ДВА РАССКАЗА О ГАЛИЛЕЕ

1. Открытие законов движения

> Первые основы динамики были заложены Галилеем. Действие сил до него рассматривали исключительно в случае их равновесия; и хотя ускоренное движение свободно падающих тел и криволинейное движение брошенных тел также приписывали постоянно действующей силе тяжести, но никому не удалось установить законов указанного обыденного явления, зависящего от столь простой причины. Галилей первый сделал этот шаг и открыл новую и безграничную область для развития механики. Это открытие ⟨...⟩ составляет теперь наиболее значительную и непререкаемую часть заслуг этого великого человека. В самом деле, чтобы открыть спутники Юпитера, фазы Венеры, солнечные пятна и т. д., требуется не только телескоп и наблюдательность, но нужен исключительный гений, чтобы установить законы природы на явлениях, которые всегда были у всех перед глазами и тем не менее ускользали от внимания философов.
>
> *Лагранж*

Пролог. Винченцо Галилей, известный во Флоренции музыкант, долго размышлял над тем, какое поприще выбрать для своего старшего сына Галилео. Сын, безусловно, был способен к музыке, но отец предпочитал что-нибудь более надежное. В 1581 г., когда Галилео исполнилось семнадцать лет, чаша весов склонилась в сторону медицины. Винченцо понимал, что расходы по обучению будут велики, зато будущее сына будет обеспечено. Местом обучения был выбран Пизанский университет, быть может, несколько провинциальный, но хорошо знакомый Винченцо. Он долго жил в Пизе, там же родился Галилео.

Путь к профессии врача был нелегок. Перед тем как приступить к изучению медицины, надо было выучить, а точнее —

Галилео Галилей

вызубрить философию Аристотеля. В его учении говорится буквально обо всем. По мнению Галилея, «нет, кажется, ни одного достойного внимания явления, мимо которого он (Аристотель) прошел бы, не коснувшись его». Философия Аристотеля в то время преподавалась в чудовищной форме: в виде набора высказываний, считавшихся истинами в последней инстанции, лишенных мотивировок и доказательств. О несогласии с Аристотелем не могло быть и речи.

Более всего интересует Галилея то, что пишет Аристотель о физике окружающего мира, но он не хочет слепо верить каждому слову великого философа; он усвоил это, изучая его логику: «Сам Аристотель научил меня удовлетворять свой разум только тем, в чем убеждают меня рассуждения, а не только авторитет учителя». Он читает и других авторов, среди которых наибольшее впечатление на него производят Архимед и Евклид.

Тайны движения. Из всего, что происходит в окружающем мире, наибольший интерес Галилея вызывали разнообразные движения. Он по крупицам собирает все, что написано о движении у древних, но с сожалением констатирует: «В природе нет ничего древнее движения, но именно относительно него написано весьма мало значительного». А вопросы возникают у пытливого юноши на каждом шагу...

«В 1583 г., имея около двадцати лет от роду, Галилей находился в Пизе, где, следуя совету отца, изучал философию и медицину. Однажды, находясь в соборе этого города, он, со свойственной ему любознательностью и смекалкой, решил наблюдать за движением люстры, подвешенной к самому верху, — не окажется ли продолжительность ее размахов, как вдоль больших дуг, так и вдоль средних и малых, одинаковой; ибо ему казалось, что продолжительность прохождения большой дуги может сократиться за счет большей скорости, с которой, как он видел, движется люстра на более высоких и наклонных участках. И пока люстра размеренно двигалась, он сделал грубую прикидку — его обычное выражение — того, как происходит движение взад и вперед, с помощью биения собственного пульса, а также темпа музыки, в которой он тогда уже был искушен с немалою от того для себя пользой. И ему на основании таких подсчетов показалось, что он не заблуждается, подсчитав, что времена одинаковы, но не удовлетворенный этим, вернувшись домой, он, чтобы надежнее в этом удостовериться, решил сделать следующее. Он привязал два свинцовых шара на нитях совершенно одинаковой длины так, чтобы они могли свободно раскачиваться ... и, отклоняя их от вертикали на разное число градусов, например один шар на 30, другой на 10, он отпускал их в одно и то же мгновение. С помощью товарища он наблюдал, что, пока один маятник делал такое-то число колебаний по большим дугам, другой делал в точности столько же по малым.

Сверх того он сделал два сходных маятника, только достаточно разной длины. Он наблюдал, что, пока малый маятник делал какое-то число колебаний, например 300, по большим дугам, большой за то же время делал всегда одно и то же число колебаний, скажем 40, как по своим большим дугам, так и по совсем маленьким, и повторив это несколько раз ⟨...⟩, он заключил отсюда, что вполне одинакова продолжительность размахов одного и того же маятника, будут ли они весьма велики или весьма малы, и что почти нет при этом заметных различий, каковые надо приписать помехе со стороны воздуха, который больше противится быстрее движущемуся тяжелому телу, чем медленнее движущемуся.

Он видел также, что ни различие в абсолютном весе, ни разный удельный вес шаров не вызывали заметного изменения — все шары, лишь бы они были на нитях равной длины от их центров до точек подвеса, сохраняли достаточно постоянно равенство (времени) прохождения по всяким дугам; лишь бы не был взят легчайший материал, движению которого в воздухе легче препятствовать, так что оно быстрее сводится к покою».

Приведенный рассказ принадлежит ученику Галилея Винченцо Вивиани (1622 – 1703), который в 1639 г. в семнадцатилетнем возрасте прибыл на виллу Арчетри близ Флоренции, где находился Галилей после приговора инквизиции. Через два года там появился Эванджелиста Торричелли (1608 – 1647). Оба они помогали ослепшему ученому завершать его замыслы; ряд результатов они получили под влиянием Галилея (знаменитые барометрические опыты, исследование циклоиды). По-видимому, Вивиани был особенно близок Галилею, который охотно беседовал с ним на разные темы, часто вспоминая о далеком прошлом. Потом Вивиани по разным поводам пересказывал услышанное им в те дни. Эти рассказы не считаются достаточно достоверными, причем не всегда ясно, кто явился источником неточностей: рассказчик или слушатель. Увековечение памяти учителя было главной целью жизни Вивиани.

