

ВЫПУСК

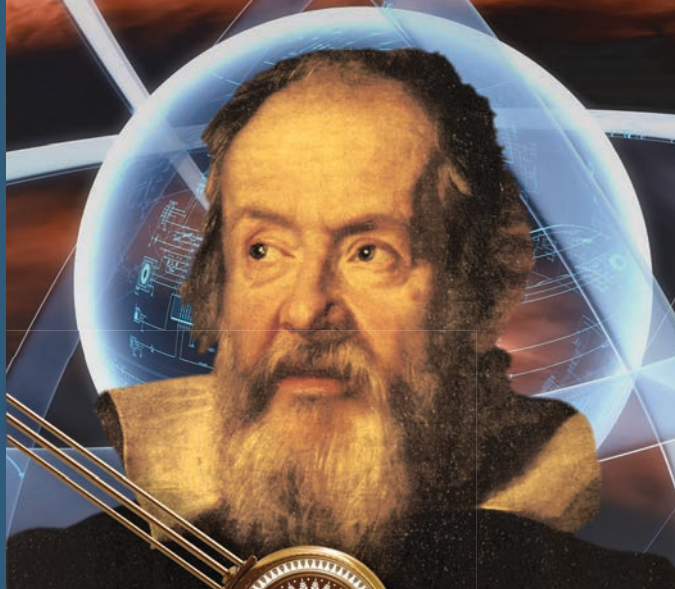
127

Библиотечка КВАНТ



Г.Е. ГОРЕЛИК

НОВЫЕ СЛОВА НАУКИ —
ОТ МАЯТНИКА ГАЛИЛЕЯ
ДО КВАНТОВОЙ
ГРАВИТАЦИИ



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
Глава 1. КАК ГАЛИЛЕЙ ИЗОБРЕЛ СОВРЕМЕННУЮ ФИЗИКУ	
С Архимедом против Аристотеля	6
Как Галилей повернул ход истории	10
Первый современный физик?	15
Глава 2. ПЕРВЫЙ АСТРОФИЗИК ВО ВСЕЛЕННОЙ	
Астрономические картины	17
Астрофизика, астрономия и астрология	22
Рождение экспериментальной астрофизики	27
Вера и знание	33
Скорость света – первая фундаментальная константа	36
Глава 3. ГРАВИТАЦИЯ – ПЕРВАЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ СИЛА	
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
Глава 4. ЗАГАДКА РОЖДЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ	
Вопрос Нидэма	58
Физика современная и физика фундаментальная	60
Источник веры в фундаментальную закономерность мира	63
Постулаты и предрассудки	65
Пред-рассудок свободы	69
Глава 5. ПЕРВАЯ И ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ	
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

Глава 6. НАЧАЛО КВАНТОВОЙ ЭПОХИ

Профессор, не желавший делать открытия	99
Фото-эффектная роль h	103
Атом, который понял Бор	105
Драма квантовых идей	108
Новая вероятность	111

Глава 7. ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ ЭЙНШТЕЙНА

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

Глава 8. ОТКРЫТИЕ ВСЕЛЕННОЙ

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

Глава 9. НАЧАЛО ВСЕЛЕННОЙ И cGh -ФИЗИКА

Квантовая гравитация и Вселенная в 1916 и 1936 годах	156
Три четверти века спустя	160

Приложение. ДИАЛОГИ ПРОФЕССОРА ХОЛМСОНА И ДОЦЕНТА ВАТСОНА О НАУЧНОЙ КРИМИНАЛИС- ТИКЕ

Кто стрелял первым, или c -криминалистика	165
Как попасть в пятно Пуассона, или h -криминалистика	167
Предел Бремермана, или cGh -криминалистика	170

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 взялись за его выводы – проверять, уточнять, исправлять, развивать – практически сразу. Что же он такое изобрел, если темп науки так ускорился?

Сомнения возникли у Галилея еще в студенческие годы. 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 устроила форма изделия, и весила корона сколько полагалось, но не заменил ли ювелир часть золота на серебро? С этим сомнением царь обратился к Архимеду. Согласно преданию, решение задачи пришло к ученому мужу, когда он погружался в ванну, и его радостное восклицание «Эврика!» известно ныне даже тем, кто не знает, что по-гречески оно значит «Нашел!» Суть найденного решения, по мнению Галилея, – сравнить корону и равный ей по весу слиток золота, положив их на чаши весов, погруженных в воду: если в воде слиток перевесит корону, значит, ювелир сжульничал.

Так действует великий закон Архимеда, точнее – архимедова выталкивающая сила, еще точнее – различие в выталкивающих силах. А чтобы с ювелирной точностью измерять такое различие (и заодно честность ювелиров), 22-летний Галилей придумал особые весы со шкалой в виде проволоки, ровно намотанной кольцами на плечо коромысла. Место, в котором надо прицепить чашу весов, чтобы она уравновесилась, 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 физiku 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 напрямую не получится – слишком быстро оно происходит. Если шар падает с небольшой высоты, не успеваешь глазом моргнуть, не то что измерить. А падая с большой высоты, шар наберет большую скорость, и, значит, увеличится сопротивление воздуха. Всякий, державший в руках веер, знает: чем быстрее им махать, тем труднее.

Галилей придумал два способа «замедлить» свободное падение.

Один – пускать шары по наклонной плоскости. Чем меньше угол наклона, тем движение более растянуто и тем легче его изучать. Но можно ли скатывание назвать свободным падением? Назвать можно как угодно. Важнее реальное физическое родство. Чем глаже плоскость, тем свободнее движение. А чем больше угол наклона, тем движение больше похоже на падение, становясь обычным падением, когда плоскость станет вертикальной. Прodelывая такие опыты с наклонной плоскостью, Галилей первым делом убедился, насколько неверной была его исходная гипотеза. Ведь он предполагал, что всякое тело падает с некой постоянной быстротой, подразумевая, что мера быстроты – это расстояние, проходимое за единицу времени. Так он мог думать лишь потому, что обычное свободное падение длится слишком недолго. Растянув падение в движение по пологой наклонной плоскости, легче заметить, что в начале движения тело движется медленнее, чем в конце. Значит, быстрота движения увеличивается?

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

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

Наблюдая сразу за двумя маятниками, он убедительно подтвердил свое церковное наблюдение. Если взять два одинаковых маятника, слегка отклонить 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 – Сагредо – 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 девяносто 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 «Апполон-15» астронавт Дэйв Скотт, находясь на поверхности Луны, выпустил из рук молоток и перышко, и те прилунились одновременно – в полном согласии с законом Галилея, поскольку там нет воздуха. Репортаж об этом лунном эксперименте занял всего 40 секунд:

«Итак, в левой руке у меня перышко, а в правой – молоток. Одна из причин, почему мы попали сюда, связана с джентльменом по имени Галилей, который давным-давно сделал важное открытие о падении тел в гравитационных полях. Мы подумали, что показать вам его открытие лучше всего на Луне. Сейчас я выпускаю 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 некой малой сфере под названием «эпицикл» с центром, прикрепленным к своей большой небесной сфере. Так что каждая планета участвует сразу в двух вращениях. Все большие и малые сферы абсолютно прозрачны и каким-то образом не мешают друг другу.

Причины этих хитрых расположений и вращений заменяли ссылкой на Аристотеля, согласно которому небесные явления принципиально отличаются от земных: на небе все сделано из 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 птолемеевой, 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