Отвечая на вопрос о роли Гамова в этом отцовстве, Теллер писал:

Джо был полон идеями, в основном ошибочными. Однако у него было чудесное свойство не обижаться на критику и даже с готовностью ее принимать. В тех же, относительно немногих, случаях, когда он не ошибался, его идеи были по-настоящему плодотворны.

Гамову требовалась математическая помощь, которую он получал от коллег и соавторов. Например, работая над теорией альфа-распада, он просил Фока: «Владимир Александрович, миленький, выведите, пожалуйста, формулу такую-то еще раз, а то я потерял тетрадь с записью».

Пора пояснить, как советский физик Георгий Гамов стал американским, тем самым узаконив свое студенческое прозвище Джо. Тем более что в этом рассказе появится и подсказка к его вкладу в космологию.

Мы расстались с Гамовым, когда он, игнорируя всеобщее ожидание революционной перестройки физики, решил ядерную проблему альфа-распада. Решил он эту проблему за границей, но достижение сразу заметили на родине в главной пролетарской газете «Правда» (с помощью пролетарского поэта Демьяна Бедного):

СССР зовут страной убийц и хамов.

Недаром. Вот пример: советский парень Гамов.

— Чего хотите вы от этаких людей?!

— Уже до атомов добрался, лиходея! —

негодовал поэт от имени буржуя. А от своего имени революционно подытожил: «В науке пахнет тож кануном Октября».

Три года спустя Гамов стал членкором Академии наук СССР, самым молодым физиком в ее истории. Но стать самым молодым академиком ему не довелось. Чувствовал он себя на родине неуютно.

В СССР он приехал осенью 1931 года не с пустыми руками, а с приглашением на Первый международный конгресс по ядерной физике в Риме — сделать один из главных докладов. «George Gamow (Soviet Union)» — значилось в повестке конгресса. Большая честь для молодого физика и, казалось бы, для его родины. Но советская родина почему-то не пустила Гамова на конгресс. Это было ужасно обидно, хотя можно было еще думать, что причина — неповоротливость советской бюрократии: не успели оформить нужные бумаги, ну, что поделаешь... Однако, когда Гамову не дали воспользоваться приглашением Нильса Бора на конференцию в свой институт и еще несколькими приглашениями, стало ясно: началась какая-то другая страница истории. Теперь мы знаем, что начала строиться сталинская стена, отделившая Россию от остального мира на долгие полвека.

Гамова взял на работу Радиевый институт, директор которого — академик Владимир Вернадский — понимал, что «одаренная для научной работы молодежь есть величайшая сила и драгоценное достояние человеческого общества, в котором она живет, требующая охраны и облегчения ее проявления». Именно он выдвинул кандидатуру 27-летнего Гамова в Академию наук.

Вольной птице в клетке не поется, даже если ей присвоить почетное звание. Гамов пытался выскользнуть из клетки: то на байдарке по Черному морю, нацелившись на турецкий берег, то на северных оленях, нацелившись на Финляндию. По примеру знаменитой лягушки «дрыгал лапками». Увы, клетка была не квантовая, и не было возможности туннельно просочиться сквозь стенку. На счастье Гамова, в 1933 году дверца клетки приоткрылась. Гамова командировали на важный научный конгресс, откуда он уже не вернулся, став «невозвращенцем», — что по тогдашним советским законам каралось смертной казнью.

Как отнесся Вернадский к решению Гамова? Несомненно, с горечью, но вряд ли безоговорочно осуждая. По его словам,

ученый по существу интернационален — для него на первом месте, раньше всего, стоит его научное творчество, и оно лишь частично зависит от места, где оно происходит. Если родная страна не даст ему возможности его проявить, он морально обязан искать этой возможности в другом месте.

Незаконное рождение Горячей Вселенной

Гамов не упомянул Вернадского в своей автобиографии «Моя мировая линия», но его космологическая идея обязана и науке Вернадского — геохимии, которая занимается распространенностью химических элементов на Земле. Вернадский понимал, что эта общая проблема включена в историю самой планеты, то есть в космическую историю Солнечной системы. Гамов, несомненно, слышал об этом в Радиевом институте, а в его первой статье о космологии 1946 года есть ссылка на книгу по геохимии, откуда он взял данные о распространенности элементов.

Гамов взялся за космологии, надеясь теоретически объяснить эти данные — объяснить происхождение химических элементов во Вселенной. В то время считалось, что нынешняя пропорция элементов зафиксировалась в некий ранний момент расширения Вселенной, когда — из-за уменьшения плотности и охлаждения — активные ядерные реакции прекратились. А до того момента, как считалось, имелось ядерно-тепловое равновесие между разными ядрами. Однако равновесные расчеты давали ничтожную долю тяжелых элементов, вопреки данным геохимии.

Гамов предположил иной — неравновесный — сценарий: в быстро расширяющейся Горячей Вселенной из первичного чисто нейтронного вещества при уменьшении плотности начинают образовываться протоны, к которым последовательно прилипают нейтроны, образуя все более тяжелые ядра, пока расширение Вселенной не остановит этот процесс. Эта идея Гамова оказалась очень плодотворной, хоть и... ошибочной. Ошибочной, потому что последовательное добавление нейтронов обрывается очень рано — не существует устойчивых ядер с массой 5, и перепрыгнуть через этот барьер не удавалось. А плодотворной стала сама возможность неравновесной физики.

Теоретики предполагали равновесие, в сущности, по той же причине, по которой потерянные ключи ищут под фонарем — там светлее и, значит, легче искать. Лучше все же сообразить, где примерно ключи могли выпасть, и искать там, хоть и ощупью. Так и условия ранней Вселенной лучше не постулировать «для простоты», а извлечь из них следствия, которые после сравнения с наблюдениями скажут нечто о процессах в начале космологического расширения. Так впоследствии получили соотношение легких элементов космологического происхождения — водорода и гелия, подтвердив предположение Гамова о том, что ранняя Вселенная была горячей.

Первыми же пользу из идеи неравновесности извлекли главные оппоненты Гамова — сторонники стационарной космологии. Они разработали теорию рождения тяжелых элементов во взрывах звезд, и ныне это — общепринятое представление о происхождении основного вещества планет, включая все живое. Уже поэтому космология имеет отношение к жизни. Без того чтобы взрывы первого поколения звезд в юной Вселенной накопили элементы тяжелее гелия, известная нам форма жизни была бы невозможна.

Однако сама стационарная космология не выдержала другого следствия из идеи Горячей Вселенной — космического реликтового излучения. Гамов и его сотрудники несколько раз оценивали температуру этого излучения, хоть и не для того, чтобы озадачить радиоастрономов своим предсказанием. Они хотели убедиться в разумности своего сценария: если получилась бы слишком большая температура, сценарий пришлось бы забраковать. Его забраковали, как уже сказано, по совсем другой причине, но представление

о фоновом космическом излучении и его малой температуре жило своей жизнью и дождалось случайного открытия в 1965 году!

И Гамов дождался триумфа правильного следствия из его ошибочной идеи. Эту удачу он заслужил, расширив горизонт физического подхода к ранней Вселенной и не отступив от космологии Фридмана в трудное для нее время.

Подарок судьбы Андрея Сахарова

К Андрею Сахарову мировая слава пришла не за его научные достижения. Она на него обрушилась в 1968 году, сразу после того, как на Западе опубликовали его большую статью «Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе». Семь лет спустя его наградили Нобелевской премией мира за

«убедительность, с которой он провозгласил, что нерушимые права человека дают единственный надежный фундамент для подлинного и устойчивого международного сотрудничества» и за «бесстрашную личную приверженность к отстаиванию фундаментальных принципов мира между людьми».

Преображение секретного физика, «отца» советской водородной бомбы, в общественного деятеля и правозащитника озадачивало и западных наблюдателей, и тех, кто знал Сахарова со студенческих лет. Советским пропагандистам, однако, надлежало объяснить народу, что случилось с академиком, трижды Героем и лауреатом. Одно из объяснений звучало так: «Сахаров решил возместить прогрессирующую научную импотентность лихим ударом в другой области».



Академик и трижды Герой Андрей Сахаров за вечерней партией шахмат с женой Клавдией, вторая половина 1960-х годов, когда Сахаров выдвинул свои главные научные и общественно-политические идеи.

На самом же деле в 1967 году — накануне «лихого удара в другой области» — Сахаров опубликовал две свои самые яркие чисто научные идеи. И это, укрепив его веру в свои силы, сыграло роль в его поворотном жизненном решении.

Его изобретательский талант и чувство ответственности отделили его от чистой науки почти на двадцать лет, то есть почти навсегда, если говорить о способности выдвинуть принципиально новую идею. Для него это был большой вопрос. Оглядывая свою жизнь, шестидесятилетний Сахаров в «рукописной беседе» с женой — укрываясь от ушей КГБ — написал о своем возвращении в чистую науку в «преклонные» сорок с лишним лет:

На самом деле, подарок судьбы, что я смог что-то сделать после спецтематики. Никому, кроме Зельдовича и меня, это не удалось. И в США тоже ни Теллер, ни Оппенгеймер не смогли вернуться к большой науке. Там исключение — Ферми. Но он быстро умер и он — гений.

Вернуться в чистую науку Сахарову помог общительный Зельдович. Уйдя из ядерного проекта в 1963 году, он Сахарову заменял участие в научных семинарах и общение с мировой наукой. И первую задачу в космологии Сахаров, можно сказать, получил из рук Зельдовича. Но решил он ее сам и запомнил день, когда это случилось, — 22 апреля 1964 года: «...Я вновь уверовал в свои силы физика-теоретика. Это был некий психологический разбег, сделавший возможными мои последующие работы тех лет».

Его новая уверенность видна в «программе на 16 лет», которую он составил для себя в 1966 году. Почему 16? Возможно, потому, что предыдущие 16 лет провел на Объекте — в секретном ядерном центре, в отрыве от высокой науки. Видимо, по той же причине программа включила в себя 16 проблем, начиная с солидной «Фотон + Гравитация» и кончая загадочным «Мегабиттроном».

Особого внимания заслуживает пункт 14 в этой программе. Правда, думая о сложных физико-математических материях, академик пропустил восьмой пункт. А значит, пункт 14 становится фактически 13-м, чем можно объяснить его особый характер. Похоже, поставив себе цель набрать 16 задач, Сахаров задумался в этом месте, поставил вопросительный знак и, вспомнив, что наука плохо поддается планированию, дописал: «Именно это я и буду, наверно, делать». Он оказался прав: «именно этим», незапланированным, он занялся в том же, 1966 году и даже уместил в этот пункт две самые яркие свои теоретические работы.

1966 - 1982
Программа на 16 лет

Фотон + Гравитация



- 1)
- 2) Неустойчиве гравитод.
- 3) Масс. форми для Z^2 -метод
- 4) Проблема разн. масс $n-p$
- 5) $L \neq 0$ - Массы
- 6) Грани берг и квант. соот. при норме
- 7) Проблема некаблюдимости. кварков Z^2 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$
- 9) Спинорное расщ. гравит. поля
- 10) Лептоны, как кварки для Z^2 нормы
- 11) W-мезон и фотон
- 12) Проблемы локал. нуля
- 13) Функц. метод решения задач. Клаудер и Швингер
- 14) " Именно это я и буду, наверно, теория
- 15) Глианский ускоритель
- 16) Мегабитрон

Во-первых, он объяснил, почему во Вселенной частиц гораздо больше, чем античастиц, и то была самая успешная из его чисто физических идей. А во-вторых, предложил новый подход к гравитации, в которой усмотрел проявление ультрамикроскопических свойств вакуума.

Симметрии асимметричной Вселенной

Научный синоним слову «красота» — понятие «симметрия», математически точное, важное в физике и, сверх того, наглядное. Простой пример — зеркальная симметрия бабочки: если ее отразить в зеркале, правое крыло станет на место левого, но никакой разницы не заметить. Всякая симметрия — это закономерность формы, в силу которой форма эта не меняется при каких-то переменах.

Такое свойство, выраженное на языке математики, стало инструментом физики в изучении устройства природы. Физика прошла долгий путь, прежде чем в своих законах разглядела проявления глубинных симметрий мироздания. Все знают, что вертикально поставленный и закрученный волчок стоит на одной точке и не падает. Но почему? Потому что не знает, куда упасть: все направления, поперечные его оси, равноправны — все направления в пространстве симметричны относительно этой оси. Такая симметрия определяет главный закон волчка — закон сохранения момента импульса.

Понятие симметрии — одно из самых работоспособных в физике. Поведение не только волчка, но и атома и атомной бомбы определяются симметрией. Теоретик всегда ищет максимально симметричное упрощение своей задачи. А всякий фундаментальный физический закон раскрывает некую симметрию природы. Если же обнаруживается какая-то асимметрия, то это — проблема для теоретика.

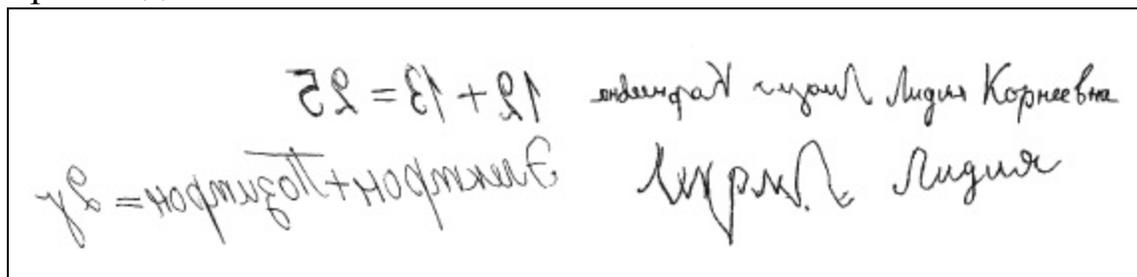
«Электродинамика Максвелла в применении к движущимся телам приводит к асимметрии, несвойственной самим явлениям», — так Эйнштейн начал статью о теории относительности. Созданием этой теории он преодолел асимметрию, которая оказалась лишь видом сбоку на глубинную симметрию природы.

Другой триумф симметрии в физике обязан Полю Дираку. В конце 1920-х годов, стараясь соединить теорию относительности и квантовую механику, он получил элегантно уравнение для электрона. Вскоре, однако, обнаружилось, что уравнение описывало еще и другую частицу — в чем-то очень похожую на электрон, а в чем-то противоположную. По массе эта частица совпадала с электроном, а по заряду была противоположной. Настолько противоположной, что встреча этой частицы с электроном привела бы к их аннигиляции, то есть взаимоуничтожению.

Никаких частиц, кроме электронов и протонов, физика тогда не знала, но Дирак поверил в симметрию своего уравнения и предсказал новую частицу, назвав ее антиэлектроном. Вскоре экспериментаторы обнаружили в космических лучах такую частицу, а назвали позитроном — из-за ее позитивного заряда. Для теоретиков же главное свойство новой частицы — быть антикопией электрона. Позже были открыты другие элементарные частицы с их антикопиями, которым уже давали правильные имена: антипротон, антинейтрон, антинейтрино... Когда частица и ее античастица при встрече аннигилируют, рождаются новые пары частица-античастица или частицы света — фотоны, наследующие суммарную энергию родительской пары.

