

ВЫПУСК

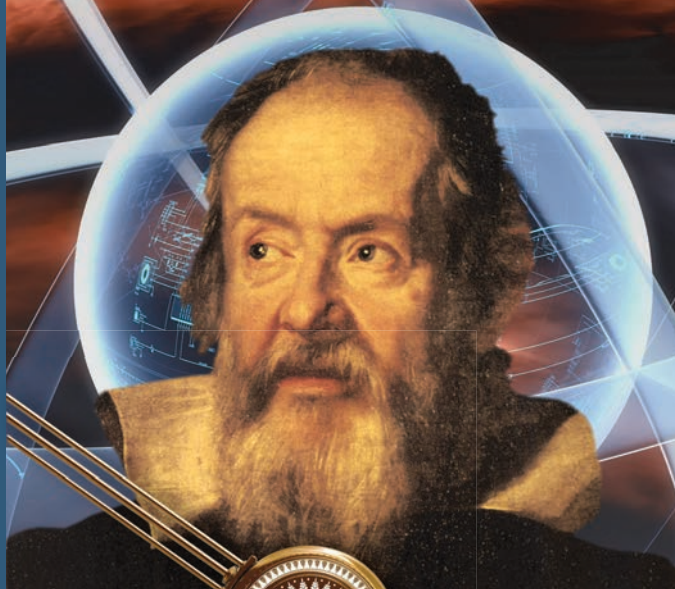
# 127

Библиотечка КВАНТ



## Г.Е. ГОРЕЛИК

НОВЫЕ СЛОВА НАУКИ —  
ОТ МАЯТНИКА ГАЛИЛЕЯ  
ДО КВАНТОВОЙ  
ГРАВИТАЦИИ





БИБЛИОТЕЧКА  
**КВАНТ**  
ВЫПУСК  
**127**

Приложение к журналу  
«Квант» №3/2013

**Г.Е. Горелик**

**НОВЫЕ СЛОВА НАУКИ – ОТ МАЯТНИКА ГАЛИЛЕЯ  
ДО КВАНТОВОЙ ГРАВИТАЦИИ**

Электронное издание

Москва  
Издательство МЦНМО  
2017

УДК 51(091)

ББК 22.3

Г93

Горелик Г. Е.

Новые слова науки — от маятника Галилея до квантовой гравитации

Электронное издание

М.: МЦНМО, 2017

Библиотечка «Квант»; Вып. 127

175 с.

ISBN 978-5-4439-2383-3

В книге в научно-популярной форме рассказывается о некоторых этапах истории физической науки — как Галилей повернул ход истории и кто был первым астрофизиком во Вселенной, как зарождались современная физика и что было «в самом начале», о силовых линиях Фарадея и поле Максвелла, о принципе относительности и поиске абсолютного, о геометрии пространства-времени и квантовой гравитации во Вселенной, о драме идей и драме людей.

Книга адресована самому широкому кругу читателей.

Подготовлено на основе книги: *Г. Е. Горелик. Новые слова науки — от маятника Галилея до квантовой гравитации.* — М.: МЦНМО, 2013. — (Библиотечка «Квант». Вып. 127. Приложение к журналу «Квант» № 3/2013). — ISBN 978-5-4439-0321-7.

Издательство Московского центра  
непрерывного математического образования  
119002, Москва, Большой Власьевский пер., 11,  
тел. (499) 241-08-04.  
<http://www.mccme.ru>

ISBN 978-5-4439-2383-3

© МЦНМО, 2017.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

Введение	5
<b>Глава 1. КАК ГАЛИЛЕЙ ИЗОБРЕЛ СОВРЕМЕННУЮ ФИЗИКУ</b>	
С Архимедом против Аристотеля	6
Как Галилей повернул ход истории	10
Первый современный физик?	15
<b>Глава 2. ПЕРВЫЙ АСТРОФИЗИК ВО ВСЕЛЕННОЙ</b>	
Астрономические картины	17
Астрофизика, астрономия и астрология	22
Рождение экспериментальной астрофизики	27
Вера и знание	33
Скорость света – первая фундаментальная константа	36
<b>Глава 3. ГРАВИТАЦИЯ – ПЕРВАЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ СИЛА</b>	
С небес на землю и обратно	42
Мог ли Галилей открыть закон всемирного тяготения?	46
Как Галилей мог открыть общий закон свободного падения	48
Рождение теории гравитации	52
<b>Глава 4. ЗАГАДКА РОЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ</b>	
Вопрос Нидэма	58
Физика современная и физика фундаментальная	60
Источник веры в фундаментальную закономерность мира	63
Постулаты и предрассудки	65
Пред-рассудок свободы	69
<b>Глава 5. ПЕРВАЯ И ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ</b>	
Атомы, физика и этика	73
Вглубь микромира и во всю ширь Вселенной	77
Что было в самом начале?	81
«Великий фундаментальный закон прогресса»	84
Электричество, магнетизм и электромагнетизм	88
От силовых линий Фарадея до поля Максвелла	90
Глобальное электромагнитное объединение	95

<b>Глава 6. НАЧАЛО КВАНТОВОЙ ЭПОХИ</b>	
Профессор, не желавший делать открытия	99
Фото-эффектная роль $h$	103
Атом, который понял Бор	105
Драма квантовых идей	108
Новая вероятность	111
<b>Глава 7. ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ ЭЙНШТЕЙНА</b>	
Что = Где + Когда	114
Принцип относительности и поиск абсолютного	119
Теория относительности или закон всемирного тяготения?	123
Гравитация – геометрия пространства-времени	128
Как приходит мирская слава	134
<b>Глава 8. ОТКРЫТИЕ ВСЕЛЕННОЙ</b>	
Новый физический объект – Вселенная	137
Квантовая гравитация во Вселенной 1916 года	139
Александр Фридман: Вселенная не стоит на месте	140
Закон красного смещения	142
Жорж Леметр, астрофизик в сутане	145
Расширяется Вселенная или стареют фотоны?	150
Три фундаментальные константы $c$ , $G$ и $h$	152
<b>Глава 9. НАЧАЛО ВСЕЛЕННОЙ И <math>cGh</math>-ФИЗИКА</b>	
Квантовая гравитация и Вселенная в 1916 и 1936 годах	156
Три четверти века спустя	160
<b>Приложение. ДИАЛОГИ ПРОФЕССОРА ХОЛМСОНА И ДОЦЕНТА ВАТСОНА О НАУЧНОЙ КРИМИНАЛИС- ТИКЕ</b>	
Кто стрелял первым, или $c$ -криминалистика	165
Как попасть в пятно Пуассона, или $h$ -криминалистика	167
Предел Бремермана, или $cGh$ -криминалистика	170

## ВВЕДЕНИЕ

---

Сегодня в интернете слово «НАУКА» встречается чаще, чем слова «МАМА» или «ВОЗДУХ», что не удивительно – здесь плодами науки пользуется каждый. Задолго до возникновения интернета в обыденную жизнь проникали и слова науки. К примеру, слово «квант», возникшее в физике чуть более ста лет назад, не только стало названием журнала для школьников, но применяется людьми, далекими от физики, но таких, например, выражениях, как «квантовый скачок», «квантовая логика» и даже «квантовое правосудие».

Понять, что такое современная наука, можно, лишь понимая, как рождаются новые слова науки.

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 прама- тери пережить всех не ее потомков и образовать наш вид – Хомо Сапиенс, то бишь Человек Разумный. Одним из преимуществ нашей прама- тери был, вероятно, любознательный разум.

На протяжении многих тысячелетий потомки любознательной Евы 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 Научной 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, фактически, современного естествознания вообще»* 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.

## 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 чтил его. Тот был самым настоящим физиком. Знаменитый закон Архимеда о плавании тел работает поныне без 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, обратим внимание на следующее. Две тысячи лет отделяли Галилея от его коллег-предшественников, выводы которых он принимал или оспаривал. А коллеги-последователи Галилея взяли 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. Тогда физика считалась частью философии, где царил Аристотель. Труды Архимеда не входили 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.

Для студента Галилея общие философские ответы звучали неубедительно, и авторитет имен мало что менял. Гораздо убедительней и интересней была математика, хотя 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. Утвержде-



*Аристотель (фрагмент фрески Рафаэля «Афинская школа», 1509–1511)*



*Архимед (картина Доменико Фетти, 1620)*

ния 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 самой знаменитой задачи Архимеда. Задачу ту поставил царь, получив от ювелира заказанную золотую корону. Царя вполне устраивала 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 с пифагоровых времен 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 физику 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.

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 навел 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.

А 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.

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 открытие Галилея 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, т.е. 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»*.



*Галилео Галилей (портрет кисти Оттавио Леони)*

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 от 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, т.е. тяжестью единицы объема. Если взять два шара одинаковых размеров, 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 подни-

маться. А если дать им падать в воздухе? *Оказалось, что деревянный шар вначале 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 этого опыта вообще не делал; то был, якобы, риторический прием. Однако в наше время опыт воспроизвели, и результат совпал с галилеевским. Объяснение нашлось не физическое, а физиологическое. Рука, удерживающая тяжелый шар, сжимает его крепче, чем другая рука сжимает легкий, а, получив приказ головы выпустить шары, крепче сжатой руке требуется чуть-чуть большее время, чтобы разжаться. Поэтому легкий шар начинает свое падение раньше на то самое «чуть-чуть».

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 некоей 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 их на разные углы и отпустить, то маятники будут колебаться в такт, совершенно синхронно: период малых колебаний – тот же, что и больших. 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 один и тот же, 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 опережа-*

*ет куриное яйцо едва ли на четыре пальца». Свободные колебания маятника мало похожи на свободное падение, но оба движения 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 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 Пизанской 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 девять локтей Аристотеля».*

Сам Галилей нигде не утверждал, что сбрасывал шары с башни. Для него гораздо важнее был новый закон свободного падения, чем опровержение старого. А движение шаров по наклонной плоскости и малые колебания маятников были намного 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 точно, сколько 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 «торричеллевой». Для этого нужна пробирка длиной, скажем, около метра, заполненная ртутью. Перевернув пробирку вверх дном и опустив ее



открытый конец в сосуд со ртутью, получим вблизи дна пробирки, оказавшегося наверху, примерно 24 сантиметра пустоты (если давление воздуха нормальное, т.е. 760 мм рт.ст.). 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 «Аполлон-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.

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.

Основать фундаментальную физику Галилею помогли его природный талант, пример Коперника, а также 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.

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, по одиночке, 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

двигаются более хитрым образом – каждая закреплена на некоей 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 особого 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 для 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 Птолемею он видел лишь коллегу, а не безошибочного гения.

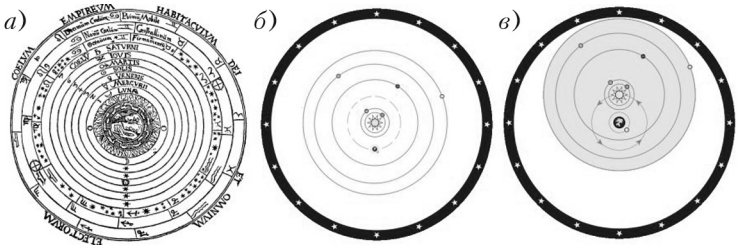
Чтобы исследовать гелиоцентрическую идею, Копернику надлежало проделать большую работу – детально описать конструкцию гелиоцентрической системы, чтобы можно было рассчитать положение любой планеты. Из своей системы он извлек несколько замечательных следствий: планеты перестали «пятиться», орбиты их почти 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.

Для астро-математика 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



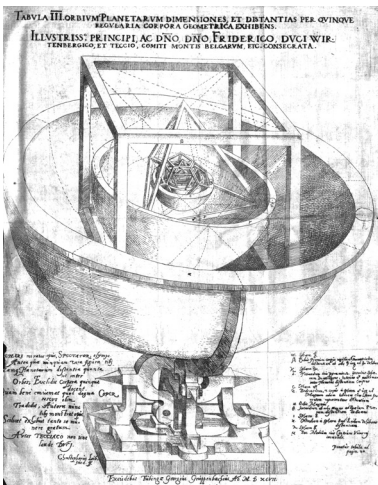
а) Геоцентрическая система Птолемея; б) гелиоцентрическая система Коперника; в) гео-гелиоцентрическая система Тихо Браге

обоих содержание картины мира Коперника расширилось и углубилось. А неожиданным «побочным» результатом этого стало рождение современной науки. Именно поэтому труд Коперника считают началом Великой 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.

Первая книга 25-летнего Кеплера «Космографическая тайна» (1596) стала первой публикацией в защиту системы Коперника, в которой Кеплер видел лишь первый



Гелиоцентрический кубок шести планет Кеплера

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 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».*

### **Астрофизика, астрономия и астрология**

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 различие 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 у 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 животные.

Нынешние авторы иногда, упрекнув Галилея в том, что он не заметил «здоровое зерно» в описаниях Кеплера, тут же оправдывают эту «слепоту» отворачиванием 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, т.е. 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 наблю-



днями 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 не обязательно 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 астро-физика и астро-математика. 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 близость радиусов вписанных и описанных сфер, в одной из этих комбинаций, к наблюдаемым орбитам уже не столь поражает.

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 астро-математики, 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 астро-математическую 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 эlegantных 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 – астро-математический – 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. Округлость описывается одним числом: расстоянием от ее точек до центра, а эллипс – двумя: расстояни-

ем 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.

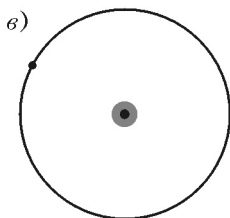
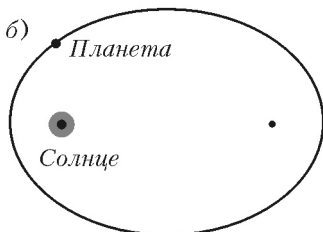
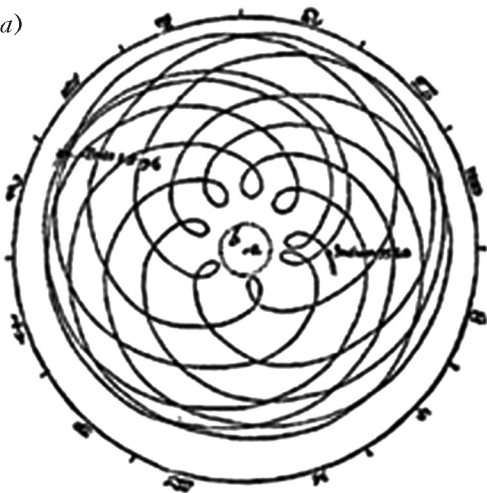
Первые два закона Кеплера утверждают, что орбита – эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце, и что скорость планеты тем больше, чем она ближе к Солнцу. В 1609 году Кеплер опубликовал эти законы в книге «Новая Астрономия» и послал ее Галилею. Тот не отозвался ни словом.

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.

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.

а)



а) Траектория планеты (с петлями попятного движения) с геоцентрической точки зрения; б) траектория планеты (первый закон Кеплера) с гелиоцентрической точки зрения; в) физическая модель траектории планеты по Галилею

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?»*

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 не обычным 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 в изобретении.