Вернемся к рассказу Вивиани. В нем речь идет об открытии изохронного свойства маятника: при фиксированной длине период колебаний маятника не зависит от их амплитуды. Поучительно, как Галилей следил за временем: при помощи музыки и пульса (кажется, на этот способ первым указал Кардано). Нам, людям XX века, привыкшим к ручным часам, не следует забывать об этих трудностях. Достаточно точные часы были сконструированы как раз на основе открытого Галилеем свойства маятника (мы еще будем иметь возможность говорить о маятниковых часах). Кстати, в своих лабораторных экспериментах, о которых пойдет речь ниже, Галилей пользовался для измерения времени медленно вытекающей струей воды (вариантом водяных часов).

Галилей обнаруживает связь между длиной маятника и частотой его колебаний: квадраты периодов колебаний относятся как их длины. Вивиани пишет, что Галилей получил этот результат, «руководствуясь геометрией и своей новой наукой о движении», но никто не знает, каким мог быть такой теоретический вывод, Быть может, все же Галилей подметил закономерность экспериментально. Галилей, по-видимому, не знал, что колебания маятника изохронны лишь для малых углов отклонения. При больших углах период начинает зависеть от угла отклонения, и для 60°, например, период заметно отличается от периода для малых углов. Галилей мог бы заметить это в серии опытов, описанных

Вивиани. Неточность утверждения Галилея об изохронности математического маятника обнаружил Гюйгенс.

Занятия медициной шли не очень успешно, хотя Галилео стремился оправдать надежды и затраты отца. Все же в 1585 г. он возвращается во Флоренцию, не получив диплома доктора. Во Флоренции Галилей продолжает заниматься математикой и физикой, вначале втайне от отца, а потом при его согласии. У Галилео появляются контакты с учеными, в том числе с маркизом Гвидо Убальдо дель Монте. Благодаря поддержке последнего тосканский герцог Фердинандо Медичи в 1589 г. назначил Галилея профессором математики Пизанского университета. В Пизе Галилей находился до переезда в 1592 г. в Падую. Восемнадцать лет, прожитых в Падуе, Галилей считал самым счастливым периодом в своей жизни. С 1610 г. и до конца жизни он — «философ и первый математик светлейшего великого герцога тосканского». И в Пизе, и в Падуе изучение движений — главное дело Галилея.

Свободное падение. Галилея интересует прежде всего свободное падение — одно из самых распространенных естественных движений. Как и полагалось в то время, начать нужно с того, что по этому поводу говорил Аристотель. «Тела, имеющие большую силу тяжести или легкости, если в остальном они имеют одинаковую фигуру, скорее проходят равное пространство в том пропорциональном отношении, в каком указанные величины относятся друг к другу». Значит, по Аристотелю скорости падающих тел пропорциональны их весу. Второе утверждение состоит в том, что скорости обратно пропорциональны «густоте среды». С этим утверждением возникли сложности, поскольку в пустоте, «густота» которой равна нулю, скорость должна была бы быть бесконечной. На это Аристотель заявил, что в природе пустоты не бывает («природа боится пустоты»).

Первое утверждение Аристотеля оспаривалось иногда уже в Средние века. Но особенно убедительной была критика Бенедетти, ученика Тартальи и современника Галилея, с трактатом которого Галилей познакомился в 1585 г. Вот как выглядит основное опровержение. Пусть имеются два тела — тяжелое и легкое: первое должно падать быстрее. Теперь соединим их. Естественно предположить, что легкое тело притормозит тяжелое и скорость падения должна стать промежуточной между скоростями падения составляющих тел. Но по Аристотелю скорость должна стать больше, чем скорость каждого тела! Бенедетти решает, что скорость падения зависит от удельного веса и даже прикидывает, что для свинца она в 11 раз больше, чем для дерева. В существование зависимости скорости от удельного веса долго верил и Галилей.

Он приступил к изучению свободного падения еще в Пизе. Вот что пишет Вивиани: «...Галилей целиком отдался размышлениям, и к великому смущению всех философов им была показана, посредством опытов, солидных доказательств и рассуждений, ложность множества заключений Аристотеля, касающихся движения, считавшихся до этого совершенно очевидными и несомненными. Сюда относится положение, что движущиеся тела, состоящие из одного и того же вещества, но имеющие разный вес, находясь в одной и той же среде, не обладают скоростями, пропорциональными их весу, как полагал Аристотель, но все движутся с одинаковой скоростью. Это он доказывал неоднократными экспериментами, производившимися с высоты Пизанской башни, в присутствии других лекторов и философов и всей ученой братии». Галилея до сих пор часто рисуют кидающим шары с Пизанской башни. Эта легенда обросла многими пикантными подробностями (например, о кабатчике, распускавшем слухи, что профессор Галилей будет прыгать с башни). Заметьте, что пока речь идет только о телах из одного и того же вещества.

Галилея занимает наблюдение Бенедетти, что скорость свободного падения увеличивается по мере движения тела. И Галилей решает найти математически точное описание этого изменения скорости. Здесь следует сказать, что первоначально Галилей видел свою задачу в том, чтобы математизировать физику Аристотеля: «Философия написана в величайшей книге, которая постоянно открыта нашим глазам (я говорю о Вселенной); но нельзя ее понять, не научившись сперва понимать язык и различать знаки, которыми она написана. Написана же она языком математическим, и знаки ее суть треугольники, круги и другие математические фигуры». Однако скоро стало ясно, что математизация требует систематического пересмотра всех фактов.

Как же найти закон изменения скорости свободного падения?

Эксперимент только начинал входить в практику научного исследования. Для Аристотеля и его последователей он считался лишним и недостойным занятием как при установлении истины, так и при ее проверке. Галилей мог бы попытаться проделать серию экспериментов со свободно падающими телами, провести тщательные измерения и искать закономерность, которая их объясняет. Так современник Галилея Кеплер, обрабатывая многочисленные наблюдения Тихо Браге, обнаружил, что планеты движутся по эллипсам. Но Галилей выбирает другой путь. Он решает вначале угадать закон из общих соображений, а уже затем проверить его экспериментально. Раньше никто так не поступал, но постепенно такой план исследований станет одним из ведущих при установлении научных истин.