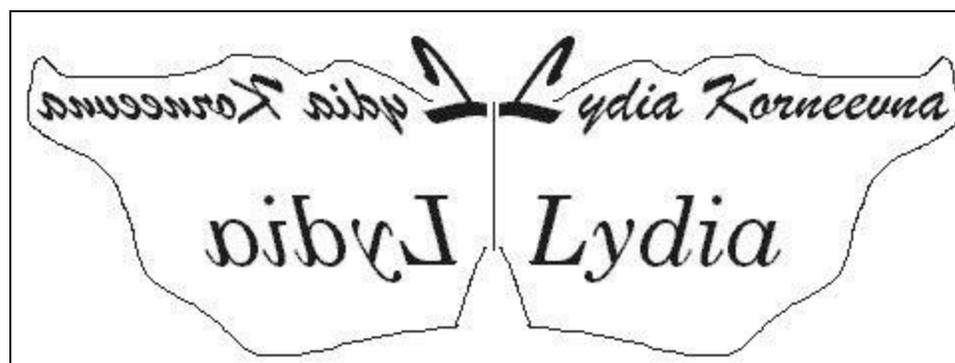
Мощь симметрии в объяснении реального мира убедила Дирака в том, что «физические законы должны обладать математической красотой». А история его успеха — одна из любимых у физиков-теоретиков, включая Сахарова. Когда он как-то показывал Лидии Чуковской свою способность писать зеркально, то первым делом написал «электрон + позитрон = 2 фотона». Затем написал ее имя-отчество одновременно двумя руками в

противоположных направлениях. Она попыталась повторить его фокус, но, оказалось, что писать симметрично дается не всем.



Из архива Е.Ц. Чуковской

А если бы и Лидия Корнеевна владела обеими руками одинаково и писала бы научной латиницей, получился бы у них автограф бабочкой:



Зеркальная симметрия, или симметрия бабочки, причастна к самой успешной идее Сахарова в космологии. В 1966 году, уже составив себе научный план на 16 лет вперед, он обратил внимание на странную асимметрию: античастиц в окружающей нас Вселенной очень мало, хотя для теоретиков вещество и антивещество имели равное право на существование. После того как экспериментаторы в 1932 году открыли антиэлектрон-позитрон, следующую античастицу — антипротон — удалось наблюдать лишь 33 года спустя. И лишь в конце века экспериментаторы сумели из антипротонов и антиэлектронов сделать атомы антиводорода. Сделали всего несколько штук, и прожили эти атомы лишь миллиардные доли секунды — до первой встречи с обычным веществом и аннигиляции.

Поясняя в популярной статье, что такое антивещество, Сахаров указал, что «аннигиляция 0,3 г антивещества с 0,3 г вещества даст эффект взрыва атомной бомбы», — вторая профессия дала о себе знать. Итак, соприкосновение двух таблеток с нитрокоток привело бы к такому же взрыву, как 20 тысяч тонн — десять эшелонов — обычной взрывчатки.

После такого пояснения уже не сочувствуешь экспериментаторам, создающим антивещество. Но можно посочувствовать теоретикам. Ведь все эксперименты с античастицами ничего не изменили в том теоретическом равноправии вещества и антивещества, о котором узнали еще в 1932 году. Как же свести концы с концами — теоретические с эмпирическими? Как объяснить, что равноправные вещество и антивещество так неравно представлены во Вселенной? На этот вопрос и искал ответ Сахаров.

Наиболее весомую часть вещества составляют ядерные частицы — протоны, нейтроны и их близкие родственники. Это семейство физики назвали барионами. А видимое отсутствие антибарионов назвали барионной асимметрией Вселенной.

Пока физики смотрели на Вселенную просто как на собрание всевозможных астрономических объектов, можно было думать, что вещество преобладает лишь в космических окрестностях Земли, а где-то есть и звезды, и планеты из антивещества. Астрофизики искали признаки антивещества в космосе. Писатели-фантасты устраивали драматические встречи земного космического корабля с неземным и, возможно, состоящим из антивещества. А остряки предложили способ узнать, не из антимира ли прилетел корабль, — если среди теоретиков там преобладают антисемиты.

Ситуация изменилась после открытия в 1965 году реликтового космического излучения. Даже скептики поверили, что к Вселенной можно относиться как к единому физическому объекту с историей, определяемой законами физики. Стало ясно, что Вселенная когда-то была очень горячей. Оставшееся от того времени реликтовое излучение остыло до температуры лишь на три градуса выше абсолютного нуля, но зато это излучение заполняет все пространство Вселенной. А обычное вещество сосредоточено в звездах и планетах, разделенных огромными расстояниями.

Если излучение и вещество пересчитать на частицы — фотоны и барионы, то окажется, что сегодня на один барион приходится около миллиарда фотонов — сегодняшних «еле теплых» фотонов.

А что было вчера? Вчера, когда Вселенная была меньше в размерах, фотоны — по законам физики — были горячее. И если углубиться в прошлое достаточно далеко, то был момент, когда энергии среднего фотона хватало, чтобы родить пару барион-антибарион. До того момента фотоны легко превращались в такие пары, а всякая пара при встрече так же легко превращалась в фотоны — аннигилировала. Поэтому в то горячее время подобных пар было примерно столько же, сколько фотонов. А значит, пар барион-антибарион было в миллиард раз больше, чем дошедший до наших дней избыток барионов над антибарионами. Нынешние барионы остались с тех пор, как фотоны остыли настолько, что их энергии уже не хватало на рождение новой пары.

Значит, в юной Горячей Вселенной барионов было лишь на одну миллиардную часть больше, чем антибарионов. Так что барионная асимметрия, присущая природе, не просто мала, а вызывающе мала.

Сахарову, во всяком случае, было «трудно представить себе», что изначально, по природе вещей, на $1\ 000\ 000\ 000$ фотонов приходилось столько же антибарионов, а барионов всего на одну штуку больше — $1\ 000\ 000\ 001$. Такие изначальные соотношения, пояснял Сахаров, «режут глаз»: «Именно это обстоятельство (как видит читатель, из области интуиции, а не дедукции) и было исходным стимулом для многих работ по барионной асимметрии, в том числе и моей».

Было оно стимулом и для Стивена Вайнберга, нобелевского лауреата, написавшего в своей книге о ранней Вселенной «Первые три минуты»:

Число барионов, приходившееся на один фотон, могло вначале иметь какую-то разумную величину, возможно, близкую к единице, а затем могло упасть до нынешнего малого значения из-за образования многих фотонов. Загвоздка здесь в том, что никому не удалось предложить механизм образования таких лишних фотонов. Я сам пытался что-нибудь придумать в этом роде, но безуспешно.

Лишь поняв некие «нестандартные возможности», Вайнберг принял барионную

асимметрию как факт, не поддающийся объяснению.

К выходу книги Вайнберга на русском языке в 1981 году стало ясно, что зря он проигнорировал нестандартную возможность, открытую Сахаровым в 1967-м. Этой возможности посвятил специальное дополнение Зельдович, под редакцией которого выходил русский перевод книги. Но и сам Зельдович, первым узнавший о сахаровской идее, долго считал ее слишком нестандартной, чтобы быть правильной. Сахаров вспоминает их разговор 1967 года:

Яков Борисович спросил, какая из моих чисто теоретических работ больше всего мне нравится. Я сказал: «Барионная асимметрия Вселенной». Он как-то весь сморщился, сжался: «Это та работа, где барионный заряд не сохраняется и время течет в обратную сторону?» — «Да, та самая». Зельдович промолчал, но было ясно, что он сильно сомневается в ценности этих моих идей.

Эти идеи Сахаров изложил в надписи на экземпляре статьи, подаренной близкому коллеге:

Из эффекта С. Окубо
при большой температуре
для Вселенной сшита шуба
по ее кривой фигуре.

О чем говорит этот научно-популярный стишок?

Три условия для ранней Вселенной

Сусуму Окубо, американский теоретик японского происхождения, о космологии не думал. Он занимался физикой элементарных частиц, когда там в середине 1950-х всплыла загадочная асимметрия. До того времени молчаливо считалось, что в микромире все в высшей степени симметрично и, в частности, зеркально симметрично — полный паритет (Parity) правого и левого, или P -симметрия, как у идеальной бабочки: если возможно некоторое явление в мире элементарных частиц, то столь же возможно и явление, зеркально симметричное. Однако в 1956 году экспериментаторы обнаружили, что в мире элементарных частиц это не так: существуют явления, зеркальные версии которых не столь же возможны.

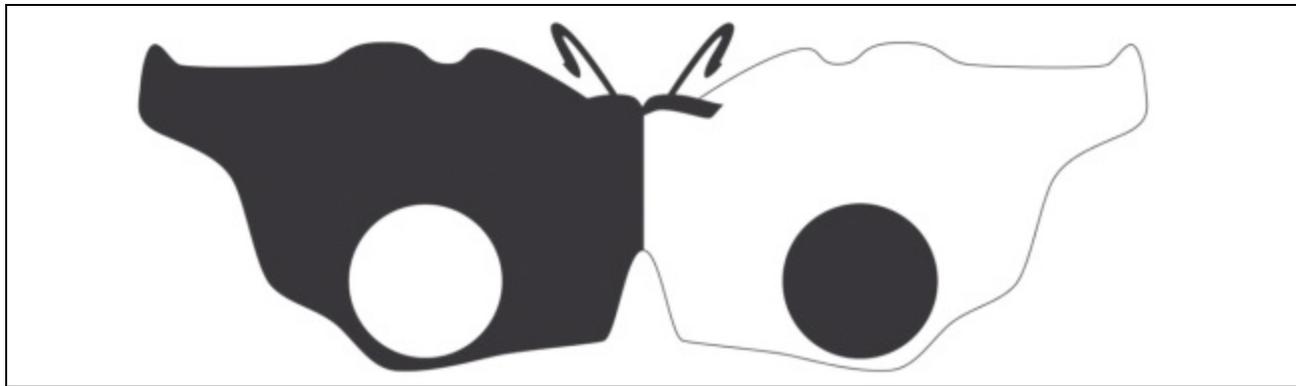
Обнаруженная асимметрия упала как снег на головы теоретиков. Они стали вглядываться в две другие симметрии, которые до того времени молчаливо считались столь же несомненными в микромире: операция C заменяет всякую элементарную частицу на ее античастицу, то есть всякий заряд (Charge) на противоположный, а операция T поворачивает время (Time) вспять, — заменяет всякое движение на противоположное.

Представим себе частицы белыми шариками, античастицы — черными, а каждую из операций P , C , T уподобим взмаху волшебной палочки. Взмах P -палочки меняет картину на зеркально-отраженную, C -палочка меняет цвет шариков на противоположный, а T -палочка меняет события так, как меняется видекартинка, если пленку запускают в обратную сторону.

До 1956 года физики были уверены, что жизнь микромира симметрична для любой из C -, P -, T -волшебных палочек. Быть теоретиком в таком мире проще, но простота, говорят, бывает хуже воровства. Переупрощение мира крадет у него глубину. Если бы правая и левая руки были одинаковы, то делать перчатки было бы проще. Однако важные вещи в мире людей объясняют различием правого и левого полушарий мозга — образного и логического.

Физикам предстояло понять непростые асимметрии микромира. Из основ ch -теории следовало лишь то, что взмах сразу тремя палочками физику не меняет. Это назвали CPT -симметрией.

Эйнштейн советовал все делать как можно проще, но не проще, чем надо. При этом не сказал, как же избежать переупрощения. Зеркальная кособокость микромира, подтвержденная в экспериментах, побуждала теоретиков строить воздушные замки, в которых наблюдаемый асимметричный флигель был бы лишь частью симметричного мироздания. И уже через год такой замок построил Ландау, обнаружив, что все известные тогда P -асимметричные явления подчиняются комбинированной CP -симметрии. Эту симметрию он провозгласил новым законом природы: одновременный взмах C — и P -палочками не меняет мира. Иначе говоря, Ландау предположил, что бабочка микромира имеет вид

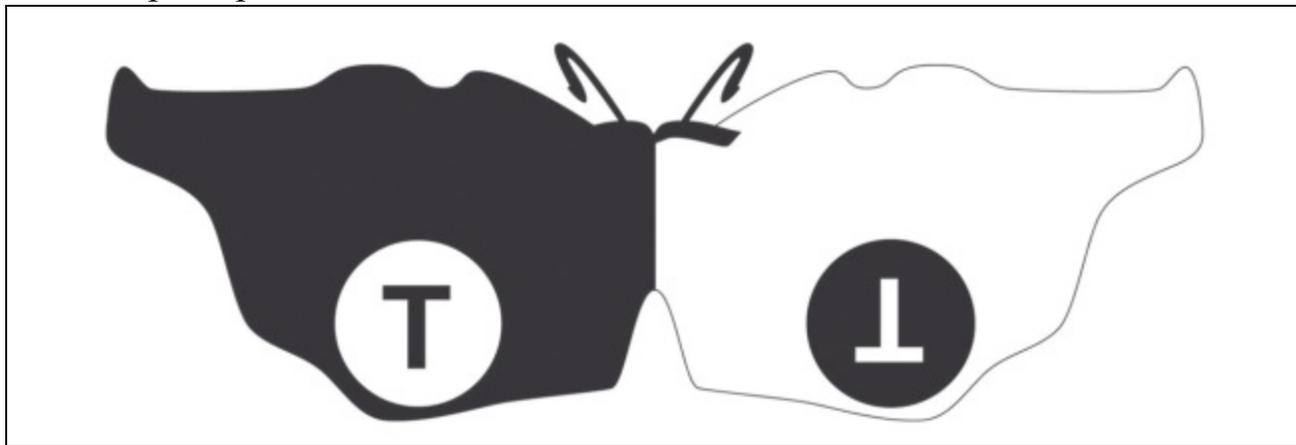


который не меняется, если одновременно с перестановкой правого и левого поменять местами черный и белый цвета — частицы поменять местами с античастицами.

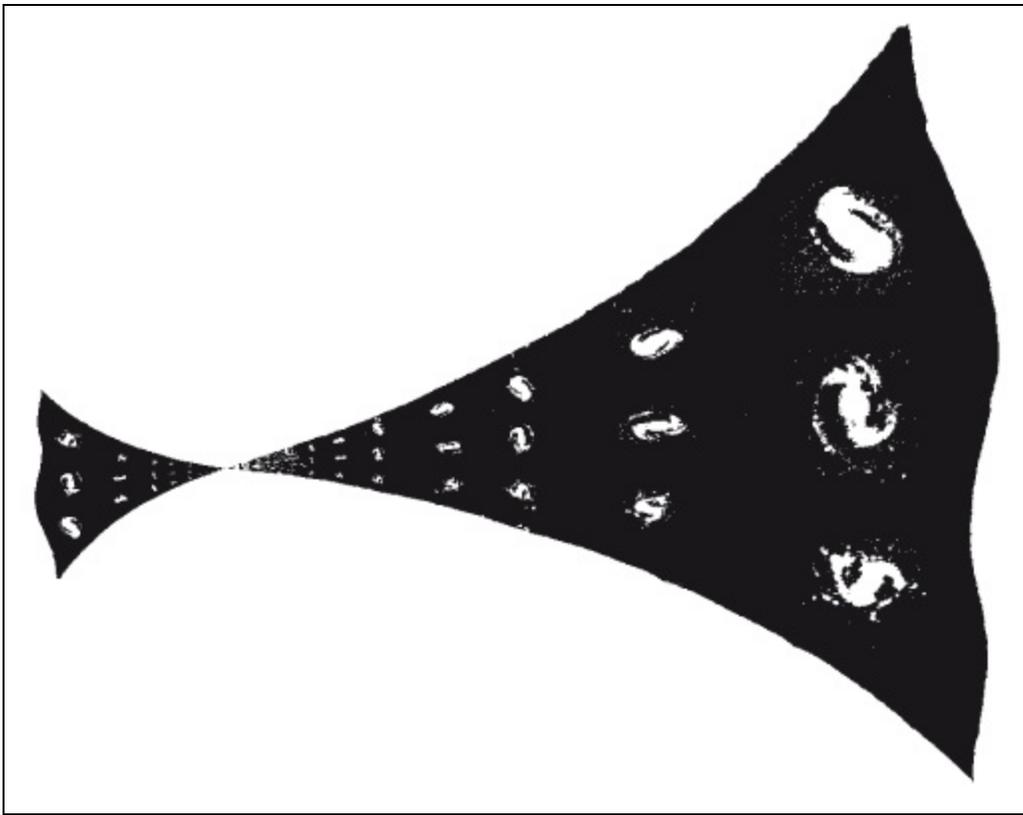
Важность научной работы можно измерять тем, насколько она помогает задавать новые вопросы Природе, и, значит, помогает опровергнуть себя — если Природа ответит отрицательно. Работа Ландау помогла Окубо задать вопрос: а что, если и CP -симметрия не всемогуща в микромире? И он придумал, как этот вопрос можно задать Природе. В статье 1958 года он указал, что если CP -симметрия нарушается, то частица и античастица, имея одинаковые времена жизни, могут по-разному свои жизни кончать, по-разному распадаясь на другие частицы. Это оставалось чисто теоретической возможностью до 1964 года, когда экспериментаторы обнаружили, что CP -симметрия действительно нарушается, хоть и очень мало. Так гипотеза Ландау, опровергнутая экспериментом, продвинула поиск научной истины.