А подзорную трубу изобрел не он. Изобрели ее далеко от Италии – в Голландии и 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 оптических труб, довел увеличение до тридцатикратного и направил прибор в небо – на объекты далекие, но близкие его мыслям. Так возник телескоп.

Первым делом Галилей обнаружил и зарисовал гористые ландшафты Луны. Затем ему повезло обнаружить рядом с Юпитером совершенно не известные 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 вращаются планеты вокруг Солнца и 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, написанного полгода спустя после публикации «Звездного вестника»:

*«Посмеемся, мой Кеплер, над великой глупостью людской. Здешные 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 устройств 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 необидительность 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 зывали 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.

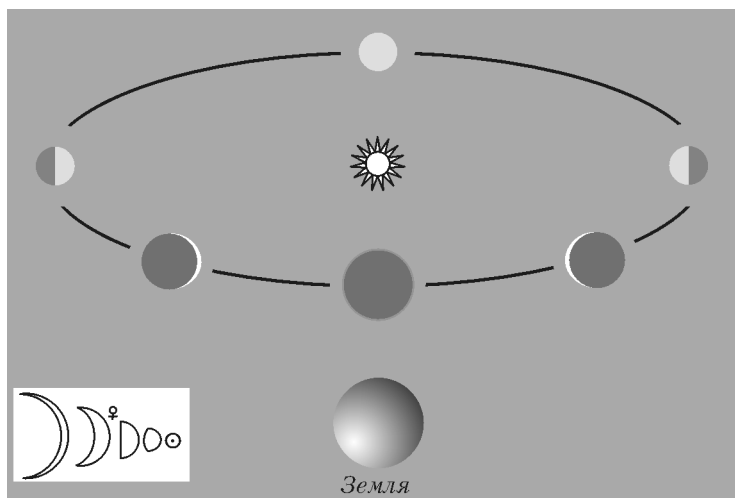
В Риме его чествовала Академия деи Линчеи («Академия рысьеглазых») – одно из первых научных обществ, созданное за несколько лет до того любителями и покровителями науки. Галилей принял приглашение вступить в это общество и впоследствии писал свои книги, ориентируясь на читателей, подобных членам этой 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 Клавий, 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 астро-математику 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 вокруг 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, когда университетские профессора трактовали старые тексты.

Галилей занимался другим практическим делом – расследовал фундаментальную физику реальной Вселенной. Одобрение



*Фазы Венеры, зарисованные Галилеем (слева внизу) и изображенные схематически*



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 гео-гелиоцентрической 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, были 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.

### **Вера и знание**

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 ясного ответа. Ясно лишь, 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, нет ни слова о том, плоска ли Земля или шарообразна. Но, забыв о смысле библейского рассказа, можно найти фразы, выражающие обыденные 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, то 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 Божью, 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 дозволено мирянину, даже если этот мирянин – прославленный астроном. Тем более когда бдительные 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.

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 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 означающую *«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 изда- лека 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 вблизи, – пишет Галилей, – значит, свет доходит мгновенно, а если свету требуется время, то расстояния в три мили хватило бы, чтобы обнаружить задержку»*. 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. Если минимальным промежутком времени счесть один удар пульса, то проделанный им опыт означал, что свет прошел две мили за время, меньшее секунды, т.е. со скоростью, как минимум в 10 раз большей скорости звука. А если бы задержки не обнаружилось и на расстоянии 10 миль, то 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 бы 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 прибудет 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 им в наследство и 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 галилеевские спутники, вспомнили об уверенности Галилея в том, что свет распространяется с огромной, но конечной скоростью. Соединив наблюдения периодов спутников со знанием планетных движений, они получили впервые величину скорости света – 220 тысяч километров в секунду, что было близко к истинной величине около 300 тысяч километров в секунду.

Таким образом, интуиция Галилея, как ни удивительно, оправдалась. А это очень удивительно. Ведь не было никаких наблюдаемых свидетельств в пользу конечной скорости света. И выдающиеся современники Галилея Кеплер и Декарт, которые занимались наукой о свете, 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 наибо́льшего»*.

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 – галилеевским 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.

**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 сопровождается 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 будет предостаточно для всех тех, 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 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 физики.

## ГРАВИТАЦИЯ – ПЕРВАЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ СИЛА

---

### С небес на землю и обратно

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

$$F = G \frac{mM}{R^2}.$$

Любопытно, 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?

Оказывается, что догадался об этом 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 – в том, 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  $F$ :

$$F = ma,$$

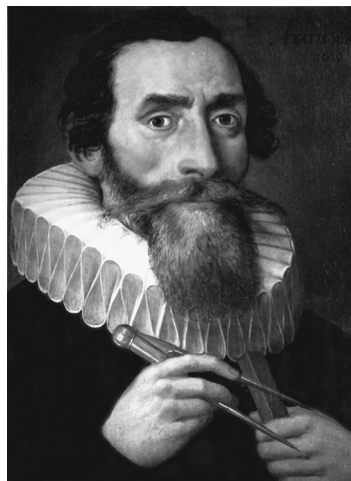
а изобретенный математический аппарат – дифференциальное исчисление – позволил решать любую задачу о движении тел на небе и на земле.

Первую небесную задачу решил астроном Эдмонд Галлей (Хэли). Опираясь на закон движения и закон гравитации, он предсказал, что комета 1682 года (известная теперь как комета Галлея) 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 с огромными скоростями в тысячи километров в час вокруг своей оси и вокруг Солнца? 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 галилеевский 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, рукопи-



*Иоганн Кеплер*

сей, 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». Это «стремление» Кеплер то уподоблял магнетизму, то считал его проявлением. Из его текстов не ясно, 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. Он 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 ребячески считал бы и разговоры Буйо: откуда аналогия между светом и планетными силами?! Впрочем, к моменту выхода 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 представляется невероятным. Так что скорость света определить он не мог, хоть и был убежден, что она конечна.

Галилей был также убежден, 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 Зем-

ли»: парабола тем точнее описывает траекторию, чем ее размер меньше по сравнению с радиусом Земли, т.е. 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.

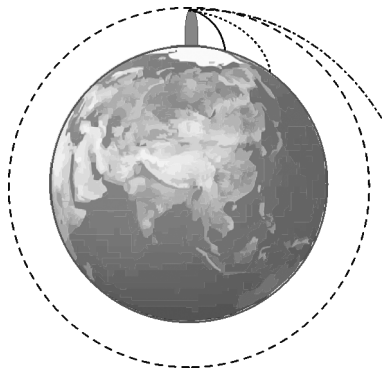
Трудность была теоретической, и эксперимент не мог помочь: чтобы в лаборатории заметить сферичность Земли, размеры лаборатории должны быть сравнимы с радиусом Земли. Галилей мог, однако, воспользоваться мысленным экспериментом, в чем был большой мастак. Надо было лишь придумать вопрос для мысленного 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 пологой. А с какой скоростью надо бросить шар, чтобы, падая, он оставался на и одном 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, равна

$$v = \sqrt{gR} \sim 8 \text{ км/с}.$$

Это, конечно же, *первая космическая скорость*, т.е. скорость, с которой нужно бросить шар, чтобы он стал *искусственным спутником Земли*. Впервые это удалось сделать в Советском Союзе в 1957 году, а в Италии семнадцатого века слов таких не знали и величину скорости называли бы астрономической. Она была, скорее, астро-физической. Но астро-физику 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



*Иллюстрация мысленного эксперимента Галилея с бросанием шаров с башни*



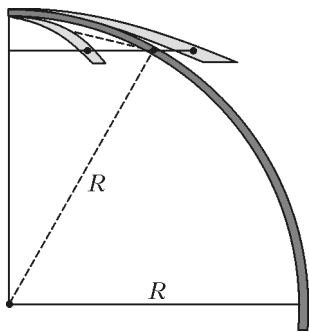
Луны в 60 раз меньше, «чем надо». Поскольку скорость Луны и расстояние до нее были хорошо известны, Галилей подумал бы об ускорении свободного падения  $g$ , которое сам измерил. Но измерил-то на поверхности Земли, а не на высоте Луны. Соотношение выполнилось бы, если бы ускорение свободного падения на высоте Луны было 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 бы 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 массой  $M$ :

$$g(R) = G \frac{M}{R^2}.$$

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:  $v_{\text{г}} = v$ , а по вертикали растет со временем:  $v_{\text{в}} = gt$ .



*С помощью этого рисунка современный школьник легко найдет скорость, с которой нужно бросить шар, чтобы он все время оставался на одной и той же высоте над земной поверхностью*

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 пологой 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/с<sup>2</sup>. Эти величины, как и теорему Пифагора, знал также и Галилей. И мог бы получить, что искомая скорость  $v$  связана с  $g$  и  $R$  соотношением  $v^2 = gR$  и равна примерно 8 км/с. Летя с такой скоростью, шар оставался бы на постоянном удалении от земной поверхности. Совсем, как Луна.

Однако Галилей легко обнаружил бы, что лунные величины  $R_{\text{Л}} \approx 400000$  км и  $v_{\text{Л}} \approx 1$  км/с никак не укладываются в полученное соотношение. А чтобы уложились, нужно значение  $g_{\text{Л}}$ , примерно в 3600 раз меньшее измеренного Галилеем на поверхности Земли. Расстояние до Луны больше радиуса Земли примерно в 60 раз, а  $60 \times 60 = 3600$ . Таким образом, Галилей мог бы 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  $v$  меняется с расстоянием  $R$  от небесного тела по закону  $v \sim 1/\sqrt{R}$ . А если небесное тело имеет несколько спутников, то для них всех величина  $v\sqrt{R}$  одна и та же. Подтвердить это свойство Галилей мог бы на им же открытых спутниках Юпитера, что отражено в приведенной здесь таблице.

Спутники Юпитера	<i>Ио</i>	<i>Европа</i>	<i>Ганимед</i>	<i>Каллисто</i>
Расстояние от Юпитера $R$ , $10^3$ км	421,6	670,9	1070,4	1882,7
Скорость $v$ , км/с	17,34	13,74	10,88	8,204
$v\sqrt{R}$	<b>11253</b>	<b>11253</b>	<b>11249</b>	<b>11251</b>

Подтвердили бы это и спутники Солнца, т.е. 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 бы мог назвать *общим законом свободного падения*: ускорение свободного падения на расстоянии  $R$  от центра небесного тела равно

$$g(R) = \frac{A}{R^2},$$

где  $A$  – некая константа, определяемая свойствами небесного тела. Из наблюдательных данных Галилей мог вычислить соотношения таких констант для Земли, Юпитера и Солнца:

$$A_{\text{Ю}} \approx 300A_{\text{З}}, \quad A_{\text{С}} \approx 300000A_{\text{З}}.$$

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  $M$  с неким коэффициентом  $G$  (который тоже можно грубо оценить, считая среднюю плотность Земли близкой к плотности ее твердых пород):

$$A = GM.$$

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

$$g(R) = G \frac{M}{R^2}.$$

И здесь константа  $G$  – не простая, а фундаментальная, поскольку одинакова для Земли, Юпитера, 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 ставить задачу и 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 бы 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 всего 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 многомерную 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 смешили, 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 подобными 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 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 теперь называют классической механикой.

Сделал все это Ньютон на основе трудов Галилея, изучив его «Диалоги» и «Беседы», 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**

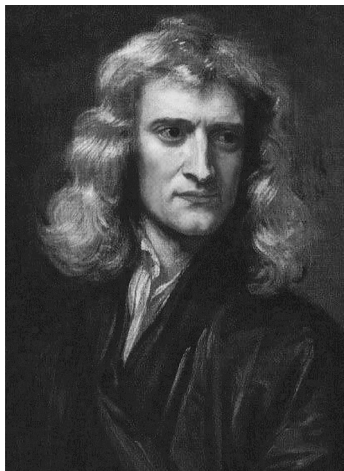
Вернемся из сослагательной истории в реальную, в которой закон всемирного тяготения носит имя Ньютона. Это – непростая и невеселая история, в которой неустанно обсуждают вопрос, по праву ли этот закон носит это имя. При всей мировой славе сэра Исаака Ньютона, начавшейся при его жизни, ему давно предъявляют 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 известному 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 использовал в своих вычислениях.

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 свой. Характер Гука, даже по свидетельствам его друзей, был далеко не ангельский. 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 его жизни.

Те, кто оправдывают претензии Гука, опираются на то, что тот поставил перед Ньютоном задачу об эллиптических орбитах, ответ на которую знал, но не мог доказать, а Ньютон дока-



Исаак Ньютон

зал, 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 1665-66 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 (жрецы 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 гуманитарии 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 галилеевской 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 только что прошли «мы с Галилеем».

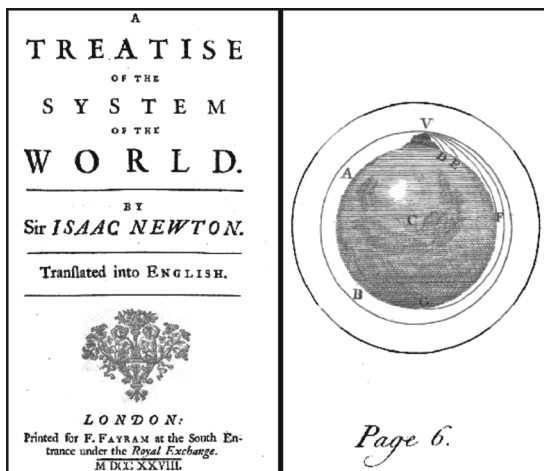
Для такого предположения есть несколько оснований. Из записных книжек Ньютона, относящихся к 1660-м годам, ясно, что он пришел к зависимости  $1/R^2$ , рассматривая именно *круговые* орбиты. О том же говорит его ссылка на неправильное значение радиуса Земли, задержавшее его мысль. И, наконец, важнейшее 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 резонансов, подобных галилеевским,



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



*Рукопись Ньютона «Трактат о Системе Мира» (изданная посмертно) и первая иллюстрация в ней, изображающая мысленную пушку*

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 его здоровое отношение к собственным результатам не укладываются в какую-то манию величия. Известные слова Ньютона «Если я видел дальше других, то лишь потому, что стоял на плечах гигантов» поясняются его же записью: «*В науке нет иного правителя, кроме истины... Кеплеру, Галилею, Декарту следует поставить памятники из золота, на каждом написать: "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 килограммов и 1,5 килограмма, а измеренная сила притяжения оказалась равна весу песчинки. Это измерение дало возможность точно определить массу нашей планеты, а значит, и массы других небесных тел. И это же измерение позволило определить фундаментальную константу гравитации  $G$  в формуле  $F = G \frac{mM}{R^2}$ , как только

такая запись появилась в начале девятнадцатого века.

Однако вряд ли Ньютон мог предположить, что пройдут еще два столетия, прежде чем физики узнают нечто более глубокое о гравитации. За это время ученые 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 Максвелла, Планка, Эйнштейна, Бора и других физиков.