Теперь о том, как Галилей попытался угадать закон. Он решает, что природа «стремится применять во всех своих приспособлениях самые простые и легкие средства», а значит, и закон нарастания скорости должен происходить «в самой простой и ясной для всякого форме». Но раз скорость растет с ростом пройденного пути, то что может быть проще предположения о том, что скорость пропорциональна пути: $v = cs$, c — постоянное число. Это предположение испугало его поначалу: ведь получается, что падение начинается с нулевой скоростью, а кажется, что скорость с самого начала велика. Но вот какое рассуждение убедило его, что противоречия нет: «Если груз, падающий на сваю с высоты четырех локтей, вгоняет последнюю в землю приблизительно на четыре дюйма, — при падении с высоты двух локтей он вгоняет ее в землю меньше и, конечно, еще меньше при падении с высоты одного локтя или одной пяди, и когда, наконец, груз падает с высоты не более толщины пальца, то производит ли он на сваю больше действия, чем если бы он был положен без всякого удара? Еще меньшим и совершенно незаметным будет действие груза, поднятого на толщину листа. Так как действие удара находится в зависимости от скорости ударяющего тела, то кто может сомневаться в том, что движение чрезвычайно медленно и скорость минимальна, если действие удара совершенно незаметно?»

Галилей долго исследовал различные следствия из сделанного предположения и неожиданно обнаружил, что ... *по такому закону движение вообще происходить не может!* Давайте и мы попытаемся понять, в чем дело. Коэффициент пропорциональности зависит от выбора единицы времени. Будем считать для простоты, что $c = 1$, путь измеряется в метрах, а время в секундах. Тогда во все моменты времени $v = s$.

Рассмотрим точку A, находящуюся на расстоянии $1\,м$ от начала O. Прикинем, через какое время от начала движения тело окажется в этой точке. В точке A скорость равна $1\,м/с$. Возьмем точку A_1, лежащую посередине между началом O и A. На отрезке A_1A мгновенная скорость будет меньше $1\,м/с$, и на отрезок длиной $1/2\,м$ потребуется больше $1/2\,с$. Возьмем теперь точку A_2 — посередине между O и A_1. На отрезке A_2A_1 мгновенная скорость будет меньше $1/2\,м/с$ (все точки находятся от O на расстоянии, меньшем $1/2\,м$), и на отрезок A_2A_1 длиной $1/4\,м$ уйдет опять более $1/2\,с$. Вы уже, конечно, догадались, как мы будем рассуждать дальше: точка A_3 — середина отрезка OA_2, на отрезок A_3A_2 длиной $1/8\,м$ при скорости, меньшей $1/4\,м/с$, опять-таки уйдет более $1/2\,с$ и т. д. Процесс деления можно продолжать неограниченно, и мы можем набрать любое число отрезков, на прохождение которых уходит больше $1/2\,с$, так и не добравшись до O. Значит, тело из O попасть в A вообще не может!

Мы предположили, что A находится на расстоянии $1\,м$ от O. Но аналогично показывается, что вообще ни в какую точку тело из O попасть не может. Вот с какого замечательного рассуждения началась классическая механика!

Впрочем сам Галилей публикует по этому поводу неубедительное рассуждение. Он пытается прийти к противоречию, считая, что раз скорость пропорциональна пути, то любые отрезки от начала должны проходиться за одно и то же время, что неверно. То ли Галилей еще не привык работать с мгновенной скоростью, то ли первоначально у него было другое рассуждение, которое он уже не смог восстановить, когда после долгого перерыва записывал эти результаты в преклонном возрасте (мы увидим, почему это получилось). От него осталось немало утверждений, либо лишенных мотивировок, либо снабженных сомнительными рассуждениями.

Ну что же, у Галилея были все основания обидеться на коварство природы, которая не выбрала самого простого пути. Однако вера в разумность природы у Галилея не угасла. Он рассматривает не менее простое предположение, что нарастание скорости происходит пропорционально времени: $v = at$. Такое движение он назвал естественно ускоренным, но прижился термин «равномерно ускоренное движение». Галилей рассматривает график скорости на отрезке времени от 0 до t и замечает, что если взять моменты времени t_1, t_2 равноотстоящие от $t/2$, то насколько в t_1 скорость меньше $at/2$, настолько в t_2 она больше. Отсюда он делает вывод, что в среднем скорость равна $at/2$, а пройденный путь равен $at/2 \cdot t = at^2/2$ (не слишком строгое рассуждение!). Значит, *если рассмотреть равноотстоящие отрезки времени* $t = 1, 2, 3, 4, \ldots$, *то отрезки пути, пройденные от начала, будут относиться как квадраты натуральных чисел* $1, 4, 9, 16 \ldots$, *а отрезки, пройденные между соседними моментами отсчета, — как нечетные числа* $1, 3, 5, 7, \ldots$

Еще раз проследим за логикой Галилея. Прежде всего он разделяет вопросы «как» и «почему». Для последователей Аристотеля ответ на первый вопрос должен быть непосредственным следствием ответа на второй. Галилей же, трезво оценив свои возможности, не разбирается в природе возникновения ускоренного движения при свободном падении, а пытается лишь описать закон, по которому оно происходит. Принципиальное значение имеет поиск простого общего принципа, из которого этот закон можно вывести. Он ищет «принцип, совершенно несомненный, который можно принять за аксиому». Высказывания Галилея из письма Паоло Сарпи (осень 1604 г.) можно интерпретировать так, что он уже знал закон изменения пути при свободном падении, но не был удовлетворен тем, что не может вывести его из казавшегося несомненным принципа: «Тело, испытывающее естественное движение, увеличивает свою скорость в той же пропорции, что и расстояние до исходного пункта».

Здесь важно было выбрать основную независимую переменную, относительно изменений которой рассматриваются изменения всех величин, характеризующих движение. Очень естественно, что первоначально в качестве такой переменной выбирается пройденный путь: ведь наблюдатель видит, как нарастает скорость по мере увеличения пройденного расстояния. Сказывалось, что измерение времени еще не играло значительной роли в жизни людей, не было точных, доступных часов. Мы не всегда отдаем себе отчет, насколько постепенно ощущение постоянно текущего времени внедрялось в человеческую психологию. Галилей проявил большую гибкость, сравнительно быстро переориентировавшись с пути на время. В 1609 – 1610 гг. он открыл верный принцип равноускоренности свободного падения (относительно времени!).