В 1966 году настала очередь Сахарова продвинуть этот поиск дальше. Эксперименты о нарушении CP -симметрии и эффект Окубо в микромире соединились в его размышлениях с фактом барионной асимметрии Вселенной. И родилась идея о микрофизическом происхождении этой асимметрии — «кривой фигуры» Вселенной.

Он исходил из того, что в микромире действует лишь самая общая CPT -симметрия, то есть бабочка микромира выглядит так:



Она не изменится, если переставить сразу все три: правое на левое, частицу на ее античастицу, прошлое и будущее (перевернуть букву T). Рядом с этой бабочкой микромира Сахаров увидел, можно сказать, бабочку Вселенной:



Точнее, в наблюдаемой расширяющейся Вселенной он разглядел одно крыло вселенской бабочки и применил *CPT*-симметрию микрофизики для объяснения барионной асимметрии Вселенной.

В эпоху Большого взрыва вещество было так сжато, что элементарные частицы «чувствовали локтем» друг друга, и Вселенная жила по законам микромира. По идее Сахарова, именно тогда асимметрия Вселенной складывалась в процессах, бурлящих в каждой микроточке космического пространства. *T*-асимметрия расширения Вселенной позволила породить наблюдаемую *S*-асимметрию вещества — разное содержание частиц и античастиц в *P*-асимметричных крыльях Вселенной по разные стороны от времени Большого взрыва. Помимо крыла вселенской бабочки, видного астрономам, физик-теоретик Сахаров видел мысленно и другое крыло, раскрывшееся до Большого взрыва. Космологическая бабочка *CPT*-симметрична, но увидеть ее целиком не дает краткость человеческой жизни по сравнению с возрастом Вселенной.

Физический механизм, порождающий избыток барионов из первоначально симметричного состояния, Сахаров собрал из трех компонент:

- 1) «Из эффекта *S*. Окубо...» — различие распадов частицы и античастицы;
- 2) «При большой температуре для Вселенной...» — это различие производит нужный космологический эффект за ультракороткое время, пока Вселенная достаточно горяча, а затем результат «замерзает»;
- 3) «Шита шуба...» — иглой, которая была совершенно новым инструментом в физике. Сахаров предположил, что барионный заряд не сохраняется. В частности, это означало, что протон — «кирпич мироздания», считавшийся совершенно стабильным, — должен самопроизвольно распадаться.

В конце статьи Сахаров благодарит за обсуждение шестерых физиков. Один из них, Лев Окунь, считает эту работу о барионной асимметрии Вселенной «одной из самых глубоких и смелых статей двадцатого века». Смелость была ясна сразу: ведь Сахаров посягнул на

казавшийся тогда незыблемым физический закон — закон сохранения барионного заряда.

В школе изучают лишь электрический заряд, сохранение которого заложено в самих законах электромагнетизма. А сохранность барионного заряда — числа всех барионов минус число антибарионов — не следовала из какой-то «теории барионного поля», а опиралась лишь на то, что пока не наблюдался распад бариона на небарионы. Факт достоин уважения, и Сахаров свое уважение проявил, оценив темп распада протона в предложенной им теории. Распад оказался «астрономически» медленным, что объясняло, почему он не наблюдался — требовалась невиданная точность измерений.

Уважать факт или беспрекословно ему подчиняться, решает сам исследователь. В конце 1960-х годов почти все физики, включая Зельдовича, выбрали абсолютное подчинение барионной симметрии. История провела мини-опрос общественного мнения об этом и среди американских коллег Сахарова и Зельдовича. Как раз в 1966 году выдающиеся теоретики (и к тому же «отцы» американского ядерного оружия) Р. Оппенгеймер и Э. Теллер в своих статьях выразили безоговорочную веру в закон сохранения барионного заряда. Теллер на своей уверенности основал даже гипотезу, объясняющую только что открытые сверхяркие астрономические объекты — квазары — как столкновения галактик и антигалактик, которых во Вселенной должно было быть поровну. Как пел в те годы Окуджава: «...Все поровну, все справедливо, на каждого умного — по дураку, на каждый прилив — по отливу». На каждый протон — по антипротону, а на каждую галактику — по антигалактике.

Почему в 1966 году Сахаров вышел из этого единогласия? Быть может, он глубже других понял только что преподанный урок *CP*-симметрии, согласно которому в физике, как в правовом государстве, разрешено все, что не запрещено законом. Или глубже осознал факт космологической асимметрии вещества — антивещества и не стал себя уговаривать, что наблюдаемую с Земли — «местную» — асимметрию как-нибудь удастся совместить с симметрией общевселенской. Фактически, конечно, речь идет о научной интуиции, которая знает о фактах и теориях, но к ним не сводится.

Когда в 1948 году Сахаров заподозрил, что полученный из рук Зельдовича проект термоядерной бомбы ведет в никуда, и придумал совершенно новый путь, это сработала его интуиция. Тогда Зельдович сразу же оценил его идею. В 1966 году предложенный Сахаровым путь слишком круто уходил от протоптанных дорог, и Зельдовичу, на глазах которого работала интуиция Сахарова, потребовались годы, чтобы оценить серьезность нового направления. Это произошло, когда физика элементарных частиц также усомнилась в стабильности протона. Тогда сахаровское объяснение барионной асимметрии Вселенной заняло наконец свое место в арсенале современной физики. По словам Окубо, «хоть эта идея и кажется сейчас простой, понадобился гений Сахарова, чтобы соединить много разных сторон теории в стройную картину».

Картину эту рано еще вставлять в золоченую рамку. К чему приведет экспериментальная проверка и развитие теории, объясняющей космологическую асимметрию вещества и антивещества, наверняка выяснится в наступившем тысячелетии. А в обзоре перспектив более близкого будущего в журнале «Scientific American» читаем:

Можно себе представить, что Вселенная родилась кривобокой, то есть уже с самого начала имела неравные количества частиц и античастиц. Теоретики, однако, предпочитают другой сценарий, в котором численности частиц и античастиц в ранней Вселенной были одинаковы, но по мере ее расширения и

охлаждения частицы стали преобладать. Советский физик (и диссидент) Андрей Сахаров указал три условия, необходимые для накопления этой асимметрии.

Указав одним из этих условий несохранение барионного заряда — или распад протона, — Сахаров стал диссидентом в физике. Действительно ли он разгадал новый закон природы, пока не ясно. Но история показывает, что тайны природы открывают себя лишь подобным диссидентам.

Гравитация как упругость вакуума

Распад протона, который ищут экспериментаторы, волнует также и теоретиков, ищущих так называемое Великое объединение — теорию, объединяющую все фундаментальные силы природы, за исключением гравитации. А вторая идея, которую судьба подарила Сахарову в 1967 году, нацеливалась именно на гравитацию.

К тому подарку был причастен Зельдович, решивший заполнить пустоту... вакуумом — пустое пространство-время эйнштейновской теории гравитации заполнить квантовым вакуумом микрофизики.

Пустое пространство-время в *ch*-теории тогда уже не напоминало ящик без стенок, наполненный тиканьем невидимых часов. Еще в конце 1940-х годов экспериментаторы подтвердили то, о чем теоретики говорили с начала 1930-х. Если из какого-то сосуда удалить все содержащееся в нем вещество, то останется не безжизненная пустота, как можно подумать «невооруженным мозгом», а скрытно бурлящая жизнь: непрерывное рождение и аннигиляция частиц и античастиц. И это безостановочное бурление заметили «вооруженным глазом» экспериментаторы, оно, попросту говоря, меняет цвет пламени. Меняет очень мало, но физики ухитрились заметить. И скучная пустота заслужила научно-латинское имя «вакуум».

Экспериментаторы разглядели вакуум через микроскопы-спектроскопы, а теоретик Зельдович предложил высмотреть его в телескоп. Он придумал, как объяснить астрономические данные о странном распределении квазаров. Для этого требовалось, чтобы Вселенная в прошлом расширялась какое время очень медленно. Такое поведение могла обеспечить космологическая постоянная в уравнениях Эйнштейна. Однако в 60-е годы эта величина считалась историческим курьезом. Эйнштейн ее породил, и он же ее почти убил. Породил ради статической Вселенной, а решил убить, узнав, что динамическая космология возможна и без нее. Зельдович вдохнул в нее физическую жизнь, предположив, что она — результат физики *ch*-вакуума, что энергия вакуума оказывает гравитационное действие, влияя и на темп расширения Вселенной.

О своей идее Зельдович рассказал на семинаре, но не нашел сочувствия. Идея противоречила тогдашнему представлению о том, что вакуум воздействует лишь на элементарные частицы, а для объектов комнатных и космических размеров вакуум остается прежней пустотой. Физиков не впечатлил и повод, побудивший Зельдовича сказать столь новое слово в науке, и в этом они оказались правы: астрономический факт, возбуждавший творческую фантазию Зельдовича, растворился в новых наблюдениях.

Сахаров от самого Зельдовича узнал, что теоретики не приняли его идею:

После семинара Зельдович позвонил мне по телефону и рассказал содержание своей работы, очень мне сразу понравившейся. А через несколько дней я сам позвонил ему со своей собственной идеей, представлявшей дальнейшее развитие его подхода.

Судьба подготовила Сахарова к восприятию новой идеи, независимо от ее астрономического повода. О квантовом вакууме Сахаров размышлял еще в 1948 году, накануне его высылки из большой науки в «большую технику». Двадцать лет спустя он не просто поддержал Зельдовича, а увидел, что микрофизика могла бы объяснить гравитацию

на самом глубоком уровне — на том, куда гравитация, возможно, и уходит своими корнями.

Квантовое бурление вакуума Зельдович суммировал одной величиной — плотностью энергии, малая величина которой сказала бы лишь на астрономически больших расстояниях. А Сахаров саму гравитацию решил объяснить как свойство квантового вакуума. Он предположил, что гравитации — школьного Ньютонова тяготения — в сущности, нет. А что же есть? Есть упругость вакуума, которая и приводит ко всем проявлениям всемирного тяготения — от падения яблока до расширения Вселенной.

Но если идея Сахарова «отменила» гравитацию, почему же она так понравилась виднейшей фигуре в гравитации — Джону Уилеру, который с энтузиазмом говорил об этой идее в своих статьях и в фундаментальной монографии «Гравитация»? Потому что главным для Уилера было не то, чтобы любой ценой сохранить эйнштейновскую теорию гравитации, а чтобы по-настоящему ее понять, то есть решить трудные вопросы этой теории. Важнейший из таких вопросов — квантование гравитации.

Идея Сахарова открыла новый взгляд на эту неприступную крепость, 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. Надежда была на то, что следствием полной квантовой теории вакуума станет эйнштейновская теория гравитации с ее искривленным пространством-временем, с ее звездным коллапсом и расширением Вселенной. А уж из эйнштейновской теории, когда гравитация не очень сильна, следует Ньютонов закон тяготения.

Тот, кто помнит вид этого закона по школьному учебнику,

$$F = GmM/r^2,$$

может спросить, откуда возьмется величина гравитационной постоянной G . Сахаров исходил из того, что в полной теории микромира возникнет новая константа — фундаментальная длина l , указывающая границу применимости геометрических представлений, известных со времен Евклида. На расстояниях, меньших l , обычные понятия пространства и времени должны замениться какими-то другими понятиями — гораздо более глубокими и менее наглядными, что предсказал еще Матвей Бронштейн. Какими именно понятиями, подход Сахарова позволяет пока не уточнять. И позволяет теоретикам продолжать поиск полной теории элементарных частиц. Однако предлагает стратегический план, как этот поиск совместить с пониманием квантовой гравитации. Если эта стратегия увенчается успехом, то из микрофизической длины l возникнет константа G , управляющая падением яблок и движением планет.

В новой микрофизической длине l естественнее всего предположить уже известную нам cGh -длину:

$$l = l_{cGh} = (hG/c^3)^{1/2} \approx 10^{-33} \text{ см.}$$

Эту формулу можно переписать в виде:

$$G = l^2 c^3 / \hbar,$$

чтобы увидеть гравитационную константу как результат квантовой физики вакуума, определяемой константами l , c и \hbar . И тогда вместо « $cG\hbar$ » надо будет говорить о chl -физике (ставя константы в историческом порядке).

Свой подход Сахаров назвал: «гравитация как упругость вакуума». Чем же это похоже на обычную упругость, знакомую каждому безо всякой науки? Делая первые луки, люди интуитивно учитывали упругость дерева, не догадываясь, что упругость определяется силами сцепления между молекулами. Конструктору лука стоит изучать строение вещества, лишь если его не устраивает метод проб и ошибок — перебор материалов наугад.

Аналогично, чтобы описать движение под действием тяготения Земли, достаточно просто знать величину G — коэффициент упругости вакуума согласно Сахарову. Но чтобы узнать, что произойдет со звездой в результате ее коллапса или как начиналось расширение Вселенной, не обойтись без знания полной квантовой теории вакуума.

«Мировая наука и мировая политика» в 1967 году

Механизм барионной асимметрии, изобретенный Сахаровым в 1967 году, — до сих пор единственный путь объяснить наблюдаемое соотношение вещества и антивещества, но все же пока это — гипотеза. А идея объяснить гравитацию свойствами микромира до сих пор остается лишь общей стратегической идеей.

Поэтому, оценивая эти идеи, коллегам Сахарова приходится полагаться на ту силу разумного чувства, которая называется интуицией. Разнообразие интуиций необходимо для успеха совместного научного поиска, но разнообразие интуиций ведет к различию оценок. К примеру, Сахаров назвал одной из лучших идей Зельдовича ту, которая родилась «у забора» астрономии. Сам Зельдович так не думал — в научной автобиографии 1984 года об этой идее ни слова. Некоторые трезвомыслящие теоретики не склонны придавать серьезное значение идее об упругом вакууме, пока она не доведена до настоящей теории — «цыплят по осени считают». Другие же ценят эту идею более всего сделанного Сахаровым в чистой науке, видя в ней следующий после Эйнштейна шаг к раскрытию физической природы гравитации.

Предоставляя истории окончательное суждение, можно тем не менее сказать: теоретик, в течение одного (1967) года выдвинувший две столь новаторские идеи, мог радоваться. Особенно если этот теоретик нес на себе еще и бремя ведущего разработчика термоядерного оружия.