## ЗАГАДКА РОЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

---

### Вопрос Нидэма

Наука в самом общем смысле, как получение знаний о природе, не имеет даты и места рождения. Тысячи лет жила она, соединенная с техникой и другими формами народной мудрости, в самых разных культурах. Однако, если говорить о физике, в 17 веке произошло то, что можно назвать рождением новой – *современной* – науки, после чего темп ее развития ускорился в сотню раз. Общеизвестно, что отец современной физики – Галилей, хоть он и опирался на законы Архимеда, вдохновлялся открытием Коперника, поддерживался Кеплером, а триумфально развил его идеи Ньютон.

Нет, однако, общепризнанного ответа на вопрос Джозефа Нидэма, британского биохимика, ставшего знаменитым историком 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 15 века китайская цивилизация была намного эффективнее западной в применении знаний о природе к практическим нуждам человека».*

Вопрос Нидэма следует расширить во времени и в пространстве, чтобы говорить не об одном лишь уникальном событии – о рождении современной физики. Само слово «физика» появилось в 4 веке до нашей эры у Аристотеля, а век спустя Архимед открыл первые физические законы, полностью сохранившие смысл, – законы равновесия и плавания. В последующие две тысячи лет, однако, физика так мало выросла, что в работах Галилея его главные научные «собеседники» – Аристотель и Архимед. А исследования самого Галилея, подхваченные уже его современниками, стали расти на глазах и к концу 17 века вполне оформились в новую физику.

До 17 века Китай, Индия и мир Ислама не уступали Европе по уровню техники и социальной организации. В Европе освоили китайское изобретение бумаги, ставшее предпосылкой книгопечатания, и десятичную систему счисления, принесенную из

Индии мусульманами, от которых также получили многое из античного наследия и их собственные изобретения, как, например, «алгебру». Однако новая физика, родившись в Европе, лишь внутри нее распространялась свободно: из Италии Галилея во Францию Декарта, в Голландию Гюйгенса, в Англию Ньютона, в Германию Лейбница и в Россию Ломоносова. За пределы Европы новое изобретение почему-то не проникало.

Поэтому уточним вопрос Нидэма таким образом:

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

О причинах рождения новой физики историки начали писать с 1930-х годов. Главную причину одни усматривали в запросах раннего капитализма, другие – в протестантизме, который, якобы, утвердил опытную суть науки. Наперекор возникла идея о том, что главной силой научной революции была «математизация природы», а вовсе не эксперименты сами по себе. Искали какое-то особое соединение эксперимента и математической теории. И сравнивали развитие науки в Европе и в других цивилизациях. В таком сопоставлении Нидэм и пришел к своему озадачивающему вопросу.

Каждое из предлагавшихся объяснений, беря за основу некую черту исторической реальности, не отвечало другим. Действительно, первые главные достижения новой физики – в небесной механике – не имели выхода в экономику. Необходимость соединить опыт и математику провозгласил еще Роджер Бэкон в 13 веке, а фактически их прекрасно соединил Архимед, который был и математиком, и инженером-изобретателем, и физиком. Среди основателей новой науки были и католики, и протестанты. И, наконец, в Китае, без капитализма, ученые теоретики успешно сотрудничали с искусными практиками, а физика не возникла.

Чтобы ответить на расширенный вопрос Нидэма, надо выяснить, что объединяло страны, в которых новая наука легко приживалась, чем характерно время ее рождения и как эти особенности могли помочь рождению и успешному росту новой физики.

Первый же взгляд на культурное пространство новой науки подсказывает, что все научно-успешные страны были христианскими. Однако христианство существовало уже 16 веков, а к 17 веку между тремя христианскими конфессиями были принципиальные расхождения и кровавые столкновения.

Более адекватную общность можно найти, если сравнивать не страны в целом – очень разные по уровню развития, а людей, которые могли идти в науку. Это, очевидно, были люди читающие. И ясно, что в те времена универсально общей книгой в странах Европы была Библия, доступность которой резко выросла благодаря изобретению книгопечати в 15 веке и Реформации в 16-м.

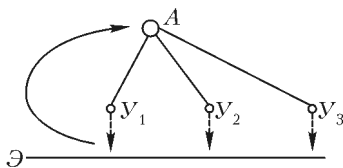
В биографиях Галилея нередко пишут, что сам он «по иронии истории» верил в Бога. Историческим фактом, однако, является то, что верующими были все основатели новой науки и все они считали Библию не менее важной книгой, чем Книга Природы. Коперник имел духовное звание, Галилей и Кеплер в юности хотели стать священниками, а Ньютон о своих исследованиях Библии написал больше, чем о физике. Основатели новой науки смело мыслили и свободно веровали. В своих научных исследованиях они, по выражению Кеплера, видели служение Богу. А в религии мыслили так же свободно, как и в науке, что вело к расхождениям с церковными канонами. Истину в науке они искали, опираясь на Книгу Природы, а в религии – опираясь на Библию и считая, что у обеих книг один Автор.

Но каким образом чтение Библии могло помочь чтению Книги Природы? Чтобы понять это, выясним, чем физика Галилея отличалась от физики Архимеда.

### Физика современная и физика фундаментальная

Книги Архимеда поражают ясностью и точностью изложения. Не зря Галилей называл его божественнейшим. К тому же и опыты и математика Галилея не выходили за пределы возможностей Архимеда, как это ни удивительно при двух тысячелетиях между ними.

В чем за эти пределы вышел Галилей, помогает увидеть Эйнштейн, который свое понимание физики изобразил схемой, приведенной на рисунке.

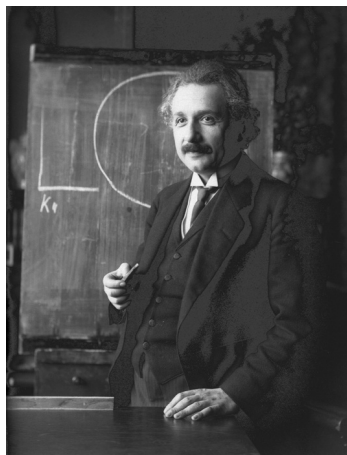


Схема, иллюстрирующая понимание Эйнштейном сути физической науки

Здесь аксиомы  $A$  – 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  $\mathcal{E}$ . Из аксиом логи-

чески выводят конкретные утверждения  $У$ , которые приземляют, сопоставляя (пунктирные стрелки) с данными наблюдений.

Новые аксиомы изобретают, конечно, реже, чем применяют уже известные для объяснения новых явлений, однако поразительные успехи современной физики достигнуты именно методом, изображенным Эйнштейном. Изобрел этот метод Галилей, изобрел, можно сказать, сам метод изобретения новых понятий. Этот метод предполагает, что:



Альберт Эйнштейн

1) *Природа основана на глубинных, вовсе не очевидных законах;*

2) *Человек способен понять устройство Природы, свободно изобретая понятия и проверяя их в опытах.*

Назовем это *двойным постулатом фундаментальной науки*, поскольку он опирается на веру в то, что мир – стройное мироздание, стоящее на некоем невидимом, «подземном», фундаменте. Невооруженному глазу видны лишь надземные этажи, но фундаментальные физики надеются понять архитектурный план всего здания, начиная с фундамента, очам не видного. Для этого физики задают Природе вопросы в виде измерительных опытов. Измерения дают четкие ответы, позволяя подтвердить или опровергнуть математически выраженную теорию. Поэтому и необходим комплект из двух инструментов – опыта и математики. Но нужно и нечто большее, о чем сказал Эйнштейн, – «свободная изобретательность духа».

Фундаментальные понятия вовсе не обязаны быть очевидными, их оправдывает или отвергает весь процесс познания. *«Понятия никогда 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 аксиом в познании Вселенной обнаружил Коперник, получив убедительные следствия из абсурдно неочевидной аксиомы о том, что Земля движется. Этот

успех помог Галилею изобрести метод познания, суть которого в том, что исследователь волен изобретать сколь угодно неочевидные – «воображаемые» – понятия, отталкиваясь от наблюдений, если затем соединит свободу творческого взлета разума с надежным приземлением в опытах.

Именно так Галилей открыл закон свободного падения – первый фундаментальный закон, согласно которому *в пустоте* движение *любого* тела не зависит от его массы и состава. Неочевидное и «нелогичное» понятие, которое ему понадобилось, это «пустота», точнее – «движение в пустоте». Это *физическое* понятие он ввел вопреки Аристотелю – величайшему тогда авторитету, доказавшему, как считалось, логически, что пустота, т.е. ничто, реально не существует. Галилей не воспринимал пустоту органами чувств, не проводил опытов в пустоте. Он мог лишь сопоставить опыты с движением в воде и в воздухе, что и стало взлетной полосой для его изобретательного разума. Так он пришел к понятию «невидимой» пустоты, что помогло сформулировать 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 понятия Архимеда наглядны: форма тела, плотность вещества и плотность жидкости, и этих понятий хватило, чтобы создать теорию плавания – последовательно, малыми шагами. Подобным же образом Птолемей составил геоцентрическую теорию планетных движений. Однако не любую теорию можно создать, ограничиваясь лишь наглядными понятиями и малыми шагами.

Коперник совершил идейный взлет, решив исследовать, как выглядели бы планетные движения, если на них смотреть с «солнечной точки зрения». А взлет Кеплера – предположение, что траектории планет описываются не сложными комбинациями круговых циклов и эпициклов, а неким единым образом. И Коперник и Кеплер, принимая двойной постулат фундаментальной науки, изучали по сути лишь один объект – Солнечную систему, эмпирически опираясь лишь на астрономические, «пассивные», наблюдения, а главным их теоретическим инструментом была математика. Поэтому их можно назвать фундаментальными астро-математиками.

Галилей первым 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. Обнаруживая в земных явлениях фундаментальный закон, вроде закона инерции, он считал его действующим и для астрономических явлений. И стал первым фундаментальным физиком (и астрофизиком).

С тех пор так работает физика переднего края, которую можно назвать фундаментальной, или галилеевой. Остальную часть физики можно назвать архимедовой: в ней к понятиям наглядно-очевидным добавляются фундаментальные понятия, уже проверенные и ставшие привычными. Следующие, после галилеевской «пустоты», неочевидные понятия – всемирное тяготение, электромагнитное поле, кванты энергии, фотоны, пространство-время... Вводя в физику «новые слова», нередко надо было отказаться от привычных старых, что требовало не меньшей смелости.

Метод Галилея стал главным инструментом развития новой науки, давая новые понятия и новые законы природы. Начинал же Галилей с *веры* в фундаментальную закономерность мира и в познавательную способность человека.

### **Источник веры в фундаментальную закономерность мира**

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

*«Кеплер, – писал Эйнштейн, – 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»*.

Основатели новой науки разделяли такую веру в фундаментальную закономерность. Вера и знание прекрасно уживаются в науке: знание – это итог, а вера определяет начало и энергию процесса познания. Но в чем источник этой веры?

Свидетельство связи между религиозной верой и верой в закономерность мира обнаружил историк-марксист и, разумеется, атеист Цильзель, исследуя историю выражения «закон природы». Оказалось, что выражение это возникло лишь в 17 веке, и возникло в рамках Библейского мировосприятия. А ранее слово «закон» имело лишь юридический смысл.

Галилей в своих книгах вместо этого слова писал *ragione* – соотношение или *principio* – принцип. Превращение началось в



его теологических письмах своему ученику и герцогине-покровительнице (1613), где его мировосприятие выглядит так:

*И Библия и Природа исходят от Бога. Библия продиктована Им, а Природа – верная исполнительница Его велений. Библия, убеждая в истинах, необходимых для спасения, нередко говорит иносказательно – языком, доступным 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.*

Здесь фактически изложен двойной постулат фундаментальной науки: *нерушимые законы управляют скрытыми причинами в Природе, а человек способен их понять.*

К концу 17 века галилеевские законы, установленные Богом для природы, превратились просто в законы природы. Произошло это благодаря Декарту и Ньютону – глубоко религиозным и чрезвычайно влиятельным людям науки. Для атеиста Цильзеля выражение «закон природы» – это «метафора библейского происхождения», но для религиозных основателей новой науки это было метафорой не более чем другие слова, которыми говорят о Боге. Выражение «закон природы» вошло в общий язык верующих и неверующих, а к 20 веку забылось и то, что оно существовало не всегда, и его библейское происхождение.

Не так важна, однако, история выражения «закон природы», как сама роль Библейского мировосприятия в мышлении основателей новой науки. Их общей религией можно назвать «библейский теизм», источник которого – Библия в их собственном понимании. Связь двух видов веры в их сознаниях помогает увидеть связь двойного постулата фундаментальной науки с постулатами Библии о Творце-Законодателе и о свободе человека, созданного как Его подобие. Пользуясь этой свободой, Ньютон изобрел следующее неочевидное и «нелогичное» понятие – всемирное тяготение.

וַיֹּאמֶר אֱלֹהִים נַעֲשֶׂה אָדָם בְּצַלְמֵנוּ כְּדֹמֹתֵינוּ

И рече бгъ: сотворимъ человека по ѡбразѣ Нашему и по подобію

И сказал Бог: сотворим человека по образу Нашему, по подобію 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 (из средневекового издания Библии)*

Не следует думать, что в 17 веке, когда возникала современная физика, атеистов не было. Атеизм «жил и работал» еще во времена Архимеда – в учении Эпикура и его последователей. Открытым атеистом был коллега и друг Ньютона – астроном Галлей (Хэли). Однако среди основателей новой физики атеистов не было. Не были атеистами и физики следующих поколений, которые изменяли физическую картину мира, изобретая новые фундаментальные понятия, – Максвелл, Планк, Эйнштейн.

Известно кредо Эйнштейна: *«Господь изощрен, но не злонамерен»*. Его друга-атеиста Соловина беспокоило, что в подобных шутках слишком большая доля религии. На это Эйнштейн отвечал, 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 пояснил: *«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 своим разумом 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 в шуточной и серьезной форме Эйнштейн выразил двойной постулат фундаментальной науки.

### **Постулаты и предрассудки**

Во времена Эйнштейна верить в существование фундаментальных законов было легко – многие уже удалось открыть. В 16 веке не знали еще ни одного. Потому основатели новой науки нуждались в поддержке, которую и получали 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 – это утверждение, принимаемое без доказательства, но принимают его по-разному. Евклид предложил набор постулатов, чтобы из него следовали все остальные утверждения геометрии. Пример постулата: через две точки можно провести лишь одну прямую линию. Представив себе прямую в виде натянутой нити, постулат этот легко принять на основе собственного жизненного опыта. Менее очевиден другой постулат: на плоскости через точку вне данной прямой можно провести одну и только одну прямую, не пересекающуюся с первой. Многие века математики пытались этот постулат доказать, т.е. свести к другим – очевидным – постулатам. Лобачевский первым понял, что это невозможно, заменив этот постулат его отрицанием и получив логически безупречную систему утверждений. Подобные системы описывают геометрии не на плоскости, а на искривленной поверхности (например, на сфере). Иными словами, в математике неэквивалентные наборы постулатов определяют разные математические миры.