Не следует переоценивать окончательный характер понятий скорости и ускорения у Галилея. Понятие мгновенной непрерывно меняющейся скорости нелегко ощутить, и оно медленно завоевывало права гражданства. Трудно было удостовериться, что отказ от скачкообразного изменения скорости не приводит к противоречиям, которыми были переполнены рассуждения о непрерывных процедурах. Нам сегодня трудно оценить смелость Галилея, так решительно оперирующего с переменной скоростью. Ему не поверили такие мастера аналитических рассуждений, как Кавальери, Мерсенн, Декарт. Последний категорически не принимал движения с нулевой начальной скоростью, при котором тело «проходит через все стадии медленности». Еще более сложен процесс вычисления пути при переменной скорости, который требует интегрирования. Галилей владел им лишь в варианте, близком к технике Архимеда или к «неделимым» Кавальери. В рассматриваемом случае он применяет искусственный прием, делая не вполне обоснованный переход к средней скорости, а затем пользуется привычной формулой для равномерного движения. От открытия закона свободного падения отсчитывает свою историю не только новая механика, но и новый математический анализ. Что касается ускорения, то, поскольку Галилей ограничился только равноускоренным случаем, он не нуждался в общем понятии. Ускорение свободного падения как универсальная константа у Галилея еще не появляется.

Что касается роли силы в возникновении неравномерного движения, то здесь высказывания Галилея лишены полной ясности. Он отвергает принцип Аристотеля, что скорость пропорциональна действующей силе, утверждая, что при отсутствии сил сохраняется равномерное прямолинейное движение. Закон инерции (первый закон Ньютона) носит имя Галилея. Галилей постоянно обращается к примеру со снарядом, который летел бы по прямой, если бы не испытывал земного притяжения. Он пишет, что «степень скорости, обнаруживаемая телом, нерушимо лежит в самой его природе, в то время как причины ускорения или замедления являются внешними», «...движение по горизонтали является вечным, ибо если оно является равномерным, то оно ничем не ослабевается, не замедляется и не уничтожается». Галилей в «Послании к Инголи» поэтически описывает разнообразные явления на борту равномерно прямолинейно движущегося корабля, которые не позволяют обнаружить это движение: капли воды попадают точно в горлышко подставленного сосуда, камень с мачты падает вертикально вниз, вверх поднимается дым, бабочки летают с одинаковой скоростью во всех направлениях и т. д. Создается ощущение, что Галилей уверенно придерживался принципа инерции в «земной» механике, но не был столь последователен в небесной (об этом речь впереди).

Ньютон приписывал Галилею не только первый закон механики, но и второй, хотя это и было преувеличением: четкой связи между силой и ускорением (когда они отличны от нуля) у Галилея не было. В том, что касается свободного падения, Галилей дал исчерпывающий ответ на вопрос «как», но не дал ответа на вопрос «почему».

Движение по наклонной плоскости. Своим основным выводом Галилей считал утверждение, что падающее тело проходит в последовательные равные промежутки времени отрезки, пропорциональные последовательным нечетным числам. Он хочет проверить это. Но как это сделать? Нельзя же продолжать кидать шары с Пизанской башни, да он и жил уже в Падуе. В лаборатории же падение происходит очень быстро. Но Галилей находит остроумный выход: он заменяет свободное падение более медленным движением тел по наклонной плоскости. Он заметил, что из предположения о равноускоренности свободного падения следует равноускоренность движения тяжелой точки по наклонной плоскости. По существу, это привычное сегодня рассуждение с разложением сил, показывающее, что тяжелая точка скатывается по наклонной плоскости с постоянным ускорением $g \sin \alpha$, где α — угол наклона к горизонтали (g — ускорение свободного падения). Рассуждения Галилея более громоздки: он не вводит ускорение свободного падения, а манипулирует, как это было принято тогда, с большим числом пропорций. Он выводит целый ряд

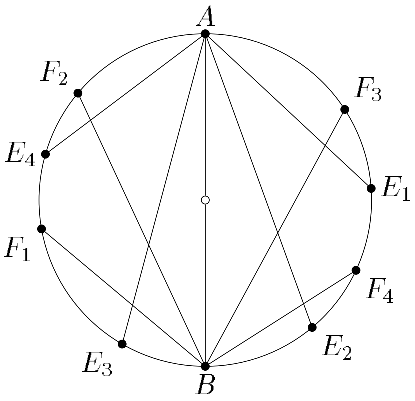

Рис. 1.

следствий из равноускоренности движения точки по наклонной плоскости, которые уже удобны для лабораторной проверки (если угол наклона мал, то время скатывания велико). Центральное место занимает утверждение, что если наклонные плоскости имеют одинаковую высоту, то времена скатывания относятся как пройденные пути (почему?). Движение по наклонной плоскости представляет для Галилея самостоятельный интерес. Он делает целый ряд наблюдений. Например, если точки двигаются по хордам окружности AE_i, BF_j, AB — вертикальный диаметр, то все времена скатывания равны времени свободного падения по AB (докажите!). Довольно сложное рассуждение приводит Галилей в доказательство того, что если A, B, C — последовательные точки на окружности, то точка по ломаной ABC скатывается быстрее, чем по хорде AC. С этим связана известная ошибка Галилея: он считал, что быстрее всего точка скатывается по четверти окружности, в то время как этим свойством обладает дуга циклоиды.

Движение брошенных тел. Такое движение Галилей называл принужденным (в отличие от свободного падения). Аристотель считал, что тело, брошенное под углом к горизонту, движется вначале по наклонной прямой, затем по дуге окружности и, наконец, по вертикальной прямой. Возможно, Тарталья был первым, кто утверждал, что траектория брошенного тела «не имеет ни одной части, которая была бы совершенно прямой».

Теорию «принужденного» движения Галилей построил сразу же за теорией свободного падения. Путь, по которому он двигался, был прежним: теория (модель явления) предшествовала экспериментам. Догадка Галилея была гениально простой: движение тела, брошенного под углом к горизонту, складывается из равномерного прямолинейного движения, которое имело бы место, не будь силы тяжести, и свободного падения. В результате тело движется по параболе. Отметим, что в этом рассуждении существенно используется закон инерции — закон Галилея.