Бремя это с Сахарова сняли руководители страны в 1968 году, лишь только на Западе опубликовали его «Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе». Физик-теоретик принял свое решение, опираясь на тот же разум и ту же силу характера, что и в научных исследованиях. После распада СССР, когда открылись секретные архивы, выяснилось, что этот поступок Сахарова опирался на те же самые качества — пронизательный анализ фактов и смелость мысли, которые определяли его научную жизнь.

У него были две профессии — физик-теоретик и эксперт по стратегическому оружию. Факты, доступные ему в силу его второй профессии, убедили его в некомпетентности советского руководства в проблемах стратегического равновесия — в области его полной компетенции. Произошло это, по совпадению, в том же 1967 году. Именно в том году на авансцену мировой политики вышла проблема стратегической противоракетной обороны.

Прежнее уравнение стратегического равновесия в мире, разделенном на два лагеря, имело два слагаемых — ядерно-ракетное оружие (ЯРО) и глубокое НЕДОВЕРИЕ к противной стороне:

$$\text{ЯРО}_{\text{СССР}} + \text{НЕДОВЕРИЕ}_{\text{СССР}} = \text{ЯРО}_{\text{USA}} + \text{НЕДОВЕРИЕ}_{\text{USA}}.$$

К концу 1950-х годов объем ЯРО вырос настолько, что каждая из сторон, даже будучи атакована, могла нанести другой «неприемлемый ущерб», и это означало равновесие, пусть и равновесие страха. Равновесие не было абсолютно устойчивым из-за второго — нематериального — слагаемого, и Карибский кризис 1962 года показал это, подведя к самому порогу войны. Неизбежность возмездия удержала обе стороны от непоправимого. Развитие и накопление наступательного оружия не меняли суть устрашающего баланса, названного взаимно-гарантированным уничтожением.

Однако к 1967 году стало ясно, что в стратегическом уравнении может появиться новое слагаемое — стратегическая противоракетная оборона (СПРО):

$$ЯРО_{СССР} + СПРО_{СССР} + НЕДОВЕРИЕ_{СССР} = ЯРО_{USA} + СПРО_{USA} + НЕДОВЕРИЕ_{USA}$$

Реальных систем СПРО еще не было, но были проекты, модели и прошли первые испытания. Анализ нового уравнения привел Сахарова к парадоксальному выводу, что разворачивание соревнования в новом, вроде бы оборонительном, оружии увеличивает угрозу мировой войны. Источник опасности опять был в нематериальном слагаемом — в НЕДОВЕРИИ. В ходе гонки наступательно-оборонительных вооружений, неизбежно состоящей из временных отставаний и опережений, будут возникать моменты, когда руководство страны придет к выводу, что на данной стадии — на какое-то время — страна обеспечила себе противоракетный «зонтик». Тогда возникнет соблазн покончить с противником раз и навсегда, нанеся стратегический удар и не опасаясь возмездия. Иначе это сделает противник, обеспечив себе — на какое-то время — противоракетный «зонтик».

В секретном обстоятельном послании в Политбюро от 21 июля 1967 года Сахаров изложил свое понимание ситуации и предложил два конкретных шага.

Во-первых, принять американское предложение о моратории на СПРО, то есть убрать новое слагаемое из стратегического баланса. Сахаров не идеализировал руководителей США и допускал, что их предложение носит

конъюнктурный характер и обусловлено, вероятно, предвыборными соображениями, но объективно, по моему мнению и мнению многих из основных работников нашего института, отвечает существенным интересам советской политики, с учетом ряда технических, экономических и политических соображений.

Эти соображения Сахаров объяснил в своем письме и предложил

поймать американцев на слове, как в смысле реального ограничения гонки вооружения, в котором мы заинтересованы больше, чем США, так и в пропагандистском смысле, для подкрепления идеи мирного сосуществования.

Во-вторых, догадываясь, что предложение о моратории на СПРО инициировали американские эксперты, подобные ему, Сахаров предложил поддержать «группы зарубежной научной и технической интеллигенции, которые при благоприятных условиях могут явиться силой, сдерживающей ястребов», напомнив, что «эти группы играли важную роль при подготовке Московского договора о запрещении испытаний». Наилучшей поддержкой, считал он, стало бы открытое обсуждение новой стратегической ситуации в советской печати. И приложил к письму статью на эту тему «Мировая наука и мировая политика», подготовленную вместе с известным журналистом Э.И. Генри. В статье, разумеется, не было секретных сведений, но главная мысль осталась: гонка противоракетной обороны значительно увеличила бы опасность ядерной войны, и роль ученых — разъяснить и предотвратить эту опасность.

В ответ на свое экспертное послание Сахаров получил указание не лезть со своими

непрощеными советами. Сам по себе этот факт заслуживал размышлений теоретика и требовал действий от «отца» водородной бомбы, осознающего свою ответственность. В результате он написал большую статью «Размышления о прогрессе, мирном сосуществовании и интеллектуальной свободе» и отдал ее в «самиздат».

Статью эту он послал также в Политбюро, не зная, что КГБ уже доставило туда экземпляр и что по указанию Брежнева члены Политбюро знакомятся с текстом. Спустя считанные недели после того, как Сахаров «стукнул по столу» своими «Размышлениями», появился первый признак того, что советские лидеры изменили свою позицию и согласились начать переговоры с США. Переговоры завершились в 1972 году договором, важнейшей частью которого стал мораторий на СПРО.

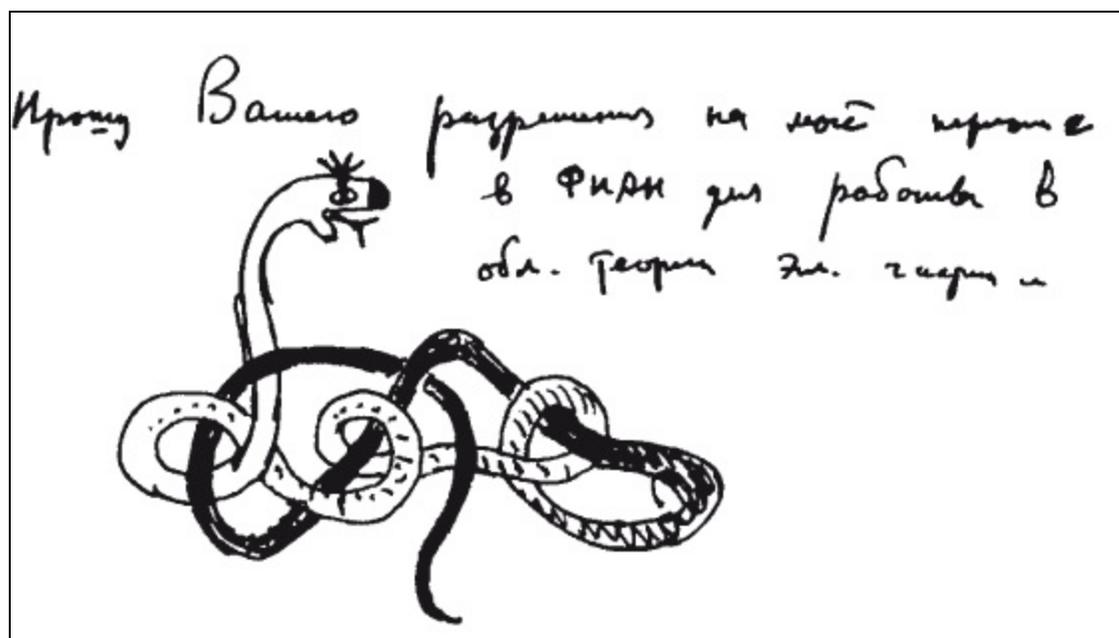
Ну, а Сахаров, уже отлученный от секретного мира стратегических проблем, продолжал размышлять над ними и над теми политическими фактами, которые стали ему известны «экспериментально». Проблема стратегического равновесия требовала учитывать социально-экономические возможности страны, включая эффективность науки и техники и эффективность государственных решений.

Теоретик-изобретатель

Сахарову закрыли въезд на Объект, где он жил и работал почти двадцать лет, но власти не знали, что делать с «шалавым политиком», как выразился министр Среднего машиностроения, то бишь ядерных дел. 47-летний физик почти год был безработным, хоть и при своей средмашевской зарплате. В сентябре 1968-го он впервые участвовал в международной конференции (правда, на советской земле). Сделал доклад о гравитации как упругости вакуума и познакомился с Джоном Уилером, на которого его гипотеза произвела сильнейшее впечатление.

Весной 1969 года И.Е. Тамм, учитель Сахарова, предложил ему вернуться в Физический институт Академии наук, где он начинал свой путь в науке. В заявлении директору ФИАН Сахаров пояснил:

В настоящее время я фактически не работаю по линии Министерства Среднего Машиностроения на работе, бывшей моим главным делом в 1948–68 гг. В ФИАНе предполагаю работать в области теории элементарных частиц. Мне потребуется некоторый срок для ликвидации пробелов в моих знаниях в этой области. Прошу официально запросить Министерство Среднего Машиностроения о моем переводе в ФИАН.



Сохранился и черновик его заявления в Средмаш с просьбой о переводе «в ФИАН для работы в области теории элементарных частиц». Спустя полтора месяца Средмаш отпустил столь несреднего машиностроителя. Сахаров был заместителем научного руководителя Объекта, и его перевод согласовывался на самом верху.

Изображенная на черновике зловещая змеюка отражает отношение Сахарова к военно-промышленному комплексу. Этот термин ввел в 1961 году Президент США Эйзенхауэр, в прощальной речи предостерегая своих сограждан «от чрезмерного влияния военно-промышленного комплекса».

В сентябре 1962-го Сахаров понял, что предостережение касается и его социалистической родины. Он пытался предотвратить дублирующее ядерное испытание,

которое, он был уверен, не требовалось для обороноспособности страны. К тому времени он уже измерял мощность ядерного взрыва количеством будущих жертв от радиоактивного загрязнения атмосферы. Он выступил против военно-промышленных и научно-технических карьеристов, для которых еще одно испытание означало новые ордена, премии и повышения по службе. Гуманитарные тревоги «отца» советской водородной бомбы были им совершенно чужды. Он старается убедить министра, звонит Хрущеву. Но терпит поражение:

Ужасное преступление совершилось, и я не смог его предотвратить! Чувство бессилия, нестерпимой горечи, стыда и унижения охватило меня. Я упал лицом на стол и заплакал. Вероятно, это был самый страшный урок за всю мою жизнь: нельзя сидеть на двух стульях!

Его представление о советском государстве дало трещину. Это была не первая трещина, но кое-что важное ему удавалось делать. Так, например, он способствовал заключению Договора 1963 года о запрещении ядерных испытаний в атмосфере и этим гордился.

Даже после «Размышлений» 1968 года Сахаров, уже противостоя руководителям советского государства, «по мироощущению все еще был в этом государстве — не во всем с ним согласный, резко осуждающий что-то в прошлом и настоящем и дающий советы относительно будущего — но изнутри и с сознанием того, что государство это мое».

Размышляя о противоракетном фронте «холодной войны», Сахаров открыл «экспериментальный» факт, который определял судьбы страны и мира. Неустойчивое стратегическое равновесие угрожало превратить «холодную войну» в мировое самоубийство. Решение проблемы он нашел, соединив прогресс, международную безопасность и интеллектуальную свободу. Включение прав отдельной личности в решение мировых проблем многим казалось наивным прекраснодушием, но Сахаров изобретательно расширил средства, чтобы достичь желаемую цель — уменьшить и обезвредить слагаемое НЕДОВЕРИЕ в уравнении стратегического равновесия. Он осознал, что главная опасность не в самом по себе сверхмощном оружии, а именно в НЕДОВЕРИИ, которое и запускает оружие в действие.

Он понял, что в ядерно-ракетный век единственная надежная основа международной безопасности — права личности, включая интеллектуальную свободу. А уменьшить недоверие к данному правительству можно, лишь если это правительство станет доверять своим гражданам, обеспечит их права. Права, сформулированные в Декларации прав человека, принятой ООН еще в 1948 году, когда Сахаров изобретал первую советскую термоядерную бомбу. Двадцать лет спустя он обосновал связь между сверхмощным оружием, надежным миром и правами личности: само наличие сверхмощного оружия и стремление к миру вынуждает претворять Декларацию прав человека в жизнь.

Найдя такое изобретательно-теоретическое решение важнейшей мировой проблемы, Сахаров приступил к его осуществлению практическими действиями, чему посвятил последнее двадцатилетие своей жизни.

Теперь от чистой науки его отвлекало не бремя разработчика термоядерного оружия, а взятое на себя новое бремя — защита прав человека. Неужели это было ему столь же интересно, как теоретическая физика? Дело не в интересе, а в личном чувстве ответственности человека, который смотрит на мир взглядом фундаментального теоретика, а действует как практичный изобретатель. Сахаров осознавал, что его «отцовство» советской

водородной бомбы защищает его более других, придает его мнению больший вес и, значит, возлагает на него особую ответственность.

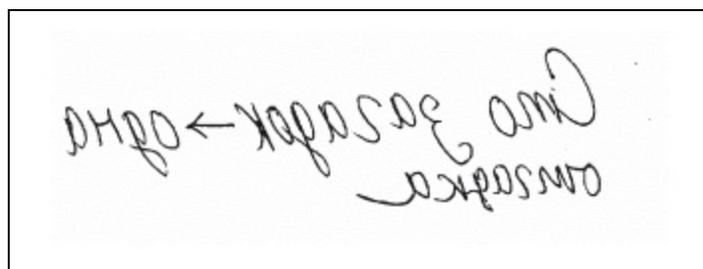
В одном человеке таланты теоретика и изобретателя сходятся очень редко, поскольку требуют разных типов мышления и даже противоречат друг другу. Сочетание это удивляло близких коллег Сахарова. Виталий Гинзбург, например, говорил, что Сахаров «был сделан из материала, из которого делаются великие физики», но «просто... у него всегда был такой изобретательский дух», подразумевая, что изобретательство отвлекало Сахарова от фундаментальной физики.

Если говорить о взаимодействии двух талантов Сахарова, то его стиль жизни можно назвать «теоретик-изобретатель». Это выражение он применил, говоря о своей военно-технической работе, но оно годится и к его теоретической физике, и к его общественной деятельности.

Теоретики различаются не только интуицией, но и способом работы. Одни начинают с какой-то общей идеи и ищут путь к ее конкретному оформлению. Другие начинают с упрощенной теории конкретного явления. Третьи — с самой общей физической теории, которую они пытаются применить к данной проблеме.

В теоретике Сахарове жил изобретатель. Инженер-изобретатель исходит из уже изученных готовых элементов, которые можно комбинировать. Теоретик-изобретатель придумывает и сами элементы, которые не противоречат фундаментальным законам. Изобретательность проявляется в том, насколько необычные элементы берутся для конструкции. Однако, прежде чем взяться за изобретательство, теоретика первым делом надо выявить и поставить перед собой загадку природы (или проблему общества, если это теоретик гуманитарного профиля). В этом ему никто не поможет, даже историк науки.

Но кое-чему история учит. Один из ее уроков Сахаров выразил в загадочно-зеркальной форме:



«Сто загадок — одна отгадка» можно назвать формулой научного триумфа в истории фундаментальной физики. Другой урок этой истории состоит в том, что обычно в сердцевине отгадки крылись новые загадки.

Фундаментальная загадка, занимавшая Сахарова более всего, — происхождение наблюдаемой Вселенной, нацелена на самое далекое прошлое, а ее разгадка связана с вопросом о будущем физики.