Постулат же о фундаментальном устройстве реального мира и о его познаваемости имеет совершенно иной характер. Он не следует из каких-то научных знаний или из житейского опыта. А чтобы этот постулат был крепкой опорой, в него надо «свято» верить. Так что речь идет о научном пред-рассудке, который для основателей новой науки следовал из их пред-рассудков религиозных. Лишь для носителя пред-рассудков они очевидны, поскольку усвоены незаметно, обычно в юном возрасте, из культурного окружения, подобно тому как усваивают родной язык.

Связь научных и религиозных пред-рассудков увидели в 1737 году миссионеры, принесшие в Китай и Библию и европейскую науку:

*«Мы объясняем китайцам, что Бог, создавший Вселенную из ничего, управляет ею всеобщими законами, достойными Его бесконечной мудрости, и что все творения подчиняются этим законам с изумительной точностью. Китайцы отвечают, что эти высокопарные слова не несут им никакого содержания. Законом они называют порядок, установленный законодателем, который имеет власть предписывать законы тем, кто*

*способны их исполнять, а, значит, способны их знать и понимать. Считать же, что Бог установил всеобщие законы, означает, что животные, растения и вообще все тела имеют знание об этих законах и, следовательно, наделены пониманием. А это, говорят китайцы, абсурдно».*

Абсурдно для тех, кто не верит рассказу Библии о Создателе-Законодателе Вселенной. Раз в Китае не было понятия «закон природы», то не мог и возникнуть постулат фундаментальной науки.

Когда миссионеры писали в Китае процитированный отчет, в России 26-летний Михаил Ломоносов усердно осваивал европейскую ученость. Этот сын рыбака с дальнего Севера преодолел высокие жизненные барьеры на пути к науке, но «китайского» барьера среди них не было. В России, несмотря на все ее отличия от Западной Европы, в науку точно так же шли люди из просвещенного – читающего – меньшинства, которое опиралось на те же библейские пред-рассудки, что и аналогичное меньшинство в Западной Европе. Для Ломоносова Библия была столь же важной книгой, как для Галилея и Ньютона, так же укрепляла его веру в закономерность мира и так же помогала критически смотреть на земные авторитеты, провозглашая высший авторитет Создателя-Законодателя Вселенной.

Религия действует на социальную жизнь и на культуру, разумеется, многосторонне, а влияние Библии началось задолго до 16 века, но оно резко усилилось, когда изобретение книгопечатания дало возможность лидерам Реформации провозгласить Библию единственным источником вероучения, для чего следовало переводить ее на разговорные языки. Чтобы противостоять протестантам, появились и католические переводы Библии. А религиозные дебаты о смысле библейского текста побуждали верующих к чтению новоизданной древней Книги книг. Это могло содействовать развитию науки, например, таким образом.

Будем считать, что врожденные способности к исследованию (любопытность, интеллект, воображение, целеустремленность) встречаются в разных культурах одинаково часто, точнее – одинаково редко. Однако пред-рассудки данной культуры могут помогать или мешать выявлению таких людей. Проникая в культуру, библейские постулаты о незримом Творце-Законодателе, создавшем мир для человека, свободному познавать волю и деяния Создателя, поддерживали религиозных естествоиспытателей в поиске законов Мироздания. Доступность Библии увеличивала шансы потенциального исследователя стать реальным. До книгопечатания Библию читали в ос-

новном лишь служители церкви, уже избравшие свой путь, далекий от исследования природы. Став широкодоступной и попадая в руки юным потенциальным исследователям (как Галилей и Кеплер), Библия заражала и заряжала их мощным пред-рассудком – верой в свое право на свободу познания, укрепляя их творческую смелость.

После того как физика Галилея–Ньютона триумфально оправдалась, верить в фундаментальное устройство мира и в его познаваемость стало можно и без прямой опоры на Библию. Убеждали сами триумфы. А «самоочевидный» ныне двойной постулат фундаментальной физики вместе с другими установками библейского происхождения стали общей инфраструктурой цивилизации, которую именуют 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 основой их общности.

Вклад Библии в рождение современной науки не более удивителен, чем ее вклад в развитие литературы. Культурный европеец, даже если считает себя неверующим, знаком с сюжетами Библии и с ее идеями. Принципы Европейской цивилизации, кажущиеся общечеловеческими и самоочевидными, имеют библейское происхождение, даже если ныне звучат не религиозно. Само представление об общечеловеческих ценностях не было общечеловеческим. Единство человечества, выраженное в Библии единым происхождением всех людей, 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 именно в Библейской цивилизации развилось в нынешние представления о человеке, о его достоинстве и праве на свободу, о верховенстве закона, о равенстве людей перед законом. Ставшая крылатой фраза *«Человек – это звучит гордо»* в пьесе Горького следует за такими 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!»*

Современный атеизм, или секулярный гуманизм, как мировоззрение формировался в Европе восемнадцатого века. Нынешние атеисты, свободно говоря о своих взглядах, редко осознают, что такая их свобода – свобода совести – это плод библейской цивилизации. Первыми эту свободу провозгласили глубоко религиозные люди, которые, стремясь к духовной свободе,

переселялись в Америку и, чтобы гарантировать эту свободу, отделили церковь от государства на уровне конституции.

Библейское наследие принадлежит и верующим и неверующим, а культурное расстояние между библейским теистом и библейским атеистом много меньше расстояния между различными цивилизациями. Неверующие дети Библейской цивилизации, не принимая всерьез религиозных постулатов Библии, несут в себе секулярные следствия этих постулатов – в частности, веру в познаваемую закономерность Мироздания и в золотое правило морали: *«Не делай ближнему того, что ненавистно тебе»*. Такая общность предшествовала распространению науки Галилея–Ньютона по Европе. Необходимая для новой науки внутренняя свобода роднит глубоко верующих и глубоко неверующих. Пред-рассудок свободы отличает их от непросвещенных «мелко верующих» – верящих лишь в то, что можно пощупать, считают ли те себя верующими или атеистами.

### **Пред-рассудок свободы**

Гипотеза о том, что ключевой предпосылкой Научной Революции была Библия, отвечает на вопрос Нидэма, поскольку Библия действительно выделяет пространство Европы, а широкая доступность Библии благодаря изобретению книгопечати выделяет время Научной революции.

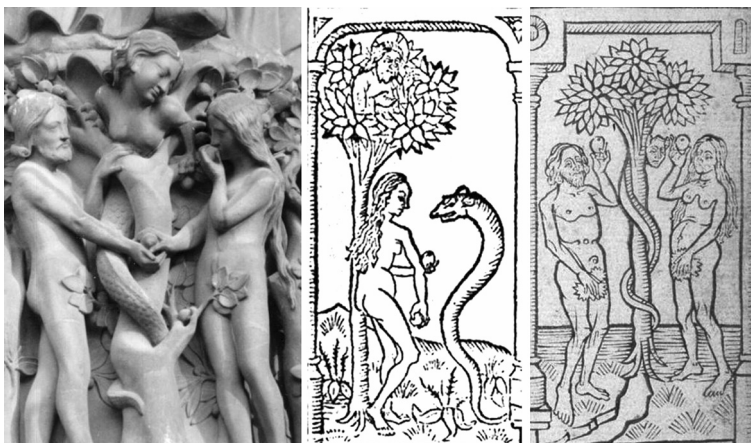
Современная физика, а вместе с ней и вся современная наука – результат добавки новых культурных «генов» к научно-философским традициям, идущим из Древней Греции. Уже греки говорили о неких неочевидных первичных элементах природы, вроде апейрона и атомов. Пифагор, открывший зависимость звука струны от ее длины, проповедовал, что «Все есть число», т.е. что основа мира – числовые соотношения. Платон учил о первичности идеальных форм в понимании материального мира. Отсюда, казалось бы, лишь шаг до поиска фундаментальных законов Вселенной, но этого шага никто не сделал за оставшиеся семь веков античной цивилизации и в Золотой век ислама.

Взгляд Платона не разделял даже его великий ученик Аристотель, которого прежде всего занимал сам реальный мир. Так что идеи Пифагора и Платона были всего лишь мнениями некоторых философов, пусть и великих. Платон подкреплял свои идеи фигурой Демиурга – «божественного мастера», создавшего реальный мир в соответствии с идеальными формами, но из материала далеко не идеального, чем и объяснялись несовершенства мира. Демиурга помещали среди Олимпийских

богов, а некоторые христианские философы приписали Платону предвидение библейского Бога-Творца. Вряд ли, однако, 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-то философа. Он не сомневался, что Бог сформировал Вселенную, сотворив и сам исходный материал. Сотворил и человека, наделив его качествами, необходимыми для познания. Разумеется, в поиске истины Галилей применял интеллектуальные инструменты великих греков: и Архимеда, которого почти боготворил, и Аристотеля, с приверженцами которого сражался, но у которого учился логике и дисциплине мышления. Он оттолкнулся от учения Аристотеля, чтобы шагнуть вперед, но оттолкнуться тоже значит опереться.

Историк, даже не веря ни в какого бога, но желая понять 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, – статус человека, подобного Создателю Вселенной своей способностью творить. Человек – не просто венец творения, сам мир создан ради человека. Первый библейский сюжет, где человек принимает решение сам, – рассказ о Древе познания – учит свободе выбора и ответственно-



*Первый опыт познания (фрагмент скульптуры из Собора Парижской Богоматери)*

сти за свой выбор. Стремление к познанию проявилось в самом первом поступке Евы, значит, стремлением этим ее наделил сам Создатель.

Именно библейский статус человека, его божественное право на свободу в познании мира, созданного для него, поднял античную рациональную традицию на новый уровень, когда возникла новая – фундаментальная – физика. Иными словами, современная наука родилась в результате скрещения двух традиций – древнегреческой и библейской.

Среди нынешних физиков есть и верующие и неверующие. Согласно опросу британского журнала *Physics World*, пятая часть его читателей считают себя атеистами и уверены, что религия несовместима с наукой. Больше половины считают, что религия и наука мирно сосуществуют, поскольку рассматривают разные стороны реальности, и эти миролюбивые физики примерно поровну называют себя верующими и неверующими. И, наконец, еще одна пятая часть, называя себя верующими, утверждают, что вера обогащает их восприятие науки. Такими были и все основатели современной физики.

Тем, кто думает, что религия несовместима с наукой, стоит иметь в виду взгляды двух физиков, хорошо знакомых с жизнью науки и 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 в 1948 году: *«XX век. Прошли и Галилей и Ньютон и Ломоносов. Такие вещи возможны только на религиозной почве. Естествознание!?»* Сам Вавилов религиозную веру давно утратил, о чем писал в дневнике. Однако, внимательно читая Галилея, Ньютона и Ломоносова, он 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 изобретательной 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 увидеть неочевидные связи эмпирических фактов. Подъем-



ную силу при этом могут дать и упомянутые Эйнштейном «религиозные инстинкты», включая пред-рассудок свободы.

Великое изобретение в науке – всегда чудо, т.есть нечто непредсказуемое, не вытекающее логически из известного, можно сказать, 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 или 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, оказалась лишь приближенной. Эйнштейн, перестроив фундамент, создал новую теорию – 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 предвкушает следующую.

Успешность таких перестроек фундамента означает, что Вселенная устроена очень дружелюбно по отношению к человеку. Она устроена проще, чем мобильный телефон. Ведь попади мобильник в руки Галилею или Ньютону, они ничего не поняли бы в его устройстве, даже приближенно, до появления электродинамики, квантовой механики и физики полупроводников. 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 такое дружелюбное устройство Вселенной? Ответ 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.

### **Атомы, физика и этика**

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:

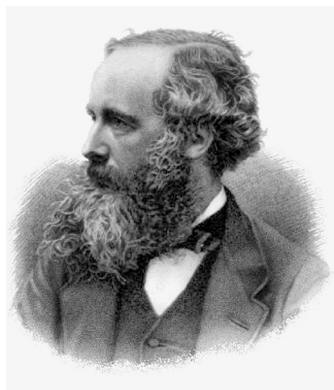
*«Здесь покоится Исаак Ньютон, который силой разума почти божественной, своими математическими методами исследовал движения и формы планет, пути комет, приливы океанов, различия световых лучей и свойства возникающих при этом цветов, о чем ранее никто не подозревал. Старательно, мудро и достоверно толкуя 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 и философ Лукреций Кар о греческом философе Эпикуре, жившим за три века до него.

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 Макс-



*Джеймс Клерк Максвелл*

Максвелла принадлежали к разным ветвям протестантизма, в детстве он бывал в обеих церквях, а совершеннолетним в Кембридже 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 – т.е. 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».*

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 «неделимых»), 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.

велл. 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 Галлей (Хэли) 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

Греческие атомисты не сумели доказать атомизм всего существующего, 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.

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 т.п. Это дало основание предположить, что суть химических реакций – соединение атомов, которые почему-то объединяются 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.

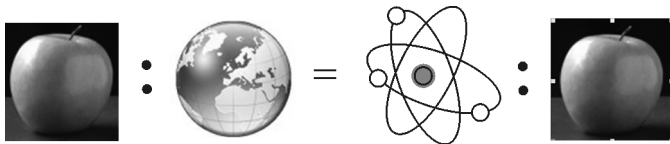
В любой порядочной игре не известен следующий ход соперника или судьбы. Но если, как советовал Фейнман, «приложить немного воображения и подумать», то в некоторых случаях можно оценить вероятности разных событий. К примеру, если в коробку с черными шарами в количестве  $Ч$  бросить  $Б$  белых шаров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

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, т.е. 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 при постоянной температуре обратно пропорционально его объему. Молекулярная гипотеза позволила объяснить все эти законы и связать такие 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 взял-



*Размер яблока так относится к размеру Земли, как размер атома относится к размеру яблока*

ся 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. 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.

Главная награда за хорошо придуманные, сделанные и обдуманные 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 штучками – песчинками. Физики, не пытаясь взять в руки отдельную штучную 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 подчеркивал, значительно развил Людвиг Больцман.

Подытоживая полученные результаты, Максвелл разделил их по степени обоснованности на три класса. Самыми надежными назвал массы молекул, выраженные в массах легчайшей 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. Таблица новых молекулярных данных, которую Максвелл показал аудитории, приведена на странице 79.

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.

		Водород	Кислород	Окись углерода	Двуокись углерода
1-й класс	Масса молекулы (водорода – 1)	1	16	14	22
	Средняя скорость (м/с) при 0 °С	1859	465	497	396
2-й класс	Длина свободного пробега ( $10^{-10}$ м)	965	560	482	379
	Число соударений в секунду ( $10^6$ )	17750	7646	9489	9720
3-й класс	Диаметр ( $10^{-10}$ м)	5,8	7,6	8,3	9,3
	Масса ( $10^{-25}$ г)	46	736	644	1012

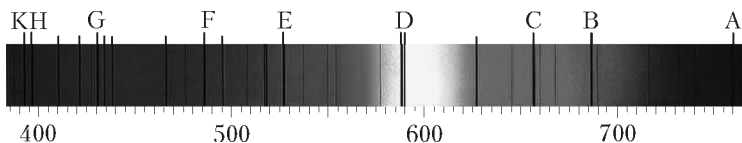
Соответствующую таблицу Максвелл также привел в своей лекции, показав, что физики, даже витая в теоретических облаках, твердо стоят на земле и что открылся реальный путь к исследованию мельчайших деталей мироздания.