В рассмотрении сложного движения у Галилея был гениальный предшественник, служивший для него образцом: «...я хочу трактовать и рассматривать это явление в подражание Архимеду в его „Спиральных линиях“, где, заявив, что под движением по спирали он понимает движение, слагающееся из двух равномерных, одного — прямолинейного, а другого — кругового, он непосредственно переходит к демонстрации выводов». Речь идет о так называемой спирали Архимеда, которую описывает точка, движущаяся по радиусу вращающегося круга (муха к центру граммофонной пластинки).

Пользуясь свойствами параболы, Галилей составил «таблицу для стрельбы, имеющую важное практическое значение». Недаром Падуя принадлежала Венецианской республике, и Галилей поддерживал постоянные контакты с венецианским арсеналом. Ряд утверждений Галилея, полученных теоретическим путем, допускает экспериментальную проверку. Он доказал утверждение Тартальи о том, что угол в 45° отвечает наибольшей дальности полета, и показал, что для углов, дающих в сумме 90°, дальности полета одинаковы (при фиксированной величине скорости).

Галилей и Кеплер. Открытия Галилея должны были поразить его современников. Конические сечения (эллипсы, параболы, гиперболы) — вершина греческой геометрии — казались плодом математической фантазии, не имеющим отношения к действительности. И вот Галилей доказал, что параболы неминуемо возникают в совершенно «земной» ситуации. (Еще в XIX веке Лаплас приводил применение конических сечений как самое неожиданное применение чистой математики.) Замечательно, что буквально в те же самые годы конические сечения возникли совсем в другой задаче и не менее удивительным образом. В 1604–1605 гг. Иоганн Кеплер (1571–1630) обнаружил, что Марс движется по эллипсу, у которого в фокусе находится Солнце (через десять лет Кеплер распространил это утверждение на все планеты). Это совпадение знаменательно, и для нас эти два открытия стоят рядом, но до Ньютона, вероятно, никто серьезно не сопоставлял эти результаты. Более того, Галилей не признавал закона Кеплера, а о своем открытии Кеплеру не сообщал, несмотря на регулярную переписку (оно было опубликовано уже после смерти Кеплера).

Галилей и Кеплер долгие годы переписывались. Кеплер был для Галилея одним из самых близких по духу ученых. Прежде всего было существенно, что Кеплер безоговорочно принимал систему Коперника. Еще в 1597 г. Галилей (в связи с получением книги «Тайна мироздания») делится с Кеплером сокровенным желанием опубликовать свои аргументы в пользу системы Коперника. Он пишет: «...я до сих пор не решился опубликовать их из боязни столкнуться с той же судьбой, которая постигла нашего Коперника, хотя и заслужившего бессмертную славу среди немногих, но представлявшегося большинству заслуживающим освистания и осмеяния, до того велико количество глупцов. Я бы все же решился выступить с моими размышлениями, если бы было больше таких людей, как Вы, поскольку же это не так, я избегаю касаться указанной темы». Кеплер посылает в ответ страстный призыв: «Оставь колебания, Галилей, и выступай вперед!» Он предлагает объединиться: «Если я не ошибаюсь, среди видных математиков Европы немного таких, кто захочет отделиться от нас». А книгу не обязательно печатать в Италии, можно и в Германии. В далекой Праге проблема виделась не так, как в Италии, где шестой год ждал в тюрьме своей участи Джордано Бруно.

Очень поучителен путь, которым шел Кеплер к своему открытию. У Кеплера как ученого было два лица. С одной стороны, это был великий фантазер, пытавшийся постичь величайшие тайны мироздания. Он был уверен, что самая великая тайна, открывшаяся ему, состояла в следующем. Существует шесть планет, потому что существует пять правильных многогранников! «Мне никогда не удастся найти слов, чтобы выразить свое восхищение этим открытием». Кеплер располагает шесть сфер, перемежая их различными правильными многогранниками так, что в каждую сферу один многогранник вписан, а другой — описан. Сферам он ставит в соответствие последовательные планеты. В порядке многогранников особый таинственный смысл (куб отвечает Сатурну, тетраэдр — Юпитеру — и т. д.). Отношения радиусов сфер Кеплер сравнивает с известными относительными размерами орбит и странным образом получает не очень большое расхождение (кроме как для Меркурия). Эти рассуждения, опубликованные в книге «Тайна мироздания», были многими благожелательно встречены, не вызвали возражений у Галилея, а «король астрономов» Тихо Браге пригласил Кеплера сотрудничать с ним.

С этим приглашением связана другая сторона научной жизни Кеплера, так не похожая на первую. Он скрупулезно обрабатывает многочисленные наблюдения Тихо Браге, которые обладали невиданной точностью для наблюдений, не использующих телескопов (их точность оценивают в $\pm 25''$). Он должен пересмотреть орбиты планет, пользуясь наблюдениями Тихо Браге. По-видимому, Тихо Браге (Кеплер называл его «Фениксом астрономии») рассчитывал получить подтверждение своей компромиссной теории, по которой Солнце движется вокруг Земли, а остальные планеты — вокруг Солнца. Но Кеплер проводил вычисления в рамках системы Коперника.

Поскольку Коперник, подобно Птолемею, собирал орбиты планет из кругов, в его системе сохранились эпициклы. Кеплер хочет упростить систему (его итоговый труд, вышедший в 1618–1621 гг., назывался «Сокращение коперниковой астрономии»). Удивительным образом орбита Земли почти не отличается от окружности, однако Солнце несколько смещено относительно центра. Все это знал Коперник, но Кеплер уточнил величину смещения. Он внимательно изучил неравномерный характер движения Земли по орбите и долго искал закономерность в этом движении. Он пробовал обратно пропорциональную зависимость от расстояния до Солнца, ряд других возможностей, пока не обнаружил закон площадей (2-й закон Кеплера). Затем Кеплер вычисляет орбиту Марса и сравнивает ее с разными кривыми. Он проявляет поразительную трезвость и доверие к результатам наблюдений. Один раз он отверг гипотезу, обнаружив расхождение в $8'$ с данными Тихо Браге (такое расхождение почти незаметно для невооруженного глаза). «Он ясно сознавал, что теоретические, логико-математические построения, безразлично насколько прозрачные, не могут сами по себе гарантировать истину, что самые логические теории не имеют ни малейшего значения в естественных науках без сравнения с точнейшим опытом» (Эйнштейн). Кеплер перебрал разнообразные овалы и, наконец, обнаружил, что годится эллипс с Солнцем в фокусе. «Не переставая ощупывать все места окружающего мрака, я вышел, наконец, на яркий свет истины». Не правда ли, путь Кеплера мало напоминал путь Галилея. Галилей в большей степени шел от общих принципов и качественных результатов. На склоне лет Галилей вспоминал: «Я всегда ценил Кеплера за свободный (пожалуй, даже слишком) и острый ум, но мой метод мышления решительно отличен от его, и это имеет место в наших работах об общих предметах. Только в отношении движений небесных тел мы иногда сближались в некоторых схожих, хотя и немногих концепциях, отличающихся общностью оценки отдельных явлений, но это нельзя обнаружить и в одном проценте моих мыслей».