Послесловие

Три вопроса о прошлом и будущем

В наше время культурный человек, претендующий на знакомство с наукой, должен знать число 13,7. Иначе сайт Общественного радио США, посвященный науке и культуре, не сделал бы это число своим названием: www.npr.org/13.7/ (русская десятичная запятая переводится английской точкой).

Впервые увидев это название, хочется проверить, действительно ли научно-культурные люди сразу поймут, что это — возраст Вселенной, выраженный в миллиардах лет. Проверить это в наше время легче всего, прогуглив «13.7». И получив почти четыре миллиона подтверждений плюс сотню тысяч уточнений:

«13.7 billion years» результатов примерно 319201000

«13.72 billion years» результатов примерно 1131000

Легко представить себе фаната науки, который, видя уточнение даты важнейшего события в истории Вселенной, ожидает, что вскоре наука выяснит эту дату вплоть до дня, чтобы затем отмечать день рождения Вселенной (только бы не 29 февраля). Долю таких фанатов среди просто научно-культурных людей оценим, разделив одно число результатов на другое. Получим, что доля эта — примерно один из тридцати человек, точнее, согласно моему калькулятору, один из 34,69026548672566.

Если читатель, не проверяя, заподозрит неладное в этой сверхточной оценке, значит, у него с научной культурой все в порядке. Действительно, из чисел, округленных до процента, не получишь результат с большей точностью. А если калькулятор получил, то лишь потому, что не умел проводить приближенные вычисления, фактически предполагая, что числа в него закладывают абсолютно точные.

Тот калькулятор, который впервые получил число 13,7, тоже не знал всех предпосылок своих арифметических действий. Предпосылки эти описаны в научных статьях и книгах. Их авторы, как обычно в науке, различаются во мнениях о точности исходных измерений — своих и чужих — и о роли других, более хитрых, предпосылок, но, уверен, сходятся в том, что уточнение величины «13,7» для науки не имеет особого значения. Знания о Вселенной, добытые с помощью космических и земных приборов, вовсе не сводятся к одному числу. Если какая-то предпосылка изменится и вместо 13,7 появится, скажем, 17,3, наука это легко переживет. Вот если появится величина, существенно меньшая, чем 13,7, — скажем, 7,13, то возникнет проблема. Дело в том, что известны звездные скопления, возраст которых больше 11 миллиардов лет.

Все это объясняется на сайте Космического агентства США (NASA), спутники которого собрали основные наблюдательные данные о Вселенной. Там же сказано, что нынешняя точность определения числа 13,7 составляет от 1 до 2 %, в зависимости от предпосылок. Отсюда следует, что говорить о величине 13,72, то есть о точности 0,1 %, и не научно, и не культурно.

А вот обсудить смысл понятия «возраст Вселенной» стоит. Определяют эту величину примерно так, как криминалист определяет, откуда стрелял пистолет, изучая отверстие в стене и пулю. Зная марку пистолета и, стало быть, начальную скорость пули, он рассчитывает ее траекторию. Криминалисту гораздо труднее, если пистолет — уникальный, ручной

работы, или если пуля вообще вылетела не из пистолета, а была, скажем, последней ступенью маленькой ракеты.

Аналогично астрофизик, измерив нынешнюю скорость расширения Вселенной, то есть скорость разлета галактик, пытается выяснить, когда расширение началось — когда произошел «выстрел», названный Большим взрывом. Роль пистолета выполняет уравнение гравитации Эйнштейна, которое описывает разлет галактик, если известны все формы вещества и энергии, заполняющие пространство. На сегодняшний день астрофизики имеют представление о веществе, составляющем, как считается, лишь около 5 % всей начинки Вселенной. Остальные 95 %, так называемые «темная материя» и «темная энергия», — дело темное. Сама же теория гравитации Эйнштейна, хорошо проверенная в масштабах Солнечной системы, предполагается применимой и в масштабах, в миллиарды раз больших.

Уже отсюда ясно, что за числом 13,7 кроются многие предпосылки. В одних астрофизики уверены на 99 %, в других меньше, о третьих спорят на конференциях. Так почему же число 13,7 (с точностью до процента!) вошло в сознание научно-культурной публики? Это случилось не так давно.

Оценки «возраста Вселенной» утряслись к ныне принятой величине еще в 1960-е годы, однако в публичную культуру научное число 13,7 вошло много позже благодаря С. Хокингу, автору самых популярных в истории физики книг, в одной из которых читаем:

При наблюдаемом количестве вещества во Вселенной решения уравнения Эйнштейна имеют одно очень важное общее свойство: некогда в прошлом (около 13,7 миллиарда лет назад) расстояние между соседними галактиками должно было равняться нулю. Другими словами, вся Вселенная была сжата в одну точку нулевого размера, в сферу нулевого радиуса. В тот момент плотность Вселенной и кривизна пространства-времени были бесконечны. Этот момент мы называем Большим взрывом.

Величина 13,7 здесь выглядит вполне научно-культурно, но ее объяснение, как сказал бы Ландау, — «обман трудящихся». Во-первых, «точка нулевого размера» — понятие чисто математическое, а не физическое. А во-вторых, и в самых главных, вместо исчезающе малой точки следовало бы поставить огромный вопросительный знак. Дело в том, что теория гравитации Эйнштейна, как обнаружил он сам еще в 1916 году, нуждается в квантовой доработке. Поэтому для физика и «решение уравнения Эйнштейна» осмысленно лишь тогда, когда имеет смысл само уравнение.

Квантовые границы нынешней теории гравитации и «обесмысливают» слова Хокинга о начальной точке. Уходя во все более давнее прошлое Вселенной, ее плотность, прежде чем стать формально бесконечной, приблизится к пограничной величине

$$P_{cGh} = c^5/G^2h \approx 10^{94} \text{ г/см}^3.$$

Дальше необходима теория квантовой гравитации, или *cGh* теория. В физике пока нет понятий, с помощью которых можно говорить о явлениях за этой границей. И значит, слова о «Вселенной, сжатой в точку нулевого размера», и о моменте времени этого нулевого события — слова пустые. Речь должна идти не о точке, а о вопросительном знаке, поставленном в 1936 году Матвеем Бронштейном, который предсказал необходимость

«отказа от обычных представлений о пространстве и времени и замены их какими-то гораздо более глубокими и лишенными наглядности понятиями». Если за *cGh*-границей не работает понятие времени, то нет и смысла говорить о моментах времени «за-граничного».

На языке нынешней физики можно говорить о моменте, когда излучение в расширяющейся и остывающей Вселенной расцепилось с веществом и стало реликтовым. Можно говорить о более раннем времени, когда еще сцепленное с веществом излучение остыло настолько, что средней энергии фотона уже не хватало на образование пары барион-антибарион, то есть о моменте, когда закончилось накопление барионной асимметрии. Можно говорить о времени, прошедшем с тех пор до наших дней, близком к 13,7 миллиардам лет. Однако в физике нет пока слов, чтобы описать самый первый момент в истории Вселенной — ее «рождение». Поэтому начало отсчета времени — там, где «до н. э.» становится «н. э.», — можно связать с любым событием, кроме «рождения Вселенной», о котором науке ничего не известно.

Говорить же о «рождении Вселенной» на языке научно-популярном лучше всего, объясняя смысл самого выражения. Тогда не случился бы казус популярно-музыкальный и поучительный для научно-культурной публики. Несколько лет назад юная британская певица спела такую песенку:

There are nine million bicycles in Beijing
That's a fact,
It's a thing we can't deny
Like the fact that I will love you till I die.
We are twelve billion light years from the edge,
That's a guess,
No one can ever say it's true
But I know that I will always be with you.

В Пекине 9 миллионов велосипедов,
это — факт, который мы не можем отрицать,
как и тот факт, что я буду любить тебя,
пока не умру.
Мы — в 12 миллиардах световых лет от края,
это — догадка,
и никто никогда не сможет сказать, так ли это.
Но я знаю, что с тобой я навсегда.

Некий научный слушатель обиделся на непочтительную замену точного числа 13,7 на сомнительную догадку — 12 и выразил свою обиду в газете «Гардиан». В защиту песни высказались несколько читателей, в том числе и продвинутые в науке. Никто, правда, не сказал о проблеме *cGh*-края Вселенной, но и так свобода лирического слова победила.

Будь я читателем «Гардиан», я бы поддержал британскую певицу яблоком, помня его заслуги перед британской физикой. И сделал бы это примерно так.

Уподобим Вселенную яблоку в июле, когда оно еще растет в размерах. Предыдущие месяцы жизни яблока уподобим миллиардам лет жизни Вселенной, а на поверхности яблока

разместим аналог земной цивилизации, соответственно уменьшенной. За века яблочной научной эры — занявшие пять — десять земных секунд — яблоко изменится так же мало, как и наша Вселенная за время от Архимеда до Хокинга. Но все же изменится, хоть тамошним ученым заметить это будет непросто. Сперва тамошний Гаусс решит проверить Евклидову геометрию, измерив углы в реальном треугольнике на поверхности яблока. И с удивлением обнаружит, что, если измерять с высокой точностью, то сумма углов окажется больше 180° ! Из такого рода измерений яблочные ученые сделают вывод, что их Вселенная — поверхность яблока — не плоская, а подобна сфере, и вычислят ее радиус. Спустя некоторое время, увеличив точность измерений, физики обнаружат, что радиус этот увеличивается со временем. Теоретики установят закон расширения их Яблочной вселенной, а продолжая этот закон в прошлое, тамошний Хокинг заявит, что *когда-то* — пару земных месяцев назад — *вся Яблочная вселенная была сжата в одну точку нулевого размера, в сферу нулевого радиуса.*

Сумеют ли тамошние физики догадаться, что яблоко начинается не с нулевой точки, а с цветка, внешне совершенно не похожего на яблоко? Для этого им понадобятся гораздо более глубокие понятия, чем обычные поверхностные представления... о яблоке.

В нашей земной цивилизации подобную догадку высказал три четверти века назад Матвей Бронштейн. Но до сих пор физики не придумали, как описать «цветок» квантовой гравитации в физике рождения Вселенной.

«...Квантовая гравитация физически бессмысленна»?

В 2004 году в издательствах Кембриджского и Оксфордского университетов вышли две солидные монографии с одинаковым лаконичным названием «Quantum Gravity». Монографию обычно пишут, чтобы подытожить исследования, изложенные в многочисленных статьях. В данном случае статей было так много, а проблема столь открыта, что монографии нарисовали весьма разные картины прошлого, настоящего и будущего. В частности, авторы по-разному восприняли главный вывод Бронштейна: один его попросту не заметил или не понял, а другой сочувственно процитировал, но не объяснил суть доводов о *cGh*-неизмеримости.

В том же, 2004 году нерожденная теория квантовой гравитации пережила также покушение на убийство. Совершил его знаменитый физик-теоретик Фримен Дайсон, предположив, что этот проклятый вопрос современной физики обречен на безответность, потому что «квантовая гравитация физически бессмысленна» и, значит, многолетние поиски следует прекратить, за отсутствием предмета поисков. Свое мнение обосновал он так:

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 невероятно 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.

В девятнадцатом веке физики верили, что все объекты погружены в эфир, и мучились над вопросом, каким законам подчиняется эта универсальная, но неуловимая среда, в одних отношениях похожая на твердое тело, в других — на сверхразреженный газ. Мучения прекратил Эйнштейн, объяснив неуловимость эфира тем, что ловить попросту нечего и что без эфира можно прекрасно обойтись. Дайсон предложил последовать примеру Эйнштейна и отменить квантовую гравитацию. Есть, однако, важное отличие.

Неуловимый эфир можно назвать пережитком древнегреческой мифологии, в которой этим словом называли верхний — чистый и прозрачный — слой неба на вершине горы Олимп, где обитали греческие боги. Греческие философы разглядели идеально прозрачный эфир в устройстве надлунного мира, а две тысячи лет спустя физики этим словом называли универсальную среду, в которой распространяется свет и другие электромагнитные взаимодействия.

Гравитон же — это, скорее, «недожиток». И причину неуловимости гравитона может понять даже школьник, который в «выбивании электронов с поверхности металла под действием света» узнает фотоэффект, давно вошедший в обыденную жизнь. Каждый пассажир метро, входя через турникет, прерывает фотоэффект на секунду-другую. Потому легко поверить, что обнаружить фотон — секундное дело. Легко также подсчитать, во

сколько раз гравитационные силы слабее электрических, если вспомнить школьные законы Кулона и всемирного тяготения: $F = e^2/r^2$ и $F = GmM/r^2$, и взять из школьного учебника величины заряда и масс электрона и протона. В итоге окажется, что электрическая сила больше гравитационной примерно в 10^{40} раз. Так что, если обнаружить фотон — секундное дело, то для обнаружения гравитона надо время масштаба 10^{40} секунд, или 10^{33} лет, по сравнению с чем даже возраст Вселенной ($\sim 10^{10}$ лет) — ничтожная величина.

Это и имел в виду Дайсон, прекрасно понимая, на что поднимает руку. Свое мнение он высказал в рецензии на популярную книгу о теории струн и элегантной Вселенной. За последние десятилетия изданы сотни книг о квантовой гравитации, опубликованы многие тысячи статей тысяч авторов. Не слишком ли много для теории, которой нет? Так, похоже, думает Дайсон. Он издали следит за странными струнными идеями молодых коллег и кажется им старым чудаком, отставшим от скорого поезда прогресса. Ему самому когда-то подобными чудаками казались Эйнштейн и Дирак.

Однако физик Дайсон поставил ясный вопрос, зажав гравитон между фотоном и эфиром. А о фотоне он знает больше других, как один из создателей квантовой электродинамики, которой подчиняется каждый фотон. Поскольку никто из физиков не ответил на его критический довод, предложу свой историко-научный взгляд.

В конце 1940-х годов, когда Дайсон пришел в науку, уже давней историей были жаркие споры вокруг «релятивистской теории квант», от которой ожидали революционную перестройку масштаба теории относительности и квантовой механики. Те споры завершились признанием возможности частичного успеха — в квантовой электродинамике. Успех пришел пятнадцать лет спустя, когда, при участии Дайсона, была построена эта на сегодняшний день самая точная из физических теорий. Поэтому и его критический взгляд на квантовую гравитацию, в свете наилучшей теории... света, заслуживает внимания.

Ответить на его критику помогает работа Бронштейна, первым осознавшего глубину проблемы. Естественной кажется аналогия между фотоном и гравитоном, и слова эти рифмуются, и закон Кулона похож на закон всемирного тяготения, однако квантовая электродинамика принципиально отличается от квантовой гравитации. Отличие это подрывает понятие «гравитон» как самостоятельное и равноправное с понятием «фотон». Коренится отличие в опытном факте, открытом Галилеем и ставшем первым фундаментальным законом современной науки, а три века спустя — основой теории гравитации. Речь идет о законе свободного падения, о равенстве инертной и гравитационной масс и о принципе эквивалентности.

Фотон, или «частица света», вполне определенным образом соответствует электромагнитной волне, которая точно следует из уравнений электродинамики. А гравитационная волна — лишь приближенное следствие уравнений гравитации. Поэтому гравитон — не столь же органическая часть еще не созданной теории квантовой гравитации, как фотон — часть квантовой электродинамики. Не всякая волна связана с каким-то квантом: волна на поверхности моря не связана с «квантом волнения», который можно было бы назвать частицей «поверхон».