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





*Темные линии Фраунгофера в сплошном спектре излучения Солнца*

радугу через перевернутую призму, вновь получил ясный солнечный свет.

Никто также не подозревал, что в ярком солнечном спектре имеются темные линии, пока их не увидел в 1814 году немецкий 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 линии в спектрах пламени – яркие, объяснили тем, что первые дают 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 так же 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. Прослеживая 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 – неясная 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.

Одна из задач науки – выяснение границ применимости ее теорий. Одну такую 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 пятнадцать 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 с 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 Дарвина вполне совмес-*

*тима с обычными религиозными верованиями – и столь же совместима с атеизмом».*

О себе Дарвин сообщил в конце жизни, что никогда не был атеистом, а свой итоговый взгляд назвал агностицизмом. Агностицизмом 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 вдувана 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 с 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 многотом-

ный «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 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 без всякой теологии. Когда Конт излагал свою позитивистскую философию, в не такой уж далекой Шотландии вступил на путь познания, в свои неполные три года, один такой естествоиспытатель. 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 проводов 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 бегают 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 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 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: Математика, Астрономия, Физика, Химия. 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 запретно 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.

Джеймс Клерк Максвелл думал иначе:

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

О том же сказал Андрей Дмитриевич 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 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 двадцать 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.

Фрэнсис Бэкон, конечно, был прав, подчеркивая наблюдательную основу естествознания. И дважды прав в ту эпоху, когда царила аристотелевская «словесная» наука. Но 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 древне-атомной подсказкой.

Следующее чудо совершил Максвелл, изобретя *электромагнитное поле*.

### **Электричество, магнетизм и электромагнетизм**

Слово *«электромагнитный»* возникло в 1820 году, за десять 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, янтаря 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. 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 движущиеся – 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 имеется 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 Ламанш, 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!

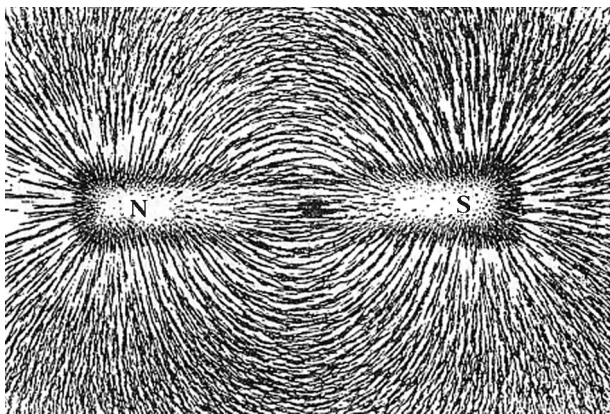
Этот триумф ньютонианства еще более упрочил идею дальнего действия. Конечно, электричество – не гравитация, но и в «электрологии» закон Кулона и закон Ампера были законами дальнего действия. Лишь среди соотечественников Ньютона нашлись такие, для кого наблюдаемые явления были важнее унаследованных идей. 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 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 теоретической «электрологии», 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 выстраиваются опилки и которые Фарадей назвал силовыми, показывают направление магнитной силы,



*Линии, вдоль которых выстраиваются железные опилки вблизи постоянного магнита, иллюстрируют силовые линии Фарадея*

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, забраковав фарадеевский язык, так и не придумали никакой иной, чтобы описать явление, не вводя гипотезы о вещах не существующих,*

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 изощренных 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 помогали 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».

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 лаконичные уравнения Максвелла в нынешних учебниках, 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 жидко-

сти. Во второй появляются в огромном количестве некие «молекулярные вихри» и две «эфирные среды», в которых происходят электромагнитные и световые явления. В третьей статье уже нет 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»*. Такими 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, хотя 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 мурлыканья 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 настроенно 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 (разумеется, с Божьей помощью) 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, т.е. распространение колебаний, и что колебания эти поперечны: происходят поперек направле-



ния 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 только 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, давало возможность проверить саму теорию, которую скептически встретили не только в Германии и Франции, где царила теория дальнего действия. Ее не принял и Уильям Томсон (лорд Кельвин), самый знаменитый тогда в Британии физик, притом расположенный к Максвеллу. Одобрав 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 немецкий физик Генрих Герц, имевший свои причины сомневаться в максвелловской 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 немецкого физика Фелдберга, показавшего, что электрическая искра, или разряд, это на самом деле очень быстрый колебательный процесс. Период колебаний определяется свойствами про-

водной цепи, как следовало из тогдашней электромагнитной (до-максвелловской) 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.

Социальная роль инженерной науки в европейской истории проявилась в «век пара», который начался в восемнадцатом веке и длился около двух столетий. 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 1856–66 годах. Научным руководителем этой работы был Томсон. 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, т.е. 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 о распространении колебаний в пространстве – электромагнитных волнах. 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, восприимчивых 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 году, усовершенствовали в Англии в 1894.

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.

### **Профессор, не желавший делать открытия**

Следующим после Максвелла, кто изобрел новое фундаментальное понятие, стал человек, этого не желавший и для этого малоподходящий, – 42-летний немецкий 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 круг имен, и гуманитарность семейного уклада предвещали скорее чинно традиционную профессорскую жизнь, чем сногсшибательное 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 двадцать лет, изучая теоретическую физику и преподавая ее студентам.

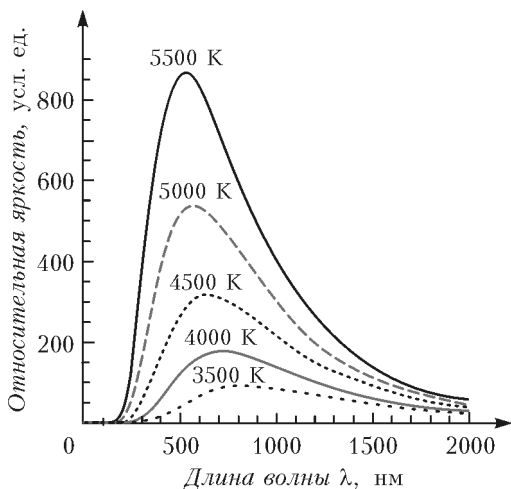
В 1894 году чинная профессорская жизнь споткнулась о проблему теплового излучения. Проблему эту, собственно, поставил перед собой сам профессор, размышляя над практической задачей – помочь электротехнической компании разработать экономичную лампу накаливания. Практическую задачу решать надо практически, 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 практичнее хорошей теории».

Теории тогда еще не было. Никто не понимал, что в точности происходит с веществом, когда оно от нагревания начинает светиться. Из наблюдений знали, что разные вещества, разогретые до одинаковой температуры, светят по-разному. На этом основан спектральный анализ, с помощью которого, например, 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 печи – с малым отверстием. Тогда излучение внутри печи 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 печи, разумеется, излучает, если печь достаточно разогрелась.

Физикам удалось доказать теоретически, что яркость такого теплового уравновешенного излучения зависит не от печи, 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, изображенным на рисунке (цвет описывается длиной волны  $\lambda$  или частотой колебаний  $\nu$ ).



Распределение яркости теплового излучения абсолютно черного тела по цветам (по длинам волн)

Самый выдающийся пример печи, излучение которой определяется аналогичной кривой, это 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 равновесии с веществом Солнца.

Важно, что спектр равновесного излучения – универсальная кривая, а значит, она 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 теплоты. Надо было сложить две теории в одну. Но как это сделать, не зная устройства вещества, не понимая, 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 Гете: *«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, описать 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  $\nu$ , он записал размер порции в виде  $E = b\nu$ , собираясь в окончательной формуле устремить  $b$  к нулю. Однако полученная им формула описывала 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 омрачало 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 неизвестно из чего. И более чем сомнительна была «порционность» энергии  $E = h\nu$ .

В физике до 1900 года все величины, включая энергию, могли принимать любые значения. 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.

### **Фото-эффектная роль $h$**

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, причем разряжается по-разному в зависимости от частоты, т.е. цвета, излучения и его интенсивности, т.е. 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  $\nu$  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. Можно было думать, что речь идет о каких-то свойствах вещества, но 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 тринадцатом году квантовой эпохи и на втором году ядерной истории.

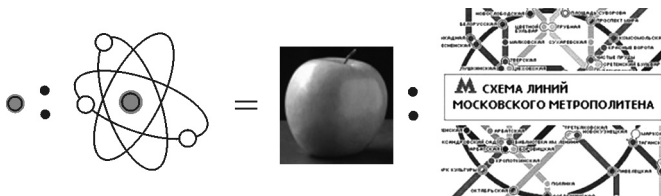
## Атом, который понял Бор

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 проникающее излучение, притом гораздо более сильное. В 1911 году, однако, появилось выражение «ядро атома».

В своем главном открытии Бор опирался на результат головокругительной 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 легко проходящие через картон, дерево и некоторые другие непрозрачные вещества. Сенсацией для физиков было то, что эти два типа излучения явно различались между собой и были непохожи на два других невидимых излучения, известных уже целый век, – инфракрасное и ультрафиолетовое. Те были открыты при внимательном изучении полоски 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, – 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



*Сравнение размеров атома и атомного ядра*

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 вращению планет 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 Иоганну Бальмеру, который еще в 1885 подобрал формулу, дающую положение некоторых спектральных линий водорода:

$$\nu = A \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $A$  – 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  $\nu$  равен разнице каких-то двух энергий:

$$h\nu = \frac{hA}{2^2} - \frac{hA}{n^2}.$$

За этим последовал очередной – в истории фундаментальной физики – взлет теоретического разума, и Бор сформулировал два постулата, управляющие «внутренними движениями атома».

1) Электрон в атоме может двигаться со скоростью  $v$  лишь по круговым орбитам с радиусом  $r$ , когда  $mvr = nh$ , где  $n$  – 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, кто усиленно пытались понять явления атомного



Нильс Бор

масштаба, как, например, Эйнштейн, вспоминая тридцать лет спустя: *«Все мои попытки изменить теоретический фундамент физики с учетом результатов Планка полностью провалились. Словно 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 1918–1922 годах за объяснения отдельных явлений: Планк – *за открытие квантов энергии*, Эйнштейн – *за объяснение фотоэффекта*, Бор – *за исследования строения атомов и их излучения*. А создатели квантовой механики – Гейзенберг, Шредингер и Дирак – получили Нобелевские премии в 1932–1933 годах.

Однако, если мерить путь не годами, а поворотами – числом поворотных идей и, значит, уровнем драматизма – прогноз Планка оправдался. Вопреки Нобелевскому комитету, Планк считал, что его главное открытие – не кванты энергии, а *квант действия*, т.е. 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 открытие закона фотоэлектрического эффекта».* Прямо не

упомянуты ни знаменитая теория относительности, опубликованная в том же 1905 году, когда был объяснен фотоэффект, ни теория гравитации, опубликованная за шесть лет до его Нобелевской премии. При том что Планк в своей нобелевской лекции упомянул обе теории 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 Сванте 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 года.

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 цели 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» ведут себя по-разному. Одни (к ним относился и 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**

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, т.е. 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 некоей 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 некоей «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 1920-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 фунда-

мента 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.

### Что = Где + Когда

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» выглядит доступным:

*«Известно, что электродинамика Максвелла в применении к движущимся телам приводит к асимметрии, несвойственной 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 о 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 задачи, 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  $v = \frac{2}{3}c$ , чего Эйнштейн не запретил. Запустил большую ракету, а потом с ее борта – малую. Спрашивается, какова итоговая скорость малой ракеты? Ответ:

$$\frac{2}{3}c + \frac{2}{3}c = \frac{4}{3}c,$$

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 Майна 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  $\frac{2}{3} + \frac{2}{3}$  может быть не равно  $\frac{4}{3}$ ? 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 °С, не получишь воду с температурой 40 °С, 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  $v = \frac{2}{3}c$ , т.е. за одну секунду пролетает примерно 200000 километров, и это измеряет физик на Земле. А физик на борту докладывает на Землю, что, согласно его измерениям, малая ракета, запущенная с борта большой, летит со скоростью  $u = \frac{2}{3}c$ . 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, т.е. 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, без 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 разнесены 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.

Таким образом, 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, надо придумать, 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.

Итак, 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 обнару-*

жить 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/с – 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 приблизительное, а точное равенство, справедливое при *любой* величине  $u$ :

$$\boxed{c[+]u = c ,}$$

т.е. превратил удивительное приблизительное 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:

$$v[+]u = \frac{v + u}{1 + \frac{vu}{c^2}} ,$$

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 в том случае, 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 равна скорости света:  $v = c$ , то общий  $c$ -закон превратится в исходное равенство в почетной рамке. А если и  $v$  и  $u$  гораздо меньше скорости света  $c$ , то – в обычное школьное понимание:

$$v[+]u \approx v + u .$$

Вернусь теперь к себе-семикласснику. Если  $v$  и  $u$  – это скорости моих ракет, каждая по  $\frac{2}{3}c$ , то итоговая скорость бортовой ракеты, измеренная земным физиком, согласно

$c$ -закону, равно

$$\frac{2}{3}c[+] \frac{2}{3}c = \frac{12}{13}c,$$

т.е. меньше скорости света, хоть и близка к ней.

С помощью того же взятого в рамках принципа Эйнштейн получил, что промежуток времени между двумя событиями, измеренный по часам ракеты, короче промежутка времени, измеренного по земным часам. Укоротится и длина движущейся ракеты, измеренная земным наблюдателем. Отношение величин

в обоих случаях равно  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ .

Насколько важен этот эффект практически? Огромная по земным меркам скорость Земли дает эффект лишь порядка одной стомиллионной, скорость электронов в атоме – 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 нежданно 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 направле-



нию, 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 – например, воздуха 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 в 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 Макс Планк. Задача прояснить электродинамику Максвелла пришлось по душе ему, классическому профессору и лишь нечаянно революционеру. Планк показал, как надо изменить законы механики, чтобы учесть новое понимание простран-

ства, 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 это отправка светового сигнала включением фонаря, а второе – прибытие этого сигнала в другом месте, отмечаемое вспышкой другого цвета. Если для наблюдателя  $A$  эти два события разделены расстоянием  $r_A$  и временем  $t_A$ , то  $r_A = ct_A$ , где  $c$  – скорость света. Для наблюдателя  $B$  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. Иными словами, получена *абсолютная* связь двух событий, одинаковая для всех наблюдателей.

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

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

т.е. 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 дойти и для любого другого наблюдателя, т.е. 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 – она положительна, отрицательна или равна нулю, но и одинаковое численное значение. Такой интервал, или *метрика*, определяет абсолютную взаимосвязь событий в пространстве-времени и основу его абсолютной хроно-геометрии.

Описанная связь пространства и времени дает новый смысл физической константе  $c$ . Называть ее скоростью света можно лишь по историческим причинам. Любые физические процессы происходят в пространстве и во времени возможно даже без участия света, в крошечной тьме. Свету просто повезло распространяться 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 малой, 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 оправдано, 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 взяли 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 без всякого восторга встретил геометрическую идею Минковского: мало ли какие фокусы делают математики с законами физики... Однако, 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 (см. страницу 60).