Галилей считал, что в мире царит равномерное круговое движение и не поверил ни в эллиптические орбиты, ни в неравномерное движение планет по орбитам, не приняв к сведению данных наблюдательной и вычислительной астрономии.

Кеплер был первым, кто рассматривал взаимное притяжение тел, связывал его с движением: он даже высказал гипотезу о характере убывания взаимодействия с расстоянием (как $1/r$, что неверно). Он принимал объяснение приливов лунным притяжением. Все это было совершенно неприемлемо для Галилея, отрицавшего дальнодействующие силы, в частности, попытки объяснять земные явления влиянием небесных тел. Особенно это относилось к приливам, которые Галилей ошибочно считал важнейшим доказательством движения Земли. Объяснения указанного типа Галилей отождествлял с астрологией, в которой события в человеческой жизни объясняются влиянием планет. «Среди великих людей, рассуждавших об этом поразительном явлении природы, более других удивляет меня Кеплер, который, обладая умом свободным и острым и будучи хорошо знаком с движениями, приписываемыми Земле, допускал особую власть Луны над водой, сокровенные свойства и тому подобные ребячества». Кеплер оказался прав, но реальные аргументы появились позднее.

Следует иметь в виду, что рассуждения Кеплера о взаимном притяжении содержат много путаницы. В одном отношении он серьезно отставал от Галилея: он считал, следуя Аристотелю, что скорость пропорциональна силе.

Механика земная и механика небесная. К 1610 г. Галилей получил в механике результаты, к которым шел 20 лет. Он начинает работать над всеобъемлющим трактатом, но неожиданные события отвлекают его от этих занятий более чем на 20 лет! Галилей построил телескоп и в начале 1610 г. открыл спутники Юпитера. Весь этот год астрономические открытия следовали одно за другим. Галилей полагает, что у него появились решающие доказательства в пользу системы Коперника. Следующие 23 года жизни он целиком посвятил утверждению этой системы, пока в 1633 г. приговор инквизиции не прервал эту деятельность. Все эти годы Галилей вспоминает о механике постольку, поскольку этого требует разработка «Системы мира». Временами его новая философия даже входит в противоречие с результатами о «земных» движениях. Так, он не находит во Вселенной, «где все части находятся в отличнейшем порядке», места для прямолинейного движения, которое в этих условиях представляется ему «излишним и неестественным». Причина в том, что движение по прямой не может быть периодическим, и состояние Вселенной должно все время меняться. Он оставляет место прямолинейному движению лишь в неустойчивых ситуациях, а в природе должно царить круговое движение. Открытый им закон инерции для «местных движений» Галилей считает справедливым лишь вблизи Земли.

Так же приближенным считает Галилей закон движения брошенных тел по параболе. Он считает, что на самом деле траектория должна быть такова, чтобы заканчиваться в центре Земли. Из-за этого уже после открытия параболичности траектории он делал странные заявления о том, что движение брошенного тела должно происходить по дуге окружности или винтовой линии. Это вызвало возражение Ферма, переданное через Каркави (1637 г.). В ответ Галилей объявляет свое высказывание «поэтической фикцией», обещает опубликовать утверждение о параболичности траектории, но в заключение пишет: «Никакого отступления от параболического движения не произойдет, пока мы производим опыты на Земле, на высотах и расстояниях, нам доступных; но эти отступления будут заметны, велики и огромны при подходе и значительном приближении к центру». Приближенный характер параболической траектории был прояснен Ньютоном, но ожидания Галилея не оправдались[1].

Главный вопрос о движении, который интересовал Галилея все эти годы, был связан со стандартным возражением противников движения Земли: почему предметы не улетают с движущейся Земли? У Галилея нет сомнений, что за это ответственна сила тяжести, но как дать мотивированное объяснение? Пусть тело движется по сфере радиуса R со скоростью v. Так начинает Галилей свои рассуждения. Зафиксируем начало отсчета. Если бы не сила тяжести, тело продолжало бы прямолинейное движение по касательной со скоростью v. Чтобы обеспечить движение по сфере (удержать тело), надо добавить к этому движению движение по направлению к центру. Привычное для Галилея рассмотрение со сложением движений! Что оставалось сделать? Заметить, что (по теореме Пифагора) для второго движения путь $s(t) = \sqrt{R^2 + v^2t^2} - R$, а если время t мало, то это почти то же самое, что $\tilde{s}(t) = \dfrac{v^2t^2}{2R}$ $\big(\dfrac{s - \tilde{s}}{t^2} \to 0$ при $t \to 0\big)$. Теперь уже нельзя не узнать формулы Галилея для пути при равномерно ускоренном движении с ускорением $a = v^2/2R$. Ясно, что если $g > a$, то тело будет удерживаться на поверхности сферы. Однако второй половины рассуждения Галилей не провел, перейдя вместо этого к очень путаным мотивировкам. А формулу для центростремительного ускорения на пути, намеченном Галилеем, получил Гюйгенс в 1659 г.

«Беседы». В 1633 г. находясь в ссылке в Сиене, уже через несколько недель после приговора инквизиции и отречения, Галилей вспомнил о своих давних результатах по механике и решил немедленно записать их. Он продолжает работу в Арчетри и Флорен-

[1]Поскольку Галилей надолго задержал публикацию, первое упоминание о параболической траектории появилось в 1632 г. в «Зажигательном зеркале» Кавальери, который очень ясно усвоил от Галилея идею сложения прямолинейных движений, принцип инерции. Галилея обидело отсутствие необходимых ссылок, он говорит об открытии параболичности траектории как главной цели сорокалетних трудов. Извинения Кавальери быстро удовлетворили Галилея.