Главное, Дайсон не объяснил, что делать с двумя принципиальными физическими явлениями — с началом космологического расширения и с завершением коллапса звезды. Какой теории, если не квантовой гравитации, эти явления можно поручить? Необходимость такой теории наступает за **сGH** рубежом, как впервые обнаружил Бронштейн, хоть масштаб

cGh -границ, очень далекий от возможностей нынешних экспериментов, действительно ставит проблему.

Поэтому есть за что поблагодарить Дайсона. Его отважное сомнение подчеркивает исключительность проблемы квантовой гравитации в истории физики и нынешнее ее кризисное положение.

Теоретик же, который, не отвлекаясь на кризисы, готовит очередной текст для публикации, напоминает ученого соседа, к которому пришел за советом сосед неученый. У неученого дохнут куры, и он просит ученую рекомендацию. И получает: сыпать куриный корм в нарисованный на полу зеленый квадрат. Куры, увы, продолжают дохнуть. Тогда ученый предлагает красный круг. И так далее, пока все куры не передохли. «Как жаль! — восклицает ученый сосед. — У меня еще столько вариантов!»

Куры в данном случае — это эйнштейновское «внешнее оправдание», которого в квантовой гравитации катастрофически не хватает. Неужели — впервые в истории физики — к успеху приведет путь «чисто внутреннего совершенства»?

Кризис фундаментальной физики?

История помогает видеть нынешние проблемы науки лишь в том случае, если суть науки не изменилась. Эйнштейн признал в Галилее коллегу, потому что узнал в его физике свою науку. А как насчет нынешней фундаментальной физики? Ситуацию здесь называют кризисом, имея в виду разные проявления, но витает и общий вопрос: заканчивается ли четырехвековая история современной физики, и если да, что идет на смену?

«Да», сказали физики-теоретики Гарвардского университета, добавив к названию своего семинара эпитет «постсовременный». Постсовременные теоретики отменили ключевую роль эксперимента, полагая, что истинный вариант теории докажет свою достоверность собственным внутренним совершенством, которое и гарантирует охват реальности. Ищут этот вариант, перебирая разные математические возможности, и чем больше переборщиков, тем больше, стало быть, шансов на успех?

Издано уже более четырехсот книг, где обсуждается квантовая гравитация. Около двухсот содержат в названии слова «квантовая гравитация». Соответственно, статей на эту тему — многие тысячи. И все это без результатов, экспериментально подтвержденных или опровергнутых. В несоответствии усилий и результатов проявляется кризис нынешней фундаментальной физики.

Красноречивые теоретики нередко говорят, что из возможных направлений поиска наиболее перспективным они считают такое-то. Историк науки при этом вспоминает ситуацию до 1905 года, когда рассматривали разные теории эфира, кроме той, в которой само понятие эфира сдавалось в архив. Аналогично до 1915 года наиболее перспективным направлением в гравитации большинство теоретиков, за исключением одного, считали вовсе не эйнштейновское. И вообще, до сих пор в фундаментальной физике правым оказывалось меньшинство, обычно один человек. А правоту определяли опыты.

История фундаментальной физики развивалась весьма неравномерно. Ньютонский этап длился около двух веков, максвелловский — три десятилетия, а первая треть двадцатого века вместила в себя перемены, сопоставимые по масштабу лишь с началом современной физики: кванты, относительность и много чего еще. При этом число фундаментальных физиков измерялось десятками. Результаты последних десятилетий совершенно несопоставимы с тем временем, а теоретиков, занятых фундаментальной физикой, сейчас в сотни раз больше.

Если причина столь понизившейся эффективности — только неравномерность истории, то об этом историки узнают в свое время. Если же это — следствие кризиса науки, то в чем могут быть его причины?

Начнем с самой простой причины — с денег, тем более что ее недавно подчеркнул американский теоретик, нобелевский лауреат С. Вайнберг в статье «Кризис Большой науки». Он обвинил Конгресс США в отказе финансировать большие — дорогие — экспериментальные установки, начиная с гигантского ускорителя элементарных частиц «Суперколлайдера» в 1992 году. Затем закрыли несколько проектов космических телескопов. Речь идет о приборах для фундаментальной физики стоимостью в миллиарды долларов. Вайнберг упрекает членов Конгресса в том, что те заботятся лишь об интересах своих избирателей и не понимают важность открытия фундаментальных законов природы. В целом знаменитый теоретик смотрит в будущее с пессимизмом.

Историк же науки, рассматривая и сравнивая разные времена и страны, может прийти к почти противоположному выводу о сути кризиса.

Физики, разумеется, живут и работают в мире экономических проблем и политических решений. Отказ Конгресса США в 1992 году дать миллиарды на субъядерную суперфизику надо сопоставить с событиями в Советском Союзе, который прекратил свое существование в конце 1991 года, и с постоянным сокращением расходов США на оборону, начиная с 1987 года (и вплоть до теракта Аль-Каиды в Нью-Йорке в 2001-м). Напомню, что именно в конце 1986-го, освободив академика Сахарова из ссылки, советский лидер М. Горбачев доказал лидерам Запада серьезность советской «перестройки».

Во время «холодной войны» для политиков обеих сторон субъядерная физика была прежде всего наукой супероружия. Исчезновение потенциального противника вело к пересмотру этого статуса и — соответственно — финансирования. Конечно, всегда есть проблема распределения средств между разными областями науки и социальной жизни, но в этом главная забота членов парламента. Если же они исходят из интересов своих избирателей, надо ли их за это упрекать?

История советской физики помогает увидеть ситуацию с особой ясностью, поскольку в Советском государстве основные решения принимались без таких сложностей, как участие избирателей и их депутатов. В довоенное время в СССР социальный статус и заработок физика были заметно ниже, чем у инженера, поэтому в науку шли в основном по призванию. Государственная пропаганда внедряла в умы «научный социализм», но заодно «технику и науку». Именно в таком порядке эти два слова шли тогда в газетном языке, но после войны порядок изменился на привычный ныне — «наука и техника». Изменился взгляд «корифея всех наук», коим Сталина провозгласили к его 60-летию накануне войны. Появление ядерного оружия побудило его многократно увеличить финансирование физико-технических наук и втрое увеличить зарплаты ученым.

Для получения конкретного научного «продукта» — ядерного оружия — объем расходов был, конечно, важен. Но если говорить о чистой науке, то довоенные физики были в среднем эффективнее послевоенных, которые шли в науку уже не только в силу призвания, а еще и учитывая высокий социальный статус профессии. Достаточно сравнить нобелевский потенциал советских физиков разных поколений. Не в деньгах счастье человека науки.

Большой талант в науке — такая же редкость, как и в других областях. В науке хватает работы для людей разных способностей, но в фундаментальной физике, как показывает история, срабатывают лишь штучные идеи, а не правдоподобные в глазах большинства.

Автор штучной идеи тоже нуждается в критических обсуждениях, но их плодотворность зависит не от количества участников, а от их качества. Когда же количество превышает некий уровень, возникает угнетающий коллективный эффект. Члены коллектива должны подтверждать участие в науке своими публикациями. Увеличение числа потенциальных авторов способствует ослаблению критериев того, что годится для публикации. В фундаментальной физике самый легкий путь — ослабить или вовсе не требовать от текста связи с экспериментом. Подобное «перепроизводство» текстов и происходит в области квантовой гравитации.

Перепроизводство не только топит возможный полезный сигнал в шуме множества публикаций. Как известно, нельзя родить ребенка за месяц, собрав девять женщин в одном коллективе. Если же в коллективе толкаются локтями, уменьшается и шанс родить здорового ребенка в срок. Да и зачатую новую идею (от Святого духа научного прогресса) большой

коллектив не помогает.

Эти общие соображения подкрепляют наблюдения, собранные в книге «Неприятности с физикой: взлет теории струн, падение науки и что будет дальше» видного американского теоретика Ли Смолина, вполне успешного — по внешним признакам — в сообществе «постсовременных» физиков на протяжении четверти века, пока бесплодность их стараний не побудила его отвергнуть новый способ поиска истины. Он выразительно обрисовал социальную психологию самоподдержки в этом сообществе, которое, неудивительно, встретило эту книгу безо всякого восторга и, в силу той же психологии, сразу нашло эгоистические мотивы «предателя». При этом в доверительных беседах члены сообщества признают, что, «в сущности, играют в игры», надеясь на нечаянное попадание в цель.

Добавлю еще свидетельство, не столь весомое, но зато абсолютно достоверное, поскольку оно мое собственное. Заканчивая кафедру теоретической физики в начале 1970-х годов, я писал дипломную работу по так называемой скалярно-тензорной теории гравитации. Тогда она считалась обобщением и конкурентом теории гравитации Эйнштейна, а экспериментально проверялись обе теории. Истоком скалярно-тензорной теории была гипотеза великого Дирака, к ней добавились и другие доводы, на мой тогдашний взгляд, совершенно неубедительные, что омрачало размышления и выкладки. Мало утешала и мысль о том, что дипломная работа лишь показывает владение методами науки. Удивляло то, что некоторые вполне взрослые теоретики с серьезным видом публиковали исследования в той же области как-бы-физики. Диплом с отличием не увеличил уважения к этой как-бы-теории, и до сих пор помню привкус имитационной науки.

Отсюда историко-научная гипотеза: низкая эффективность нынешней фундаментальной физики объясняется не сокращением финансирования, а его избытком в десятилетия «холодной войны» и «перепроизводством кадров», точнее, последствиями бывшего избытка. В СССР гордились числом ученых на душу населения, но в постсоветское время, когда включились механизмы конкурентной экономики, обнаружилось перепроизводство научно-технических кадров на фоне недопроизводства экономистов в широком смысле слова. Частично «перепроизведенные кадры» ушли в другие сферы деятельности и в другие страны. Но и на Западе после окончания «холодной войны» молодые физики-теоретики также стали уходить в другие сферы.

Эффективность фундаментальных физиков вряд ли можно называть производительностью труда, поскольку речь идет не о массовом производстве статей, а об изобретении штучных идей, подобно художественным творениям. Людей, способных на такое, всегда мало, и шедевры от оплаты не очень зависят. Эйнштейн свои первые научные шедевры вообще сотворил бесплатно — «на общественных началах», работая патентным экспертом. Если же фундаментальную физику финансировать сверх меры, то это можно сравнить с избыточной поливкой растения. И даже после того как избыток закончился, его последствия сказываются еще некоторое время.

Авторы штучных идей, как правило, и сами личности штучные. Создавая надлежащие условия в обществе, можно помочь их выявлению, но их число никакими расходами не увеличить за пределы, определяемые Всевышним или Природой (ненужное зачеркнуть).

В нынешней фундаментальной физике экспериментальная часть заметно эффективнее теоретической: в космологии Нобелевские премии уже трижды присуждались экспериментаторам и ни разу теоретикам. Однако вопрос об эффективности касается и экспериментаторов. Установка, с помощью которой Резерфорд открыл в 1911 году структуру

атома с крошечным ядром в центре, помещалась у него на коленях и стоила меньше сотни фунтов. Спустя двадцать лет неизбежно и вполне оправданно стали строить установки, в сотни раз более масштабные, — ускорители. Но эффективность установки определяется не ее стоимостью, а людьми, которые придумывают эксперименты.

Тут опять поучителен советский пример. В стремлении «догнать и перегнать» советское руководство дважды находило средства, чтобы построить ускоритель, превосходящий по своим параметрам все другие в мире, и такое первенство держалось на протяжении нескольких лет. На этих рекордных установках, однако, не удалось получить результаты, сопоставимые с западными. Причина была социальной — косная, неконкурентная система организации советской науки.

Общий вывод из этой истории с политической географией состоит в том, что эффективность расходов на науку — законный вопрос государственной политики, открытый для обсуждения. Фундаментальные физики должны быть готовы к конкуренции за государственный бюджет с физиками других областей, представителями других наук и других сфер социальной жизни. А разумное ограничение расходов на фундаментальную физику может даже повысить ее эффективность в соответствии с русской пословицей «Голь на выдумки хитра» и с несколько более слабой английской «Necessity is the mother of invention».

Исторический источник оптимизма

Лучший источник научного оптимизма — история фундаментальной физики. Если за прошедшие четыре века возможны были столь поразительные успехи науки при весьма скромных средствах, то преодолимы, можно надеяться, и последствия временного избытка. Когда заработает проверенный метод Галилея — Эйнштейна, «постсовременный» способ станет объектом изучения историков, которые заметят сходство постсовременной и предсовременной философий науки.

Вспомним впечатляющий конфуз в самый канун рождения современной физики — «Космографию» молодого Кеплера, его кубок шести планет. «Объяснив» число и положения планет с помощью изящной математики и астрономических данных, автор праздновал триумф и тоже не думал об экспериментальной проверке. Он пережил крушение своего триумфа, занявшись менее грандиозной и гораздо более трудоемкой задачей — поиском законов планетных движений. Пережил он без особой горечи и невнимания Галилея к его законам, поскольку, похоже, чувствовал потенциал Галилеева метода — метода современной физики — к познанию мира.

Этот метод в руках последователей Галилея привел к поразительным достижениям и в двадцатом веке, когда к исходной цели — узнать истинное устройство Мироздания — добавилось историческое измерение — выяснить соотношение разных теорий, представляющих физическую реальность с качественно разной глубиной и с разной количественной точностью.

Современные теоретики, считая, что математическое изящество физической теории достаточно для веры в ее правильность, исходят из невозможности экспериментов. Причина — чрезвычайная малость известных до сих пор квантово-гравитационных эффектов.

Этой причине, если отсчитывать от первого cGh -эффекта, указанного Эйнштейном в 1916 году, уже сто лет. Это много, но не беспрецедентно. Атомная гипотеза ждала экспериментального исследования более двух тысячелетий, а гипотеза Галилея о «наибыстрейшей» скорости света — два с половиной столетия. Так что стоит набраться терпения, необязательно коротая время «постсовременными» текстами. Лучше искать наблюдательные эффекты, как это делал Эйнштейн в начале пути к его теории гравитации.

Авторы недавнего обзора в журнале «Успехи физических наук» признали, что «теоретическая физика, предоставив обширный перечень возможных направлений и методов поиска частиц темной материи, исчерпала себя». Закончили, однако, с оптимизмом: «Почему Природа столь щедра к нам и позволяет открывать свои секреты?» Единственное основание для этого дает именно четырехвековая история успехов физических наук.

В общественном восприятии подобный оптимизм, а то и слепая вера в могущество науки, соседствует ныне с мрачным пессимизмом: в сумасшедшем темпе научно-технического прогресса видят аналог злокачественной опухоли, ведущей к гибели человечества. Оба взгляда порождены историей науки в двадцатом веке, когда она стала определяющим фактором жизни общества. В предыдущие века смещение даты какого-то открытия на пару десятилетий ничего особенно не меняло в мировой истории. В двадцатом веке это не так.

К примеру, деление урана, открытое в 1939 году, вполне могли открыть на пять лет

раньше в опытах по искусственной радиоактивности. Тогда атомная бомба появилась бы на пять лет раньше — в 1940-м, и, скорее всего, в Германии, где тогда была сильнейшая физика. Ради такого дела Гитлер мог и отложить «решение еврейского вопроса», изгнавшее многих физиков из страны. А чем грозила человечеству атомная бомба в руках Гитлера, объяснять вряд ли надо.

Другой пример дает советское изобретение водородной бомбы, испытанной через пять месяцев после смерти Сталина. По мнению некоторых экспертов, проживи он еще пару лет в своем нараставшем безумии, и водородная бомба в его руках была бы страшнее атомной в руках германского фюрера.