В данном случае эмпирически наблюдаемая реальность Э – *«неудавшиеся попытки обнаружить движение Земли относительно “светоносной среды”*». Крутым взлетом свободной интуиции Эйнштейн поднял странные результаты единичных искусственных опытов до общего аксиоматического принципа А – о неизменности скорости света. До того же уровня он поднял галилеевский принцип относительности, убрав неработающую аксиому о существовании эфира. Из двух его аксиом последовало новое понимание одновременности, «странный» закон сложения скоростей и другие утверждения У, 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. Двадцатишестилетний 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 Хендрик Лоренц (голландский физик и Нобелевский лауреат 1902 года) и Анри 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 без 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 молодой патентный эксперт.

На лаврах молодой великий физик не заснул, 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, т.е. 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, т.е. гравитационного заряда. Образованный школьник

знает, что если в закон движения

$$ma = F$$

подставить силу

$$F = G \frac{mM}{r^2},$$

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?! Движется 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 галилеевском 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  $9,8 \text{ м/с}^2$  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 обнаруживают. Эти соображения, сегодня доступные старшекласнику, 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  $m_i$  и  $m_r$ , обозначающие массу инертную и массу гравитационную. Тогда

закон свободного падения выразился бы равенством

$$m_{\text{н}} = m_{\text{т}},$$

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, т.е. 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 Урбен Леверье, прославленный открытием Нептуна. Поведение Меркурия пытались объяснить влиянием еще одной незамеченной планеты или космической пыли, но безус-



пешно. 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 Пауля 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 таким, каким был в покое. Но тогда отношение длины окружности к радиусу станет меньше  $2\pi$ , 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 не реально, 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 есть 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 геометрия, 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 Достоевским 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 2-мерном сферическом мире любые две прямые пересекаются, а отношение длины окружности к радиусу меньше  $2\pi$ .

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 3-мерной 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. Хоть 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 со своим замыслом в голове, Эйнштейн навестил студенческого друга Марселя 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, пре-*

*одолеть 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 лишь использовать 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 8-летней эпопеи по созданию теории гравитации Эйнштейн обсуждал свои проблемы с одним из крупнейших тогда математиков Давидом 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 – 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, не взирая на то, что 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

$$[R] = \frac{G}{c^2} [T],$$

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 прямейшим 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 *Physics World* среди сотни виднейших физиков, Эйнштейн и Ньютон заняли первое и второе места, при этом Эйнштейн был впереди примерно на 20%. 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

создаваемого Института 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 дальше 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 вывести 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 случаи, 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 немецкая астрономическая экспедиция уже была там, готовясь к наблюдениям, когда 1 августа началась первая мировая война. Руководителя экспедиции 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 немецких астрономов в 1914 году опровергли бы предсказание немецкого физика, а исправление предсказания в 1915 году в глазах неспециалистов-журналистов выглядело бы вынужденным.

Триумф Эйнштейна состоялся пять лет спустя, вскоре после окончания 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. Об этом 9 ноября сообщила 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 6% и предсказанной в теории Эйнштейна величины 1,7 угловых секунд (такого масштаба величина соответствует монете, разглядываемой на расстоянии одного километра). Сообщено 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 этой 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, были миллионы убитых и искалеченных. А тут британские астрономы подтверждают теорию германского физика, говорящую о пространстве, времени, лучах света от дальних звезд... Что могло лучше символизировать мирное рациональное мироустройство?

### Новый физический объект – Вселенная

В начале 1917 года Эйнштейн открыл Вселенную. Открыл, как говорится, на кончике пера. Тем же пером за год до того он записал уравнения новой теории гравитации, заменившей закон всемирного тяготения Ньютона.

Новое слово физики появилось в 10-страничной статье, 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 – самого большого – 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.

Чтобы ввести этот супер-объект в свою теорию гравитации, Эйнштейн, во-первых, предположил, что вещество Вселенной распределено равномерно, т.е. 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»*. Фактически же предположил, что средняя плотность Вселенной постоянна во времени.

Выражение «неподвижные звезды» напоминает о древней «сфере неподвижных звезд». Их неподвижность была *очевидной*, поскольку даже ближайшие 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 «*всей 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, т.е. 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 выглядит правдоподобней: действительно, скорости звезд гораздо меньше скорости света. Однако говорить-то надо не о звездах, а о туманностях-галактиках. На самом же деле Эйнштейну надо было, чтобы средняя плотность Вселенной не менялась во времени.

Что значит «надо было»? Сделанные им два предположения позволяли так упростить уравнение теории гравитации, что его можно было решить. Загвоздка, однако, была в том, что при этих предположениях уравнение 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  $\lambda$ . И получил гораздо более интересное решение, связавшее радиус сферической Вселенной  $R$  и ее плотность  $\rho$  с величиной новой константы  $\lambda$ . 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 супер-чрезвычайную малость новой кон-

станты  $\lambda$ . 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*».

Но у него тогда было уже совсем другое основание не считать свои уравнения полной и окончательной истиной.

### **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 «перепрыге» – 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  $сG$ -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 (десяток 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. Такое представление, с нынешней точки зрения, можно назвать предвзятостью и даже предрассудком. 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 появилось обращение «К физикам Германии». В нем сообщалось 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, была 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 космология Эйнштейна – лишь весьма частное решение его уравнений, 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. В этом ему помогло то, что он был не физиком, а математиком, который *«горел желанием применять математический аппарат к изучению природы»*, как сказал о нем хорошо знавший его человек.

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.

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».

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: как совместить множество космологических решений с принципиальной единственностью самой Вселенной? И, наконец, что может сказать физик о состоянии Вселенной в момент времени, когда радиус кривизны равен нулю, кроме «очевидной аналогии» с сотворением мира?

Спустя семь лет после статьи Фридмана расширение Вселенной стало экспериментальным, астрономически зафиксированным фактом, и последний вопрос – вопрос о начале Вселенной – приобрел особую остроту. После немецкого физика и русского математика следующий важный вклад в космологию сделали американские астрономы и бельгийский астрофизик.

### **Закон красного смещения**

Эта история началась с замечательного открытия, сделанного в 1908 году Генриеттой Левитт, 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. Левитт 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 она 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 не известном 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 рассто-

яния 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 картину, примерно изображенную здесь на рисунке. Пунктирная прямая означает, что скорости удаления галактик пропорциональны их удаленностям:

$$v = HD$$

и что на расстоянии 1 мегапарсек ( $\approx 3 \cdot 10^{19}$  км) галактики разлетаются со скоростью примерно 500 км/с. Иными словами, Вселенная расширяется, как и предсказывало решение Фридмана. Разделив расстояние 1 мегапарсек на скорость 500 км/с, получим, что Вселенная расширяется уже примерно два миллиарда лет. А что было в начале расширения, два миллиарда лет назад? Расстояний между

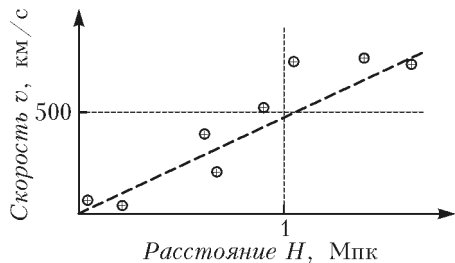


Иллюстрация расширения Вселенной, использующая наблюдательные данные о скоростях и расстояниях галактик



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 прошлого века картина была иной. Хаббл, вскоре после публикации своей статьи, разуверился в том, что закон красного смещения говорит о расширении Вселенной. Хотя 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 2 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 дальше путешествуют, тем больше теряют, а значит, согласно квантовому соотношению  $E = h\nu$ , частота фотонов уменьшается, т.е. 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.

Определился с профессией Леметр позже обычного, поскольку в его юношеские планы вторглась первая 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



*Жорж Леметр*

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 незамеченную 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»* – длинноватое 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 величину 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 правильна, 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 были одним из отправных пунктов 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, т.е. 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 сначала Эйнштейн нашел 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 началось 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 астро-математикой, 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 тогда 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 Исайи, 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 экзотической 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 зрения 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».*

Избавляя читателя от робости перед космологической зада-

чей, 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, т.е. 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.

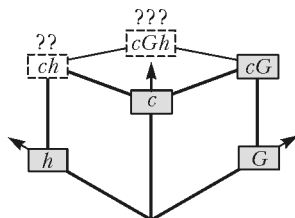
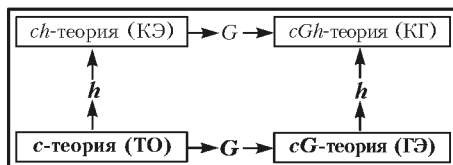
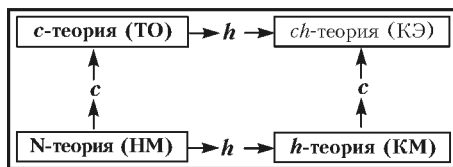
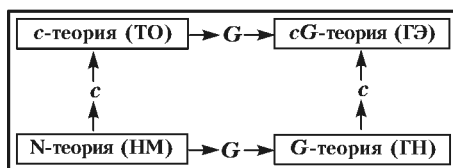
### **Три фундаментальные константы $c$ , $G$ и $h$**

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  $h$  – скорости света, гравитационной постоянной и постоянной 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.



Иллюстрация расширения Вселенной, использующая наблюдательные данные о скоростях и расстояниях галактик (из статьи М.Бронштейна 1933 года)



- N-теория (НМ) – Ньютонова механика
- G-теория (ГН) – Гравитация Ньютона
- $c$ -теория (ТО) – Теория относительности
- $cG$ -теория (ГЭ) – Гравитация Эйнштейна
- $\hbar$ -теория (КМ) – Квантовая механика
- $ch$ -теория (КЭ) – Квантовая электродинамика
- $cG\hbar$ -теория (КГ) – Квантовая гравитация.

Схемы преемственного развития и смены теорий, которые образуют  $cG\hbar$ -карту ( $cG\hbar$ -куб)

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. На приведенном рисунке (см. страницу 153) жирный шрифт и рамки соответствуют теориям, уже созданным к началу 30-х годов прошлого века. Три схемы, изображенные слева, образуют грани  $cGh$ -куба фундаментальной теории.

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 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, 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 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 Матвей

Бронштейн. Он понимал, что космология требует теорию явлений, в которых существенны и кванты и гравитация, т.е.  $cGh$ -теорию.

Главная проблема космологии радикально отличается от обычных физических 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 такой: 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 следующие каверзные вопросы. Почему радиоактивный распад, известный лишь для микро-масштабов атомного ядра, может произойти и в мега-масштабном «ядре» всей Вселенной? Как в результате подобного распада возникла наблюдаемая однородность распределения вещества во Вселенной? И, главное, какая теория управляла тем первоначальным распадом?

По мнению Бронштейна, управлять могла лишь  $cGh$ -теория. В понимание  $cGh$ -проблемы Бронштейну еще предстояло сделать важный вклад, но рассказ об этом следует начать с событий 1916 года, вскоре после рождения  $cG$ -теории, т.е. новой теории гравитации.

**Квантовая гравитация и Вселенная в 1916 и 1936 годах**

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 «перепрыге» – 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 пострадавшая им  $сГ$ -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 (десяток 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.

Такое представление, с нынешней точки зрения, можно назвать предвзятостью и даже предрассудком. Выясняя физику Вселенной, Эйнштейн следовал своему принципу делать все как можно проще, но не проще, чем надо. Однако незаметно нарушил его – переупростил Вселенную.

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 (т.е.  $h$ -теории) Гейзенберг и Паули изложили метод квантования электродинамики (т.е. построения  $ch$ -теории) и попутно 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, можно понять: если в расчетах появляется бесконечность, значит, что-то не в порядке с самой теорией.

Что именно не в порядке, обнаружил в 1935 году российский физик Матвей Бронштейн. И помогло ему то, что он смотрел на физику и космологию с  $cGh$ -точки зрения. Он обнаружил, что подойти к проблеме начала Вселенной невозможно без  $cGh$ -

теории – теории, основанной на всех трех фундаментальных константах. А размышляя о самой  $cGh$ -теории – о теории квантовой гравитации, – обнаружил «*принципиальное различие между ней и квантовой электродинамикой*». Физическая предпосылка этого различия открылась еще Галилею – в законе свободного падения. Последствия для теории квантовой гравитации не ясны до сих пор. Но Бронштейн, на основе своего анализа, предсказал, что последствия будут огромны и могут потребовать «*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 требовало смелости духа уже потому, что оно отвергало мнение Паули и Гейзенберга о том, что квантовать гравитацию не труднее чем электродинамику. Есть количественный резон смотреть скептически на саму проблему квантования гравитации: 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 нужна квантовая гравитация – прежде всего, чтобы понять самое начало расширения Вселенной и последнюю стадию гравитационного сжатия, коллапса, звезды. Рубеж, за которым необходима квантовая гравитация, определяют величины, составленные из трех фундаментальных констант  $c$ ,  $G$  и  $h$ :

$$\text{длина } l_{cGh} = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} \approx 10^{-33} \text{ см,}$$

$$\text{время } t_{cGh} = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} \approx 10^{-43} \text{ с,}$$

$$\text{плотность } \rho_{cGh} = \frac{c^5}{G^2 h} \approx 10^{94} \text{ г/см}^3.$$

Самое малое расстояние порядка  $10^{-16}$  см, доступное современной экспериментальной физике, во столько же раз больше квантово-гравитационной длины  $l_{cGh}$ , во сколько земной шар больше атома. С учетом такой пропасти, отделяющей экспери-

мент 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, объяснит устройство нашего мира и в самых малых и в самых больших масштабах.

Предсказание Бронштейна остается открытым уже три четверти века. И со временем становится все более вызывающим. Почему же он остановился на достигнутом и не нашел те самые *«лишенные наглядности понятия»*, которые, как он предвидел, заменят обычные представления о пространстве и времени?

Потому, что в 1937 году 30-летнего физика-теоретика арестовали. В тюрьме он узнал, что еще с 1930 года участвовал в «фашистской террористической организации», которая помимо прочего вредила «в области разведки недр и водного хозяйства СССР». Военная коллегия Верховного Суда заседала двадцать минут и приговорила его к расстрелу, который подлежал немедленному исполнению.

Двадцать лет имя «врага народа» М.Бронштейна не упоминалось публично, его 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 году, 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.

Можно ли думать, что Бронштейн, проживи он дольше, сумел бы найти путь к решению *cGh*-проблемы начала Вселенной? 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 – фактически были соавторами Эйнштейна, «ставшего на их плечи».

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 галилеевский 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.

Также 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.

### Три четверти века спустя

За три четверти века, прошедшие после жизни Матвея Бронштейна, очень многое произошло на Земле и добавились многие знания о Вселенной. Однако проблема начала Вселенной остается неприступной.

Сейчас каждый 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/](http://www.npr.org/13.7/) (русская десятичная запятая переводится английской точкой).