ции, несмотря на вынужденное одиночество, ухудшающееся здоровье, прогрессирующую слепоту. «Я хотя и молчу, но провожу жизнь не совсем праздно» — писал Галилей. Книга «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению» была закончена в 1636 г., с большими предосторожностями переправлена за границу (не ясно было, как отнесется к книге инквизиция) и вышла в Голландии в июле 1638 г. Как и предыдущая книга, явившаяся причиной преследования, «Беседы» написаны в форме диалогов, которые в течение шести дней ведут те же самые герои: Сальвиати (проводящий точку зрения автора), Сагредо и Симпличио (сторонник Аристотеля; его имя переводится как «простак») . В третий и четвертый дни они читают трактат академика (Галилея) «О местном движении» и подробно обсуждают его. Кстати, в названии книги «механика» и «движение» разделены, поскольку в те годы к механике было принято относить лишь статику и сопротивление материалов. Выбранная автором форма дискуссий позволяет многое узнать о том, как Галилей шел к своим открытиям.

Престарелый Галилей стремился реализовать свои давно оставленные замыслы. Но многое уже было ему не по силам, он нуждался в помощниках. Он поручает сыну Винченцо построить часы на основе открытого в юности свойства маятника, но ему не удалось увидеть свою идею осуществленной. Инквизиция ограничивает контакты Галилея с внешним миром. Уже после окончания «Бесед» на вилле Арчетри, которую Галилей называл своей тюрьмой, стали появляться желанные гости. Это старый друг и верный ученик Бенедетто Кастелли, Кавальери; а Вивиани и Торричелли с некоторых пор не покидают учителя. Они помогали в завершении его дел, продолжали его исследования.

Так, Торричелли вычислил вектор скорости брошенного под углом тела при помощи правила сложения скоростей, а поскольку скорость направлена по касательной, он получил изящный способ проводить касательную к параболе. Наступала эра дифференциального и интегрального исчисления и задачи о проведении касательных к кривым выходили в математике на передний план. Разрабатывались различные способы их проведения. Одним из них стал кинематический способ, при котором кривая представлялась как траектория сложного движения, а касательная находилась при помощи сложения скоростей, как это впервые сделал Торричелли для параболы. Французский математик Жиль Пирсон, более известный под именем Роберваль (1602 – 1675), творил при помощи этого приема чудеса. «Механические» кривые, полученные как траектории различных движений, прочно вошли в обиход математического анализа. Стоит вспомнить, что сам Галилей сознательно ограничивал себя рассмотрением движений, реально в природе встречающихся: «Хотя, конечно, совершенно допустимо представлять себе любой вид движения и изучать связанные с ним явления (так, например, можно определить основные свойства винтовых линий или конхоид, представив их себе возникающими в результате некоторых движений, которые в действительности в природе не встречаются, но могут соответствовать предположенным условиям), мы тем не менее решили рассматривать только те явления, которые действительно имеют место в природе ...». Пользу общего взгляда на движение продемонстрировал Ньютон.

«Беседы» надолго определили развитие механики. Они были настольной книгой для Гюйгенса и Ньютона, великих наследников Галилея. Трудно себе представить, насколько бы задержалось развитие механики, если бы не произошли печальные события и Галилей так и не записал бы своих великих открытий.

Математическое добавление. У истории открытия закона свободного падения есть еще одна сторона: это — история не только о совершившемся открытии, но и об открытии ... упущенном. После того как Галилей понял, что по закону $v(t) = cs(t)$ движение происходить не может, он потерял интерес к этому закону. Его интересуют только естественные движения! Вскоре шотландский лорд Непер заинтересовался движением, происходящим по аналогичному закону.

Непер рассмотрел прямолинейное движение, происходящее по закону $v(t) = l(t)$, где $v(t)$ — мгновенная скорость в момент времени t, а $l(t)$ — это уже не пройденный путь, а расстояние движущейся точки в момент t от фиксированной точки O на прямой. Случай, рассмотренный Галилеем, отвечает ситуации, когда движущаяся точка находится в начальный момент $t = 0$ в точке O, т. е. $l(0) = 0$, $l(t) = s(t)$. У Непера $l(0) > 0$, $l(t) = l(0) + s(t)$.

Оказывается, что при $l(0) > 0$ движение с такими свойствами в принципе происходить может и обладает замечательными математическими свойствами (хотя «в природе и не происходит»!). Исследуем его. Прежде всего, если начальное расстояние $l(0)$ умножить на c, то на c умножается расстояние $l(t)$ и скорости $v(t)$ во все моменты времени. Строго говоря, это нуждается в обосновании! Но ясно, что при умножении l и v на константу закон $v(t) = l(t)$ сохранится. Далее, ограничимся случаем $l(0) = 1$. Тогда

$$l(t_1 + t_2) = l(t_1)l(t_2).$$

Наметим доказательство этого соотношения. Удобно объявить момент t_1 новым началом отсчета времени. Тогда в силу сказанного выше в новый момент t_2 (старый $t_1 + t_2$) расстояние до O должно быть в $l(t_1)$ раз больше, чем в старый момент t_2. Это и означает, что $l(t_1+t_2) = l(t_1)l(t_2)$. Так впервые появилась в науке показательная функция!

Имеем: $l(t) = e^t$, где $e = l(1)$, т. е. это расстояние от O в момент $t = 1$. Пользуясь тем, что e — расстояние от O в момент времени $t = 1$, и тем, что $v = l$, нетрудно показать, что $e > 2$ (докажите!). На самом деле $e = 2{,}71828\ldots$; e стали называть числом Непера. Рассматривая движения, происходящие по закону $v(t) = kl(t)$, можно получить показательные функции с другими основаниями.

Для всякого положительного a время t, для которого $l(t) = a$, назовем *логарифмом (натуральным)* a (обозначается $\ln a$)[1]. В силу сказанного выше $\ln ab = \ln a + \ln b$. Двадцать лет составлял Непер таблицы логарифмов, и в 1614 г. вышло «Описание удивительной таблицы логарифмов», предуведомление к которой содержало извинения за неминуемые ошибки и кончалось словами: «Ничто сначала не бывает совершенным».