В этих случаях человечеству повезло, что научно-технические открытия задержались на несколько лет. Но в том, что Карибский кризис 1962 года не закончился мировой ядерной войной, сыграло свою роль уже разработанное термоядерное оружие с его гарантированным взаимным уничтожением обеих сторон.

На ядерное оружие обычно смотрят в лучшем случае как на бессмысленно растроченные ресурсы человечества. Однако если обнаружится, что Земле угрожает столкновение с астероидом, у человечества нет иного источника энергии, сопоставимого по мощи с термоядерным, чтобы отклонить маловероятное, но возможное событие, какие уже бывали в истории Земли. Тогда придется поблагодарить разработчиков «бессмысленного» оружия.

Самое здоровое отношение к открытиям науки и техники выразил Владимир Вернадский еще в 1910 году, говоря о радиоактивности:

Перед нами открылись источники энергии, перед которыми по силе и значению бледнеют сила пара, сила электричества, сила взрывчатых химических процессов... С надеждой и опасением всматриваемся мы в нового союзника.

Сейчас, век спустя, неясно, на что можно надеяться и чего опасаться, когда (и если) решится проблема квантовой гравитации.

Самый ранний прогноз содержится в статье Трех мушкетеров 1928 года (см. гл. 8), во фразе «Представим себе законченную (!) физику». Восклицательный знак поставили веселые авторы, и из их текста ясно, что «окончательной» может быть лишь *cGh*-теория. Судя по тому, что к прогнозу этому никто из авторов впоследствии не возвращался, они к нему относились столь же несерьезно, как и к статье в целом.

В 1970-е годы Хокинг уже вполне серьезно предположил, что *окончательная* теория возникнет еще в двадцатом веке. О конце физики говорили — с надеждой или с отвращением — и другие теоретики, не указывая определенную рубежную дату и опираясь на весьма неопределенные доводы типа: «Все, что делают люди, обязательно имеет конец».

Более смелые прогнозы, однако, нацелились на главный инструмент науки — человеческое мышление. Р. Пенроуз предположил, что квантование гравитации поможет создать физическую теорию микроструктуры сознания. А крупномасштабным прогнозом озадачил многих Андрей Сахаров. Размышляя вслух о драме идей в физике двадцатого века, он напомнил, что в предыдущие века «религиозное мышление и научное мышление» считались противостоящими друг другу, взаимно исключаящими:

Это противопоставление было исторически оправданным, оно отражало определенный период развития общества. Но я думаю, что оно все-таки имеет

какое-то глубокое синтетическое разрешение на следующем этапе развития человеческого сознания. Мое глубокое ощущение... — существование в природе какого-то внутреннего смысла, в природе в целом.

Это свое ощущение он извлек из картины мира, открывшейся в двадцатом веке.

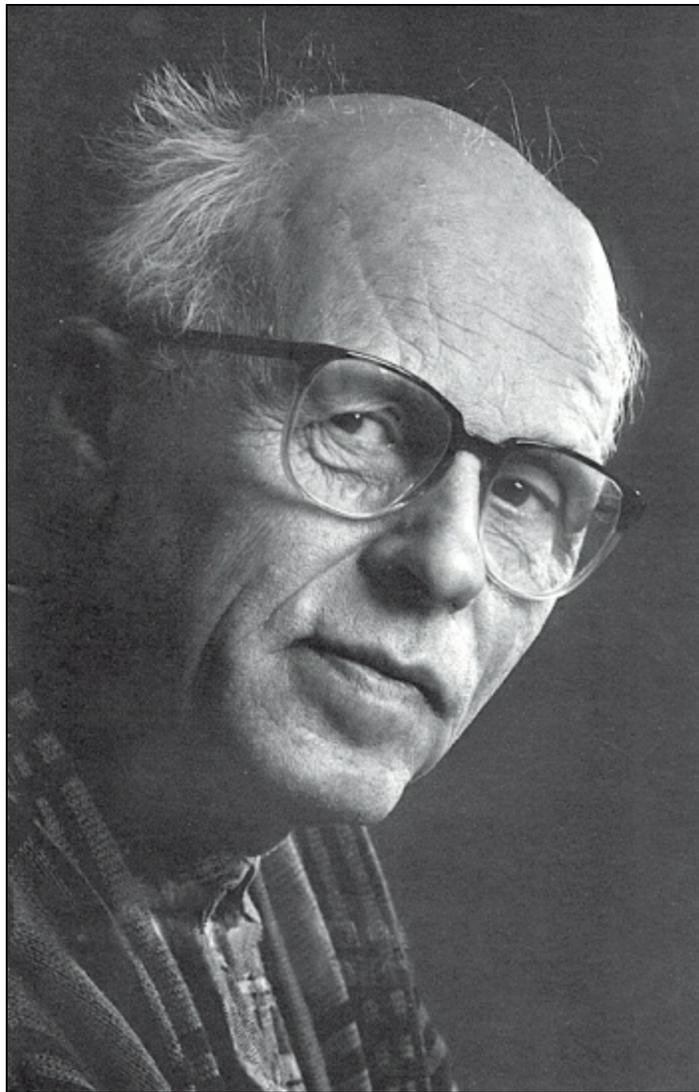
Чтобы понять, как Сахаров соединял мышление и ощущение, надо знать его отношение к религии. Он всегда защищал свободу совести и верующих и атеистов. А его собственная духовная эволюция началась с детской религиозности, которую он получил от своей верующей мамы. В семье он увидел также свободу совести:

Мой папа, по-видимому, не был верующим, но я не помню, чтобы он говорил об этом. Лет в 13 я решил, что я неверующий, — под воздействием общей атмосферы жизни и не без папиного воздействия, хотя и неявного. Я перестал молиться и в церкви бывал очень редко, уже как неверующий. Мама очень огорчалась, но не настаивала, я не помню никаких разговоров на эту тему.

Сейчас я не знаю, в глубине души, какова моя позиция на самом деле: я не верю ни в какие догматы, мне не нравятся официальные Церкви (особенно те, которые сильно сращены с государством или отличаются, главным образом, обрядовостью или фанатизмом и нетерпимостью). В то же время я не могу представить себе Вселенную и человеческую жизнь без какого-то осмысляющего их начала, без источника духовной «теплоты», лежащего вне материи и ее законов. Вероятно, такое чувство можно назвать религиозным.

Опять сошлись разум и чувство. Именно их союз рождает таинственную интуицию, силой которой Галилей и его последователи изобретали новые фундаментальные понятия. Таких изобретателей называют великими физиками. Вероятно, это имел в виду Виталий Гинзбург, сказав, что Сахаров «был сделан из материала, из которого делаются великие физики». Сказал это нобелевский лауреат, не считавший себя великим физиком, и к тому же глубокий атеист. В конце 1940-х годов они с Сахаровым изобретали термоядерную бомбу, а сорок лет спустя, на первых в СССР свободных выборах, обоих свободолюбивых физиков избрали в народные депутаты.

Ошибаться свойственно и великим физикам. И даже гениальная интуиция иногда ведет не туда. Но, независимо от того, сбудется ли научно-гуманитарный прогноз Сахарова, его отношение к науке — познавательный и исторический оптимизм — также говорит о «материале, из которого он был сделан».



*Андрей Сахаров, 1989.
Фото Ю. Карша (© Yousuf Karsh).*

Лучше других понимая угрозы высоконаучного оружия уничтожения, видя в науке и средство улучшения жизни, и основу единства человечества, он верил, что «наука как самоцель, отражение великого стремления человеческого разума к познанию... оправдывает само существование человека на земле». Корень этого стремления Сахаров видел в далеком прошлом человеческого рода, представляя себе, как «наш обезьяноподобный предок по инстинкту любопытства» приподнимал камни под ногами и находил там «жучков, служивших ему пищей. Из любопытства выросла фундаментальная наука. Она по-прежнему приносит нам практические плоды, часто неожиданные для нас».

Картинка эта говорит не столько о детстве человечества, сколько о детской любознательности человека науки, каким был Андрей Сахаров. Исторический оптимизм был ему опорой в то время, когда советские газеты поливали его грязью. Он верил, что «человечество найдет разумное решение сложной задачи осуществления грандиозного, необходимого и неизбежного прогресса с сохранением человеческого в человеке и природного в природе», а свою нобелевскую лекцию завершил надеждой, что люди смогут «осуществить требования Разума и создать жизнь, достойную нас самих и смутно угадываемой нами Цели».

Слова «смутно угадываемой» побуждают к размышлениям и к свободе, без чего

НЕВОЗМОЖНЫ НИ НАУКА, НИ ДОСТОЙНАЯ ЖИЗНЬ.

Благодарности

Благодарю Д.И.Зими́на за идею жанра, связывающего драму развития научных идей с драмами людей науки, и благодарю фонд «Династия» за поддержку работы над книгой.

Благодарю В.И.Вайнина, С.И.Зеленского, А.И.Клименко, А.И.Леонovichа и А.И.Локшина за критические замечания по тексту, полную ответственность за содержание принимаю на себя.

Благодарю Елену Цезаревну Чуковскую и Любовь Андреевну Верную за возможность использовать в книге фотографии из их семейных архивов и за многолетнее стимулирующее общение.

Хронология важнейших событий, упомянутых в книге

- VI в. до н.э. Фалес, основоположник греческой философии и науки, выдвинул идею «первозлемента» в основе всех явлений природы.
- V в. до н.э. Пифагор установил связь между длиной струны и высотой тона.
- IV в. до н.э. Демокрит развивал идею атомного строения вещества.
Возникновение геоцентрической системы мира.
- III в. до н.э. Аристарх Самосский впервые измерил расстояния до Луны и Солнца и выдвинул гелиоцентрическую систему мира.
- Архимед открыл закон плавания тел.
- II в. н.э. Птолемей завершил теорию геоцентрической системы мира.
- 1543 Труд Н.Коперника «О вращении небесных сфер», содержащий теорию гелиоцентрической системы мира.
- 1583 Г.Галилей обнаружил изохронность колебаний маятника.
- 1600 Трактат У.Гильберта «О магните, магнитных телах и о большом магните Земли».
- 1602–1609 Г.Галилей установил, что тела в пустоте падают с ускорением постоянным и не зависящим от природы тела, а тело, брошенное под углом к горизонту, движется по параболе.
- 1607 Г.Галилей попытался измерить скорость света.
- 1609 Труд И.Кеплера «Новая астрономия», содержащий первые два закона движения планет.
- 1610 Г.Галилей в книге «Звездный вестник» описал свои открытия с телескопом.
- 1619 Трактат И.Кеплера «Гармония мира», содержащий третий закон движения планет.
- 1632 Книга Г.Галилея «Диалог о двух основных системах мира — Птолемеевой и Коперниковой» (содержит принцип инерции и принцип относительности).
- 1638 Книга Г.Галилея «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых областей науки» (содержит закон свободного падения).
- 1642 Умер Г.Галилей и родился И.Ньютон.
- 1644 Э. Торричелли получил вакуум («торричеллиеву пустоту») и создал барометр.
- 1665–1666 И.Ньютон открыл закон тяготения, обратно пропорционального квадрату расстояния между телами.
- 1666 И.Ньютон разложил белый свет в спектр.
- 1676 О.Ремер впервые измерил скорость света (по наблюдениям спутников Юпитера).
- 1687 Труд И.Ньютона «Математические начала натуральной философии» с изложением законов движения и закона всемирного тяготения.
- 1785 Ш.Кулон установил закон электрического взаимодействия.
- 1798 Г.Кавендиш при помощи крутильных весов измерил притяжение двух тел, подтвердив закон всемирного тяготения И.Ньютона, и вычислил массу Земли.
- 1803 Дж.Дальтон ввел понятие атомного веса.
- 1815 Й.Фраунгофер обнаружил в солнечном спектре темные линии.
- 1820 Х.Эрстед открыл магнитное действие тока, а А.Ампер открыл взаимодействие электрических токов.

1826 Н.И. Лобачевский открыл неевклидову геометрию.

1831 М. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции.

1834 М. Фарадей ввел понятие силовых линий (идея поля).

1845 Математическая теория электромагнитных явлений на основе дальнего действия.

1849–1851 Опыты Л. Физо и Ж. Фуко по измерению скорости света в движущейся среде.

1851 Ж. Фуко при помощи маятника экспериментально продемонстрировал вращение Земли вокруг своей оси.

1853 У. Томсон получил формулу для периода электромагнитных колебаний в контуре, состоящем из конденсатора и индуктивности.

1854 Г. Риман создал общую дифференциальную (Риманову) геометрию.

1859 Г. Кирхгоф и Р. Бунзен открыли спектральный анализ.

1859 Дж. Максвелл открыл первый закон статистической физики — распределение молекул газа по скоростям.

1862 Г. Кирхгоф ввел понятие черного тела и дал его модель.

1865 Дж. Максвелл ввел понятие электромагнитного поля, создал основы его теории, из которой предсказал электромагнитные волны и выдвинул идею об электромагнитной природе света.

1869 Д.И. Менделеев открыл периодический закон химических элементов.

1887 Опыты А. Майкельсона и Э. Морли не обнаружили «эфирный ветер» — влияния движения источника света на скорость света.

1888 Г. Герц открыл фотоэффект и экспериментально доказал существование электромагнитных волн, предсказанных Максвеллом.

1895 В. Рентген открыл излучение, названное его именем.

Создана модель абсолютно черного тела в виде полости с внутренними зеркальными стенками и узким отверстием.

А.С. Попов изобрел радио.

1896 А. Беккерель открыл радиоактивность урана.

1897 Дж. Дж. Томсон открыл электрон и выдвинул гипотезу об электронном составе атомов.

1899 Э. Резерфорд показал наличие в излучении урана двух компонентов — альфа— и бета-лучей.

1900 М. Планк сформулировал квантовую гипотезу и ввел фундаментальную константу — постоянную Планка, положив начало квантовой теории.

1905 А. Эйнштейн создал теорию относительности (с-теорию), открыл связь массы и энергии $E=mc^2$, выдвинул гипотезу о квантовом характере света, чтобы объяснить законы фотоэффекта.

1907 А. Эйнштейн, опираясь на выдвинутый им принцип эквивалентности, начал разрабатывать релятивистскую теорию гравитации.

1908 Г. Минковский предложил понятие четырехмерного пространства-времени как геометрической основы теории относительности.

1911 На основе опытов по рассеянию альфа-частиц в тонких металлических пленках Э. Резерфорд открыл атомное ядро и создал планетарную модель атома.

1913 Н. Бор предложил первую квантовую модель атома водорода.

1916 А. Эйнштейн завершил создание теории пространства-времени и гравитации (сG-

теории) и предсказал ее наблюдательные эффекты.

1917 А. Эйнштейн из своей теории гравитации получил первую космологическую модель Вселенной.

1919 Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию, превратив азот в кислород, и открыл протон.

1919 Первая экспериментальная проверка отклонения света звезды в поле тяготения Солнца, предсказанного теорией гравитации Эйнштейна.

1922–1924 А. А. Фридман нашел нестационарные решения гравитационных уравнений Эйнштейна, включая возможность расширения Вселенной.

1923 Л. де Бройль высказал идею о волновых свойствах частиц.

1925–1927 Создана квантовая механика (\hbar -теория).

1927–1929 Ж. Леметр, на основе астрономических наблюдений Э. Хаббла, открыл расширение Вселенной.

1927 Ч. Эллис и У. Вустер обнаружили нарушение баланса энергии в бета-распаде.

1928 П. Дирак предложил ch -уравнение движения электрона.

1928 Л. И. Мандельштам и М. А. Леонтович построили теорию туннельного эффекта, на основе которого Г. Гамов создал теорию альфа-распада.