Впервые увидев это название, я захотел 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 получил почти четыре миллиона подтверждений плюс сотню тысяч уточнений:

«13.7 billion years» результатов примерно 3920000,

«13.72 billion years» результатов примерно 113000.

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, т.е. 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 рассчитает 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, т.е. 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, запол-

няющие 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 предположения. 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 Стивену 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, это «обман трудящихся». Во-первых, «точка нулевого размера» это понятие чисто математическое, а не физическое. А во-вторых, и в самых главных, вместо исчезающее 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

$$\rho_{cCh} = \frac{c^5}{G^2 h} \approx 10^{94} \text{ г/см}^3 .$$

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-границного».

На языке нынешней физики можно говорить о моменте, когда излучение в расширяющейся и остывающей Вселенной расцепилось с веществом и стало реликтовым. Можно говорить и о более ранних моментах. 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 12 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,  
но 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, хотя тамошним ученым заметить это будет не просто. Сначала 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  $180^\circ$ ! 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 знают, как описать «цветок» квантовой гравитации в физике рождения Вселенной.

Быть может, читателям этой книги удастся придумать нужные для этого новые слова науки?

## Приложение

### ДИАЛОГИ ПРОФЕССОРА ХОЛМСОНА И ДОЦЕНТА ВАТСОНА О НАУЧНОЙ КРИМИНАЛИСТИКЕ

#### Кто стрелял первым, или с-криминалистика

– Увы, ничего интересного на этот раз, – разочарованно произнес профессор Холмсон, отложив в сторону новый выпуск «Успехов физических наук».

Ватсон прочитал название журнала и изумленно воскликнул:

– Что это вы читаете?!

– Тут обзор по струнным – и весьма странным – теориям...

– Но, профессор, с каких пор вас интересуют такие вещи? Когда мы познакомились, я с удивлением обнаружил, что вы понятия не имеете о вращении Земли вокруг Солнца. А вы сказали, что стараетесь забывать ненужные сведения. И сравнили мозг с маловместительным чердаком.

– Дорогой Ватсон, заметьте, я говорил о *ненужных* сведениях. Чтобы вы лучше поняли меня, расскажу вам о деле, по поводу которого мне пришлось недавно побывать в Штатах.

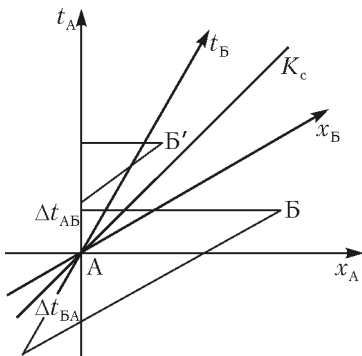
Случай, на первый взгляд, заурядный. По шоссе во встречных потоках мчались навстречу друг другу два автомобиля. Когда они сблизилась, раздались выстрелы. Завизжали тормоза, выскочившие из других машин водители подбежали к виновникам, а точнее, к виновницам происшествия. Да, Ватсон, из автомобилей извлекли два прелестных создания в облегающих джинсах – на одной алая блузка, на другой белая. В дальнейшем этих девиц я буду именовать буквами А и Б по цвету их блузок, хотя их имена – Роз Мэдлав и Роз Крэзифил – выразительнее.

Дело казалось простым. Очевидцев хватало, чтобы выяснить, кто стрелял первым. Однако половина их были уверены, что первой стреляла мисс Б, а остальные – что Б лишь ответила на выстрел А. При этом все свидетели уверяли, что между выстрелами прошло нескольких секунд. Свидетелей виновности А было больше, и следователь заподозрил их сговор с Б. Он углубился в их биографии, но ничего определенного не нашел.

Тогда меня и попросили помочь. Опросив свидетелей еще раз, я обнаружил, что все, считавшие виновной А, ехали с ней в одном направлении, а все остальные – в противоположном. Вот и все.

– Что все? – удивленно спросил Ватсон.

– Да вот, взгляните, – и Холмсон протянул Ватсону свежую газету. На первой полосе крупными буквами было напечатано: «Р.Мэдлав и Р.Крэзифил обвинены в покушении на убийство друг друга».



С помощью этого рисунка Холмсон объясняет Ватсону с-криминалистику

через время  $\Delta t_{AB}$  после выстрела А (точка В проецируется на  $t_A$  параллельно  $x_A$ ). Для свидетеля, который ехал рядом с В, как следует из теории относительности, выстрел А произошел через время  $\Delta t_{BA}$  после выстрела В (точка В проецируется на ось  $t_B$  параллельно  $x_B$ ). Таким образом, юридически оба выстрела были первыми.

– А если бы мисс В действительно выстрелила после того, как услышала выстрел, то и тогда нашелся бы свидетель, для которого А выстрелила раньше В?

– Нет, Ватсон, в этом случае выстрел В изобразился бы точкой В' внутри светового конуса, и, как легко видеть, для любого свидетеля, т.е. для любого угла осей с прямой  $K_c$  (прямые  $K_c$  образуют световой конус – все события, соответствующие приходу вспышки света из А) выстрел А предшествует выстрелу В'; меняться может только интервал времени между выстрелами.

– Да, профессор, пожалуй, Фрэнсис Бэкон был прав, утверждая, что знание – сила.

– К сожалению, в обвинении отсутствует важный пункт.

– ???

– Превышение скорости. Ведь она отличалась от скорости света лишь на какую-то стомиллионную долю.

Ватсон после паузы, явно пытаясь что-то вспомнить, довольно улыбнулся и добавил:

– Наверняка, обвинение пропустило еще один пункт: водители проскакивали красный свет светофоров. Ведь на такой скорости, благодаря эффекту Доплера, красный свет становится зеленым!

– Нет, Ватсон, это уж перебор. Вы не учли один важный, хоть и не физический факт, – на скоростном шоссе светофоров не бывает.

– Простите, Холмс, но я решительно ничего не понимаю!

– Ну, что ж, извольте, поясню. Чтобы обойтись без формул, взгляните на рисунок, который я использовал в докладе для американских юристов «Теория относительности в криминалистике». На рисунке точками А и В изображены интересующие нас события – выстрелы А и В в пространстве-времени каждой из них. Начала систем отсчета совмещены с выстрелом А. Для свидетеля, который сидел бы в машине А или ехал бы рядом с ней, выстрел В произошел

## Как попасть в пято Пуассона, или *h*-криминалистика

Доцент Ватсон, на правах друга ворвавшийся без доклада, застал профессора Холмсона играющим на скрипке. И нетерпеливо кашлянул:

– Как поживаете, профессор?

Тот вздохнул и опустил смычок:

– Скверно, Ватсон. Замучили посетители...

Не заметив шпильки, Ватсон с жаром воскликнул:

– Должен вам сказать, профессор, жизнь полна удивительных совпадений!

– Не могу с вами не согласиться. – Холмсон искоса посмотрел на друга. – Всякий раз, когда я беру в руки скрипку, приходите вы и начинаете кашлять.

– Прошу прощения, – не смутился Ватсон, – но мой случай гораздо интересней! Только вчера я вернулся из-за океана...

...где блестяще распутали замысловатое преступление, – невозмутимо продолжил Холмсон.

– О да! – довольно улыбнулся Ватсон. – Думаю, даже вам моя история покажется любопытной.

– Надеюсь, – Холмсон пошуровал кочергой в камине и, устроившись в кресле, принялся набивать трубку.

– Недавно я побывал в Сан-Франциско, на конгрессе по судебной медицине, – начал свой рассказ Ватсон. – Провел там неделю и каждый день обедал в одном и том же ресторанчике, где собиралась занятная публика, наблюдать за которой – одно удовольствие для судебного врача и криминалиста. И вот однажды я стал свидетелем такой сценки.

Трое веселых парней решили развлечься на свой американский манер: к огромной колонне, около трех футов в диаметре, прилепили с помощью жевательной резинки серебряный доллар, вытащили свои кольты и начали соревноваться в меткости. А за колонной какая-то блондинка невозмутимо потягивала коктейль, любезничая с кавалером. Для парочки такие переделки были, видно, не в новинку, да и колонна укрывала надежно. Публика тоже не обращала внимания на пальбу, и мне пришлось делать вид, будто ничего особенного не происходит. Но тут блондинка за колонной вскрикнула и стала сползать под столик; ее светлое платье обогрилось кровью. Как из-под земли появились полицейские, схватили парней, а я поспешил на помощь пострадавшей. К счастью, она оказалась всего лишь в обмороке: пуля разбила ее бокал, содержимое которого и приняли сначала за кровь. А когда девица очнулась, выяснилось, что один из стрелявших парней – Том Найс – был отвергнутым ее поклонником.

– Простите, Ватсон, – Холмсон подложил полено в угасающий камин, – так в чем же, собственно, сложность этого... происшествия?



– Полиция совершенно растерялась, и если бы не я... Парни, что развлекались стрельбой, по их словам, знать не знали, кто находится за колонной. И напирала на то, что при всем желании не могли подстрелить эту пташку, даже рикошетом. И если бы не я, полиция отпустила бы с миром всю эту бандитскую компанию...

– И что же вы, дорогой Ватсон? – полюбопытствовал Холмсон.

– Дорогой Профессор! – торжественно произнес Ватсон. – С тех пор как вы показали мне, что физика может пригодиться в криминалистике, я добавил ее к моему арсеналу. При этом еще и получил массу удовольствия, знакомясь с ее историей... Тем более что история физики не требует особых знаний математики... Да, так на чем я остановился? На том, что полицейские уже было собрались отпустить Тома Найса и его дружков, как вдруг я вспомнил о пятне Пуассона, что позволило предъявить задержанному обвинение в покушении на убийство!

– А где же, Ватсон, «удивительные совпадения»?

– Ну разве не удивительно то, что как раз накануне вечером я читал книгу по истории оптики, где, кроме прочего, рассказана история о пятне Пуассона?!

– Напомните, пожалуйста, и мне, – попросил знаменитый сыщик, – что это за пятно.

– Неужели вы не знаете?! – изумился Ватсон.

– Дорогой друг, – улыбнулся Холмсон, – вы уже не раз объясняли мне довольно простые вещи. Устраните же и этот пробел в моем образовании.

Ватсон прокашлялся:

– Когда в физике еще царила корпускулярная теория света, Френель выдвинул идею, что свет это волны. Великий Пуассон, ознакомившись с этой работой, ехидно заметил: «Если дело обстоит так, как утверждает месье Френель, то в центре тени, которую отбрасывает на экран непрозрачный диск, должно быть светлое пятно. Абсурд!» Однако опыт провели, и... в центре тени нашли крохотное светлое пятнышко! Его-то и назвали пятном Пуассона.

– Занятно, – сказал Холмсон. – Не знал, что эта штука так называется. Но какое, собственно, отношение имеет эта история к той стрельбе?

Ватсон снисходительно улыбнулся:

– Дорогой профессор, согласно квантовой теории не только свет, но любое тело обладает волновыми свойствами. Пули также подвластны эффекту Пуассона. И преступнику это было известно, – он сознался, что читал научно-популярные книжки. Стреляя в колонну, Том Найс рассчитывал попасть в центр «тени» и прикончить блондинку, имея бесспорное алиби. Он не сомневался в научном невежестве полицейских. И это ему удалось бы, если бы не ваш покорный слуга...

– Bravo, Ватсон. Однако, – вздохнул профессор, – вашей версии не хватает пары чисел.

– ???

– Пули, говорите вы, подвластны эффекту Пуассона? Но давайте прикинем, какова сила этой власти...

И после небольшой паузы профессор подытожил:

– Что-то вроде десяти в минус тридцать четвертой степени.

– Ради бога, профессор! – голос Ватсона дрогнул. – Что это значит?

– Это значит, что для осуществления предположенного замысла bravому парню понадобилось бы палить в колонну без отдыха на протяжении десяти... э... в двадцать седьмой степени лет. Другими словами, в миллиарды миллиардов раз дольше, чем существует наша Вселенная. Полагаю, что за это время он придумал бы что-нибудь поостроумней. Да и колонна рухнула бы за это время от усталости.

– Профессор, умоляю!.. Откуда эти миллиарды миллиардов?!

– Во-первых, дорогой Ватсон, еще Галилей понял, что книга Природы написана на языке математики. Во-вторых, действительно, будь свет старинными корпускулами, тень от круглого предмета была бы идеально темным кругом. А согласно волновой теории эта идеальная тень «портится» из-за дифракции. Светло в тех местах экрана, куда световые волны, идущие по разным путям, приходят в фазе. Центр тени – как раз такое место. Но размер этого светлого пятнышка пропорционален длине волны. А для пули длина волны де Бройля – которую вы, вероятно, имели в виду, – равна очень малой константе Планка, деленной на ощутимую величину массы пули и на ее большую скорость. Так что пятно Пуассона для пуль чрезвычайно мало, если даже забыть о некогерентности источника «пулевых волн». Соответственно мала и вероятность попадания пули в центр тени.

– Но... Пусть вероятность и мала, но все же... не равна нулю! И ведь убийце могло повезти?! – отчаянно предположил Ватсон.

– Теоретически не исключено. Однако наша Вселенная слишком молода, чтобы обеспечить подобное везенье, – невозмутимо заметил Холмсон.

– А как же разбитый бокал? – не сдавался Ватсон.

– Холмсон неторопливо поднялся с кресла, положил трубку на каминную полку и снова взял в руки скрипку.

– Готов побиться об заклад, – улыбнулся он, – что среди посетителей ресторана была еще одна девица – скорей всего, брюнетка. И сгорала от ревности. А блондинка стояла на ее пути...

– Я понял! – воскликнул Ватсон. – Брюнетка, которой колонна не мешала, под шум чужой пальбы незаметно выстрелила в соперницу...!?

Вздохнув, профессор прижал подбородком скрипку.

– ... но промахнулась, и в суматохе скрылась, – воодушевленно продолжал Ватсон.

В ответ ему зазвучала прелюдия си-бемоль минор с ее переплетением двух тем. Ватсону почудилось, что это сама наука высоким чистым голосом воспевает свою историю, а та задает ей вопросы о прошлом и будущем...

### **Предел Бремермана, или *cGh*-криминалистика**

– У научной криминалистики появился сильный соперник, – мрачно сказал Ватсон, входя в комнату, – научная преступность. Сегодня, из статьи о квантовой теории информации, понял, что беспредельная мощь науки несет миру опасностей не меньше, чем благодеяний.

– Да, я слышал, что у палки как правило два конца, – профессор Холмсон, похоже, был настроен скептически. – А о беспредельности неплохо сказал Эйнштейн: «Лишь две вещи беспредельны: Вселенная и человеческая глупость», и оговорился, что не вполне уверен в первом.

– При всем почтении к Эйнштейну, в вопросах квантовой информации его мнение не столь существенно. Ведь он так и не принял квантовую теорию!...

– Важнее то, что он сделал для ее создания. И что выяснил один из пределов науки – скорость света. Кстати, не первый предел в истории науки. Раньше обнаружили невозможность вечного двигателя, то бишь – закон сохранения энергии. А затем и невозможность вечного двигателя второго рода, т.е. полного преобразования тепловой энергии в работу. Так что невозможность догнать и перегнать свет – это третье свидетельство мощи науки в обнаружении своих пределов.

– В физике компьютеров пределов не видно. Согласно закону Мура–Хауса скорость компьютера удваивается каждые полтора года. Квантовые же компьютеры наверняка ускорят темп прогресса. И в результате... у хакеров окажутся еще более мощные отмычки к секретным замкам интернета.

– Закон Мура–Хауса?

– Как я понял из статьи, это не очень-то и закон, а наблюдение за развитием компьютерной техники, но наблюдение уже 40-летнее.

– А в статье не сказано о пределе Бремермана?

– Никаких пределов. А что это и кто это? Физик?

– Вы не слышали про Бремермана, я не слышал про вашего Мура–Хауса. И это в век информации!

– Мур и Хаус – это два человека, основатель и сотрудник корпорации «Интел», главного производителя компьютерных мозгов.

– А Бремерман – это один человек, но в трех лицах: математик, переключившись на биологию, свой самый знаменитый результат – упомянутый предел – получил, опираясь на физику. Если верить ему,

никакая реальная система обработки информации не может делать более чем  $10^{47}$  операций в секунду на грамм массы системы. А  $10^{47}$  – это скорость света в квадрате, деленная на постоянную Планка:  $c^2/h$ . Гигантская, кажется, величина. Но ничтожная по сравнению, скажем, с числом вариантов черно-белой мозаики в квадрате  $20 \times 20$  элементов. Это более чем стозначное число, и чтобы перебрать все эти варианты, предельно-быстрому компьютеру с массой, равной массе Земли, потребовалось бы время, гораздо большее возраста Вселенной.

– Математик стал биологом, а получил результат в физике?! И такой простой... комбинация из двух букв... Странно...

– Не менее странно, что ваша статья о компьютерах промолчала об этом пределе. Но, должен сказать, это не просто странность одной статьи. Впервые узнав о пределе Бремермана, я захотел уточнить, как эта простая формула получается, и обнаружил странный статус этого результата в научной литературе. Бремерман опубликовал его в начале 1960-х годов. Результат сразу же был принят одним из основоположников кибернетики – Эшби. Однако ныне, полвека спустя, предел Бремермана оказался в странном состоянии. Он присутствует в научных текстах разного уровня от солидных монографий до популярных статей и Википедии, но и отсутствует в не менее солидных книгах и статьях. Отсутствует и в Британской энциклопедии. При этом не удалось мне найти и сомнений в самом результате, не говоря о его опровержении.

– Для начала, профессор, объясните, пожалуйста, одну простую вещь. Если я правильно понимаю, информация – величина не физическая, а математическая. Когда какое-то сообщение кодируется или декодируется, речь идет о буквах и символах, но не о физических телах или их движениях. Так при чем же масса, скорость света и постоянная Планка?

– Заметьте, Ватсон, Бремерман говорил не о самой информации, а о ее обработке – точнее, о скорости этой обработки. Этот процесс происходит в какой-то материальной системе технического или биологического происхождения – в компьютере или в живом существе, которые подчиняются законам физики.

– ...но также ведь и химии или нейрофизиологии?

– Конечно. А еще есть и свойства данной инженерной конструкции, если говорить о компьютере. Но Бремерман задался вопросом о *максимально возможной скорости, ограниченной лишь самыми общими законами физики*. Учет других законов и свойств компьютера может лишь уменьшить этот предел, если он, конечно, существует. Ведь законы химии и техники не нарушают законы физики.

– Логично. А неужели такая простая формула Бремермана – это результат длинных и сложных рассуждений?

– Вовсе нет. Можно сказать, в две строчки. Первая, самая знаменитая, формула физики

$$E = mc^2 ,$$

согласно теории относительности, это – максимальная энергия, какой может распоряжаться система массой  $m$ . А вторая строчка – формула квантовой теории, одно из соотношений неопределенностей:

$$\Delta t \cdot \Delta E > h .$$

Подставляя вместо  $\Delta E$  максимальную энергию  $E = mc^2$ , получаем минимальное время одной операции:

$$\Delta t_{\text{В}} = \frac{h}{mc^2} = 10^{-47} \frac{1}{m} ,$$

если время выражено в секундах, а масса – в граммах. Обратная величина этого времени

$$\frac{1}{\Delta t_{\text{В}}} = \left( \frac{c^2}{h} \right) m = 10^{47} m \text{ операций в секунду}$$

и есть предельная скорость компьютера, согласно Бремерману. Так что все элементарно, дорогой Ватсон.

– Действительно... Если не считать соотношения неопределенностей.

– Вы хотите сказать, что равенство  $E = mc^2$  вам совершенно ясно?

– По крайней мере, как-то привычно.

– На эту тему имеется микро-комикс, где перед задумчивым Эйнштейном на доске написаны три формулы

$$E = mc, \quad E = mc^2 \text{ и } E = mc^3 ,$$

Каждый образованный зритель недоумевает: «Чего он думает?! Ведь совершенно ясно, какая – правильная».

– Тем удивительнее, что о пределе Бремермана молчит Британника! Есть ли у вас какое-то объяснение этому?

– Объяснения нет, но будь я во главе Британники, я бы поместил статью о предельной скорости компьютера, где объяснил бы, почему изящная формула Бремермана ... уязвима.

– Как?! Вы же только что воспроизвели его элементарно-простой вывод?!

– Говорят, все гениальное просто, но никто еще не сказал, что все простое правильно.

Когда я впервые познакомился с пределом Бремермана, сделанном из двух фундаментальных констант, я спросил: «А где же третья?» Вы, Ватсон, полагаю, знаете, что в нынешней физике гравитационная константа  $G$  имеет столь же фундаментальный статус, как скорость

света  $c$  и постоянная Планка  $h$ . Все эти три константы – и только они – участвуют в теоретическом описании любого физического явления. И если иногда можно пренебречь какими-то из них, то лишь по соображениям практическим, когда не требуется высокая точность. Лишь эти три константы участвуют в формулировках самых общих на сегодняшний день физических теориях – теории относительности, квантовой теории и теории гравитации.

Поэтому я и заподозрил, что Бремерман недооценил константу  $G$ . Подозрения, разумеется, не достаточно. Если он ошибся, надо понять, где. И я, кажется, понял. Используя формулу  $E = mc^2$ , он фактически привлек теорию относительности, в которой скорость света  $c$  – максимальна. Но при этом охарактеризовал компьютер лишь одним параметром – массой  $m$ , пренебрегая, всеми другими, начиная с его характерного линейного размера  $L$ . На это он имел бы право, если бы рассматривал интервалы, много большие времени  $L/c$ , за которое свет пролетает расстояние  $L$ . В противном случае следует ограничить время одной операции  $\Delta t > L/c$ . Предельный компьютер делает свои компьютерные операции «всем своим телом» – иначе лишние части тела можно удалить. Значит, условие

$$\Delta t > \frac{L}{c}$$

следует добавить к квантовому условию

$$\Delta t > \frac{h}{\Delta E}$$

и следствию теории относительности

$$\Delta E < mc^2 .$$

Эти три неравенства привели бы к пределу Бремермана

$$\Delta t > \Delta t_B = \frac{h}{mc^2} ,$$

если можно было бы выбирать  $L$  достаточно малой:  $L < h/(mc)$ . Однако полной свободы в выборе величин  $L$  и  $m$  нет, поскольку существует гравитация, и здесь на сцену выходит третья универсальная константа – гравитационная константа  $G$ . Чтобы компьютер не превратился в черную дыру и не исчез за горизонтом событий, должно выполняться условие  $L > Gm/c^2$ . В результате получаем минимальное время операции:

$$\Delta t_{\min} = \sqrt{\frac{Gh}{c^5}} \approx 10^{-43} \text{ с} ,$$

или максимальное быстроедействие компьютера:

$$\frac{1}{\Delta t_{\min}} = 10^{43} \text{ операций в секунду.}$$

При этом  $\Delta t_{\min}$  совпадает с известным квантово-гравитационным  $cGh$ -пределом  $\Delta t_{cGh}$ , за которым существующие физические теории не пригодны и требуется теория квантовой гравитации. Теорию эту ищут уже почти 100 лет, начиная с самого Эйнштейна.

И обратите внимание, Ватсон, предел этот уже не зависит от массы компьютера. Так что никак не поможет увеличение этой массы до массы Земли. Единственное – и немаловажное – обстоятельство состоит в том, что создание квантовой теории гравитации может изменить физику непредсказуемым образом. И тогда придется заново рассмотреть вопрос о предельном быстродействии компьютера. Но в любом случае это будет не предел Бремермана.

– Теперь понятно, почему о нем умалчивает Британская энциклопедия.

– Вряд ли поэтому, дорогой Ватсон. Иначе, там написали бы о  $cGh$ -пределе, заодно воздав должное Бремерману за саму постановку вопроса: ***Ограничивают ли физические законы быстродействие любой системы последовательной обработки информации?*** Не только криминалисты знают, что задать хороший вопрос бывает важнее, чем дать на него ответ.

– Быть может, рано писать о квантовой гравитации, о которой ничего не известно? И, вероятно, саму величину  $cGh$ -предела невозможно объяснить простыми словами?

– Квантовой гравитации посвящено более сотни книг и многие тысячи статей, а величину  $cGh$ -предела можно объяснить школьнику.

– Тогда объясните, пожалуйста, и мне.

– Извольте.

Сделаем мысленный физический прибор – две одинаковые массы  $m$ , связанные взаимным гравитационным притяжением, движущиеся по окружности и разделенные ее диаметром  $d$ . Астроном назвал бы это «двойной звездой», физик – «молекулой гравития». Подчинив эту систему классической механике и квантовому постулату Бора, выясним, при каких значениях параметров  $m$  и  $d$  теоретическое описание системы подойдет к границе своей применимости.

Ньютонов закон движения  $ma = F$  при подстановке в него центростремительного ускорения  $a = v^2/r$  и силы тяготения  $F = Gm^2/d^2$  даст

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{Gm^2}{d^2}.$$

Добавим к этому квантовый постулат Бора (с точностью до двойки и  $\pi$ )

$$mvr = nh.$$

Эта система из двух уравнений собственно и есть наш теоретический прибор. А его теория подойдет к границе своей применимости, когда скорость  $v$  приблизится к скорости света  $c$ , а целое число  $n$  примет

наименьшее значение  $n = 1$ . Полагая в наших уравнениях  $v = c$  и  $n = 1$ , легко получить, что  $cGh$ -теория необходима при  $d_{cGh} = \sqrt{Gh/c^3} \approx \approx 10^{-33}$  см, когда время одного оборота – уже знакомая вам  $cGh$ -величина  $\sqrt{Gh/c^5} = 10^{-43}$  с.

Ну разве это не элементарно, Ватсон?

– Действительно. Но как же тогда объяснить странное общественное положение всего этого вопроса?!

– А вот на этот вопрос у меня, дорогой Ватсон, ответа пока нет. Надеюсь на вашу помощь, – сказал профессор Холмсон и поднял скрипку, которую уже давно взял в руки.

Резкое стаккато Ватсон готов был назвать фугой XXI века, но признался себе, что в этой фуге не понимает ни фи́га.



## Магазин «Математическая книга»

Книги издательства МЦНМО можно приобрести в магазине «Математическая книга» в Москве по адресу: Б. Власьевский пер., д. 11; тел. (495) 745-80-31; [biblio.mccme.ru](http://biblio.mccme.ru)

Книга — почтой: [biblio.mccme.ru/shop/order](http://biblio.mccme.ru/shop/order)

Книги в электронном виде: [www.litres.ru/mcnmo](http://www.litres.ru/mcnmo)

### Мы сотрудничаем с интернет-магазинами

- Книготорговая компания «Абрис»; тел. (495) 229-67-59, (812) 327-04-50; [www.umlit.ru](http://www.umlit.ru), [www.textbook.ru](http://www.textbook.ru), [абрис.рф](http://абрис.рф)
- Интернет-магазин «Книга.ру»; тел. (495) 744-09-09; [www.kniga.ru](http://www.kniga.ru)

### Наши партнеры в Москве и Подмосковье

- Московский Дом Книги и его филиалы (работает интернет-магазин); тел. (495) 789-35-91; [www.mdk-arbat.ru](http://www.mdk-arbat.ru)
- Магазин «Молодая Гвардия» (работает интернет-магазин): ул. Б. Полянка, д. 28; тел. (499) 238-50-01, (495) 780-33-70; [www.bookmg.ru](http://www.bookmg.ru)
- Магазин «Библио-Глобус» (работает интернет-магазин): ул. Мясницкая, д. 6/3, стр. 1; тел. (495) 781-19-00; [www.biblio-globus.ru](http://www.biblio-globus.ru)
- Спорткомплекс «Олимпийский», 5-й этаж, точка 62; тел. (903) 970-34-46
- Сеть киосков «Аргумент» в МГУ; тел. (495) 939-21-76, (495) 939-22-06; [www.arg.ru](http://www.arg.ru)
- Сеть магазинов «Мир школьника» (работает интернет-магазин); тел. (495) 715-31-36, (495) 715-59-63, (499) 182-67-07, (499) 179-57-17; [www.uchebnik.com](http://www.uchebnik.com)
- Сеть магазинов «Шаг к пятёрке»; тел. (495) 728-33-09, (495) 346-00-10; [www.shkolkniga.ru](http://www.shkolkniga.ru)
- Издательская группа URSS, Нахимовский проспект, д. 56, Выставочный зал «Науку — Всем», тел. (499) 724-25-45, [www.urss.ru](http://www.urss.ru)
- Книжный магазин издательского дома «Интеллект» в г. Долгопрудный: МФТИ (новый корпус); тел. (495) 408-73-55

### Наши партнеры в Санкт-Петербурге

- Санкт-Петербургский Дом книги: Невский пр-т, д. 62; тел. (812) 314-58-88
- Магазин «Мир науки и медицины»: Литейный пр-т, д. 64; тел. (812) 273-50-12
- Магазин «Новая техническая книга»: Измайловский пр-т, д. 29; тел. (812) 251-41-10
- Информационно-книготорговый центр «Академическая литература»: Васильевский остров, Менделеевская линия, д. 5
- Киоск в здании физического факультета СПбГУ в Петергофе; тел. (812) 328-96-91, (812) 329-24-70, (812) 329-24-71
- Издательство «Петроглиф»: Фарфоровская, 18, к. 1; тел. (812) 560-05-98, (812) 943-80-76; [k\\_i@bk.ru](mailto:k_i@bk.ru)
- Сеть магазинов «Учебная литература»; тел. (812) 746-82-42, тел. (812) 764-94-88, тел. (812) 235-73-88 (доб. 223)

### Наши партнеры в Челябинске

- Магазин «Библио-Глобус», ул. Молдавская, д. 16, [www.biblio-globus.ru](http://www.biblio-globus.ru)

### Наши партнеры в Украине

- Александр Елисаветский. Рассылка книг наложенным платежом по Украине: тел. 067-136-37-35; [df-al-el@bk.ru](mailto:df-al-el@bk.ru)