1929–1931 На основе опытов Эллиса — Вустера и теоретических парадоксов («азотная катастрофа» и др.) Н. Бор предположил нарушение законов сохранения в физике ядра, а В. Паули, в противовес, выдвинул гипотезу новой ядерной — нейтральной — частицы.

1931 В статье Л. Ландау и Р. Пайерлса предсказана невозможность создания ch -теории электромагнитного поля.

1931 П. Дирак предсказал античастицы, рождение и аннигиляцию пар.

1932 Открытие нейтрона и позитрона.

1933 Открыто рождение пары электрона и позитрона из гамма-кванта и аннигиляция электрона и позитрона.

1933 В статье Н. Бора и Л. Розенфельда «обезврежено» предсказание Л. Ландау и Р. Пайерлса 1931 года, тем самым гарантирована возможность создания ch -теории электромагнитного поля.

1936 В двух статьях М. Бронштейна о проблеме квантования гравитации выявлена несовместимость cG -теории гравитации и квантовой \hbar -теории без радикального изменения основных понятий теории, включая понятия пространства и времени.

1937 Опровергнув гипотезу спонтанного распада фотонов, М. Бронштейн обосновал факт реального расширения Вселенной.

1938 Построена теория термоядерного источника энергии звезд.

1938 Открыто спонтанное деление ядра урана.

1946 Дж. Гамов выдвинул идею «Горячей Вселенной».

1947–1949 Завершено создание современной квантовой электродинамики (ch -теории).

1956–1957 Открыто несохранение четности (С-асимметрия) и выдвинута гипотеза сохранения комбинированной четности (СР-симметрия).

1964 Обнаружено несохранение комбинированной четности (СР-асимметрия).

1965 Открыто реликтовое излучение — остаточное излучение ранней Вселенной.

1967 А. Сахаров предложил объяснение барионной асимметрии Вселенной, связанное с СР-асимметрией «тремя условиями Сахарова».

1979 Принимая кафедру, которую когда-то занимал Ньютон, С. Хокинг произнес речь

«Виден ли конец теоретической физики?», в которой счел вполне вероятной возможность, что фундаментальная теоретическая физика будет закончена еще в XX веке.

2004 Вышли две солидные монографии с одинаковым названием «Квантовая гравитация» и равно безысходные, а видный физик-теоретик Ф. Дайсон высказал идею, что «квантовая гравитация физически бессмысленна».

2013 Первое присуждение премии им. М. Бронштейна за работы в теории квантовой гравитации. Премия имени 30-летнего советского физика присуждена 34-летнему итальянскому физическому, работающему в Канаде. Прошло 75 лет после гибели Матвея Бронштейна.



Loop Quantum Gravity

The 2013 Matvei Petrovich Bronstein Prize

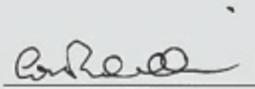
was awarded to

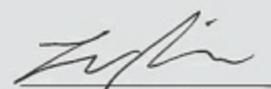
Eugenio Bianchi

"For his insightful contributions to black hole entropy, the discrete geometry of quantum spacetime and the propagation of gravitons thereon; and for his inspiring enthusiasm and collaborative spirit."


Abhay Ashtekar


Jorge Pullin


Carlo Rovelli


Lee Smolin

Архимед. *Сочинения*. М.: Физматгиз, 1962.

Бор Н. *Избранные научные труды*: В 2 т. М.: Наука, 1970–1971.

Bohr N. *Collected Works*. Vol. 9 Nuclear Physics, 1929–1952. Amsterdam: North-Holland, 1986.

Бронштейн М.П. *Современное состояние релятивистской космологии* // *Успехи физических наук*. 1931. № 11. С. 124–184.

Бронштейн М.П. *К вопросу о возможной теории мира как целого* // *Успехи астрономических наук*. 1933. № 3. С. 3–30

Бронштейн М. *Квантование гравитационных волн* (1936). // Альберт Эйнштейн и теория гравитации: Сборник статей / Под ред. Е.С. Куранского. — М.: Мир, 1979.

Бронштейн М. *Квантовая теория слабых гравитационных полей* (1936). // Эйнштейновский сборник. 1980–1981. М.: Наука, 1985. С. 267–282.

Галилей Г. *Избранные труды*: В 2 т. М.: Наука, 1964.

Galilei G. *Dialogues on two world systems* (transl. T. Salusbury), 1661; *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* (transl. S. Drake), 1967.

Galilei G. *Letter to Benedetto Castelli (1613)*; *Letter to Madame Christina of Lorraine, Grand Duchess of Tuscany Concerning the Use of Biblical Quotations in Matters of Science (1615)*.

Гинзбург В.Л. *О науке, о себе и о других*. М.: Изд-во физ-мат. лит-ры, 2003.

Гинзбург В.Л. *О физике и астрофизике*. М.: Бюро Квантум, 1995.

Dyson F. *The world on a string* // *New York Review of Books*. 2004. May 13.

Зельдович Я.Б. *Избранные труды. Частицы, ядра, Вселенная*. М.: Наука, 1985.

Кеплер И. *О шестиугольных снежинках*. М., Наука, 1982.

Ландау Л.Д. *Собрание трудов*: В 2 т. М.: Наука, 1969.

Максвелл Дж. К. *Статьи и речи*. М.: Наука, 1968.

Newton I. *A treatise of the system of the world*, 1728.

Peierls R. *Bird of Passage: Recollections of a Physicist*. Princeton Univ. Press, 1985.

Паули В. *Труды по квантовой теории*. М.: Наука, 1977.

Планк М. *Избранные труды*. М.: Наука, 1975.

Сахаров А.Д. *Воспоминания*: В 3 т. / Сост. Боннэр Е. — М.: Время, 2006.

Сахаров А.Д. *Дневники*. М.: Время, 2006.

Сахаров А.Д. *Научные труды*. М.: ЦентрКом, 1995.

Тамм И.Е. *Теоретическая физика*. // Октябрь и научный прогресс. / Под ред. М.В. Келдыша и др. — М.: Изд-во АПН, 1967.

Эйнштейн А. *Собрание научных трудов*: В 4 т. М.: Наука, 1965–1967.

Арнольд В.И. *Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук*. М.: Наука, 1989.

Белый Ю.А. *Иоганн Кеплер. 1571–1630*. М.: Наука, 1971.

Вавилов С.И. *Дневники. 1909–1951*: В 2 кн. М.: Наука, 2012.

Вернадский В.И. *Дневники*. М.: Наука, 1999, 2001, 2006, 2008; М.: РОССПЭН, 2010.

Визгин В.П. *Единые теории поля в первой трети XX века*. М.: Наука, 1985.

Визгин В.П. *Релятивистская теория тяготения (истоки и формирование. 1900–1915)*. М.: Наука, 1981.

Карцев В.П. *Максвелл*. М.: Молодая гвардия, 1974.

Карцев В.П. *Ньютон*. М.: Молодая гвардия, 1987.

Он между нами жил... Воспоминания о Сахарове / Ред. Б.Л. Альтшулер. М.: ОТФ ФИАН — Практика, 1996.

Френкель В.Я., Джозефсон П. *Советские физики — стипендиаты Рокфеллеровского фонда* // Успехи физических наук. 1990. № 10.

Brewster D. *Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton*. 1855

Campbell L., Garnett W. *The Life of James Clerk Maxwell*. London: Macmillan, 1884.

Cohen H. F. *The scientific revolution: a historiographical inquiry*. University of Chicago Press, 1994.

Comte A. *The positive philosophy of Auguste Comte* (Transl. Harriet Martineau), 1896.

Cooper L. *Aristotle, Galileo, and the Tower of Pisa*. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1935.

Frisch O. *What Little I Remember*. Cambridge University Press, 1979.

Hawking S., Mlodinow L. *A Briefer History of Time*. Bantam, 2005.

Heilbron J.L. *Galileo*. Oxford University Press, 2010.

Himmel Ch. *The Galileo connection: Resolving conflicts between science and the bible*. InterVarsity Press, Downers Grove, IL. 1986.

Luminet J.-P. *Editorial note to: Georges Lemaotre, The beginning of the world from the point of view of quantum theory* // General Relativity and Gravitation, vol. 43, no 10. 2011. P. 2929–30.

MacLachlan J. *Galileo Galilei: First Physicist*. Oxford University Press, 1997.

Needham J. *The Grand Titration: Science and Society in East and West*. Toronto: University of Toronto Press, 1969.

Niels Bohr and the Development of Physics. Ed. W Pauli. London: Pergamon Press, 1955.

Smolin L. *The Trouble With Physics: The Rise of String Theory, The Fall of a Science, and What Comes Next*. Mariner Books, 2007.

Stukeley W. *Memoirs of Sir Isaac Newton's life*. 1752.

Zilsel E. *The Social Origins of Modern Science*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

Размерность пространства: историко-методологический анализ. М.: Изд-во МГУ, 1983.

Матвей Петрович Бронштейн (1906–1938). М.: Наука, 1990. — Совместно с В.Я. Френкелем.

В.А. Фок: философия тяготения и тяжесть философии // Природа. №10. 1993.

Матвей Бронштейн и квантовая гравитация. К 70-летию нерешенной проблемы // Успехи физических наук. 2005. № 10.

Советская жизнь Льва Ландау. М.: Вагриус, 2008; *Советская жизнь Льва Ландау глазами очевидцев.* М.: Вагриус, 2009.

Андрей Сахаров: Наука и Свобода. М.: Молодая гвардия, 2010.

How the Modern Physics was invented in the 17th century // Scientific American, Guest Blog. April 2012.



Фонд некоммерческих программ

«Династия»

основан в 2002 году

Дмитрием Борисовичем Зиминим,
почетным президентом компании «Вымпелком».

Приоритетные направления деятельности Фонда —
развитие фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение.

В рамках программы по популяризации науки
Фондом запущено несколько проектов.

В их числе — сайт elementy.ru, ставший одним
из ведущих в русскоязычном Интернете
тематических ресурсов,

а также проект «Библиотека „Династии“» —
издание современных научно-популярных книг,
тщательно отобранных экспертами-учеными.

Книга, которую вы держите в руках,
выпущена в рамках этого проекта.

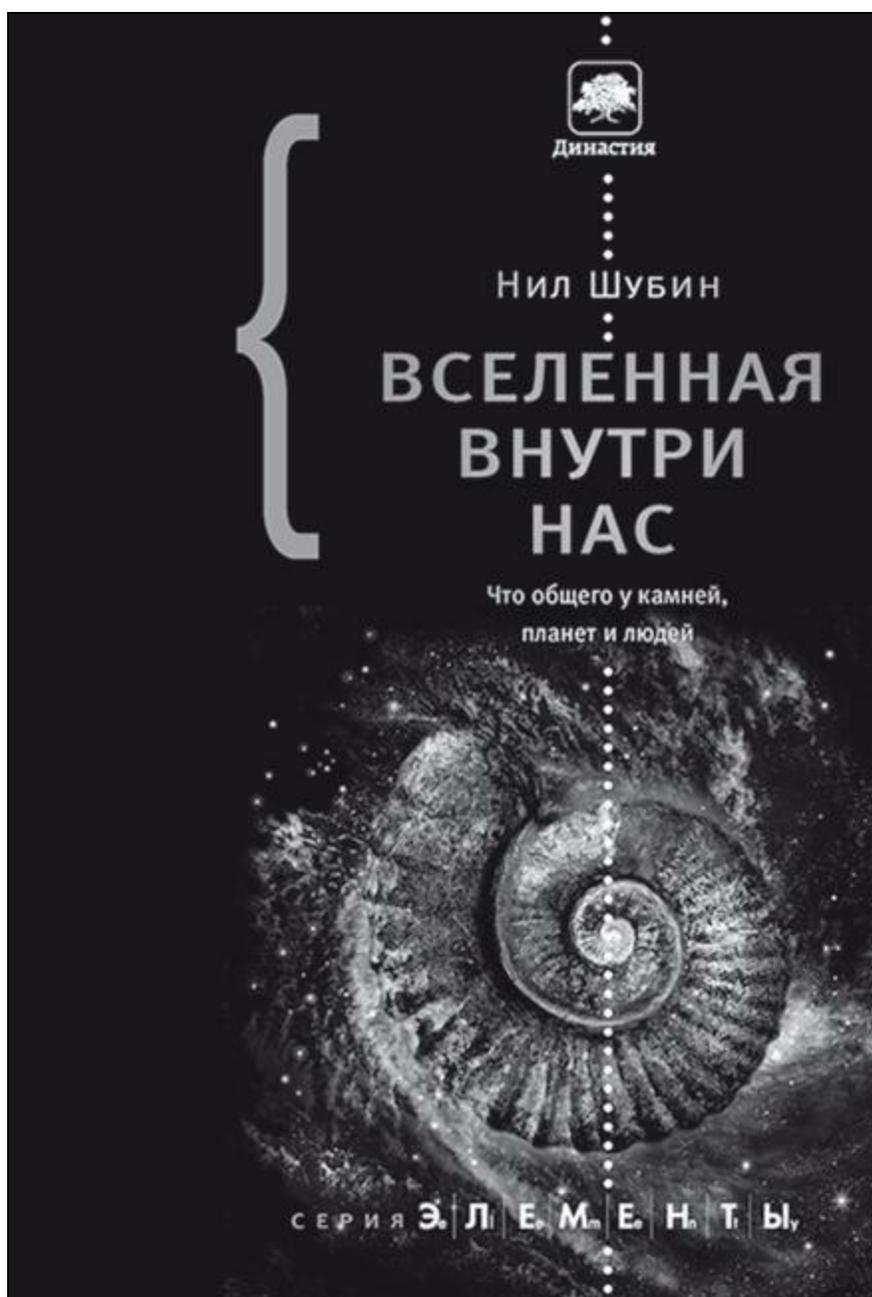
Более подробную информацию о Фонде «Династия»
вы найдете по адресу

www.dynastyfdn.ru.



Сильвия Назар
Путь к великой цели

Автор этой книги — американский журналист Сильвия Назар, написавшая биографию математика Джона Нэша, по которой был снят фильм «Игры разума». Великая цель — это всеобщее процветание. «Путь к великой цели» начинается в середине XIX века, но вскоре мир охватывает одна катастрофическая война за другой. Мировые правительства играют все большую роль в экономической жизни. Экономические теории становятся повседневной практикой, а некогда кабинетные ученые отчаянно спорят и заставляют политиков считаться со своим мнением. «Путь к великой цели» — захватывающая панорама политической и интеллектуальной жизни людей, стран и континентов, от викторианской Англии до современной Америки и Индии, от Карла Маркса и Чарльза Диккенса до Милтона Фридмана и Амартии Сена.



Нил Шубин
Вселенная внутри нас

«...Возвратишься в землю, из которой ты взят, ибо прах ты и в прах возвратишься», — напоминает нам Библия. «Так и есть», — соглашается автор бестселлера «Внутренняя рыба», профессор биологии Чикагского университета, член Национальной академии наук США Нил Шубин. И уточняет: человек состоит в родстве не только со всеми живыми организмами, но и с землей, с водой и воздухом, с нашей планетой, с Галактикой и всей Вселенной. Наши тела сотканы из «звездной пыли» за миллиарды лет эволюции. Нил Шубин пересказывает — буквально с космическим размахом — историю человечества, начавшуюся еще в момент Большого взрыва.

notes

Евгений Евтушенко. *Карьера.*

Письма (1613–1615) адресованы ученику и герцогине-покровительнице.

Н. Гумилев. *Открытие Америки.*

Сборник Н.Гумилева «К синей звезде» издан в Берлине в 1923 г., спустя два года после его казни.