Открытие Непера замечательно не только тем, что он создал таблицы логарифмов, но и тем, что он показал, что новые функ-

[1]Рассмотрения Непера были не совсем такими и неперовы логарифмы отличаются от натуральных.

ции могут появляться при изучении движений. Начиная с этих работ Галилея и Непера, механика стала для математики постоянным источником новых функций и кривых.

2. Медичейские звезды

В ноябре 1979 г. Ватикан решил реабилитировать Галилео Галилея, осужденного судом инквизиции в 1633 г. Тогда Галилей был признан «сильно заподозренным в ереси», за то, что «держался и защищал в качестве правдоподобного мнение . . . , будто Солнце есть центр мира и не движется, а Земля не есть центр мира и движется». На проходившем в ноябре 1979 г. заседании Ватиканской Академии наук, посвященной столетию Эйнштейна, папа Иоанн Павел II отметил, что Галилей «много страдал — мы не можем теперь скрывать этого — от притеснений со стороны церкви», но, квалифицировав покаяние Галилея «как божественное озарение в уме ученого», он утверждал, что трагедия Галилея подтверждает «гармонию веры и знания, религии и науки». В октябре 1980 г. появились сообщения, что папа распорядился провести дополнительное расследование обстоятельств процесса над Галилеем. Разговоры об оправдании Галилея шли еще на II Ватиканском соборе (1962 — 1965). Оправдание хотели приурочить к 400-летию ученого в 1964 г., но, видимо, не успели, поскольку вопрос оказался небесспорным. При этом труды Галилея (наряду с трудами Коперника и Кеплера) были удалены из «Индекса запретов» уже в 1835 г. Суд над Галилеем, его отречение не переставали волновать людей, часто далеких от науки, три с половиной века. Характерно внимание, которое уделила этой проблеме художественная литература (достаточно вспомнить пьесу Бертольда Брехта «Жизнь Галилея»). Проблема Галилея жива и сегодня, несмотря на недавнюю «реабилитацию» ученого.

На рубеже XVI и XVII веков с вопросом о системе мира дело обстояло не просто. В IV веке до н. э. Аристотель утверждал, что семь видимых светил равномерно вращаются вокруг Земли, причем вращаются на самом деле хрустальные сферы, к которым они прикреплены, восьмую сферу занимают неподвижные звезды. Астрологи классифицировали планеты так: два светила — Луна и Солнце, две вредоносные планеты — Марс и Сатурн, две благоприятные — Юпитер и Венера и одна нейтральная — Меркурий.

Не в правилах Аристотеля, а особенно его последователей, было объяснять отклонения от его схемы — скажем, удивительное «попятное» движение планет, когда в какой-то момент направление видимого движения планеты изменяется на противоположное. Постепенно накапливались противоречия с точно зафиксированными данными наблюдений. Во II веке н. э. Птолемей построил систему, максимально учитывающую данные наблюдений. При этом он считал, что планеты движутся по вспомогательным окружностям (эпициклам), центры которых (деференты), в свою очередь, вращаются вокруг Земли. Желание учесть новые данные приводило ко все большему усложнению системы. Нужно отдать должное упорству и остроумию ученых, которым удавалось систему спасать.

Совершенно неожиданный путь предложил Николай Коперник (1473–1543). Его тщательно разработанная, согласованная с наблюдениями схема содержит все основные моменты сегодняшнего взгляда на Солнечную систему: вокруг Солнца вращаются планеты, включая Землю; Земля, кроме того, совершает суточное движение; Луна вращается вокруг Земли. При таком подходе все невероятно упростилось, хотя остались невыясненные моменты при согласовании с данными наблюдений. По мнению Коперника, движения планет близки к равномерным движениям по окружности (как у Аристотеля), а несомненно имевшиеся отклонения, по-видимому, опять требовали эпициклов, хотя их роль уже была не столь существенна, как у Птолемея. Эпициклы исчезли лишь у Кеплера, открывшего эллиптичность орбит. Система Коперника не была чисто описательной теорией, основанной на качественных явлениях. Она содержала многочисленные вычисления: расстояния до Солнца, периоды обращений и т. д. Только такая теория могла конкурировать с теорией Птолемея, полно учитывавшей данные наблюдений.

На возможность движения Земли указывали еще пифагорейцы. Поэтому церковь называла учение о движении Земли пифагорейским. Имя Коперника в этом плане предпочитали не употреблять по следующей причине. Книге Коперника «Об обращении небесных сфер» (вышедшей в год его смерти) было предпослано предисловие (возможно, написанное не самим Коперником), в котором его система объявлялась удобной математической схемой для астрономических вычислений и не больше. Рассматриваемые в ней движения объявлялись воображаемыми. А значит, об «истинных» движениях речь в книге не идет. Это не функции математиков! Этот вопрос должны решать философы и богословы в соответствии со священным писанием. Книга была посвящена папе Павлу III. Такой компромисс устраивал церковь, и книга не была объявлена еретической. Математикам можно было позволить пользоваться в их вычислениях воображаемыми схемами. Исключением не были и астрономы-иезуиты, которые пользовались таблицами Коперника, в частности, в расчетах, нужных для реформы календаря.

Незыблемым должно было оставаться утверждение, что Земля покоится, а Солнце движется. Даже в том, что касается остальных планет, церковь не была столь бескомпромиссной (о них не сказано в писании). Была проявлена терпимость к системе Тихо Браге, у которого Солнце движется вокруг Земли, а остальные планеты вокруг Солнца. Тот же Тихо Браге по существу расстался с хрустальными сферами, утверждая, что кометы не принадлежат «подлунному миру», а прилетают извне (Галилей, кстати, придерживался иной точки зрения).

Итак, система Коперника — удобная математическая фикция, а учение пифагорейцев — ересь. Так проходила граница. На этот компромисс и не готов был согласиться Галилей: «Коперника, на мой взгляд, нельзя смягчить, ибо движение Земли и недвижимость Солнца — существеннейший пункт и общий фундамент его учения. Поэтому его надо либо целиком осудить, либо оставить таким, как он есть!» Галилей настаивал, что движение Земли не воображаемое, а истинное. К решительной борьбе за гелиоцентрическую систему мира Галилей шел непростой дорогой. Рано поверив в систему Коперника, он долго не решался опубликовать свои аргументы в ее пользу (об этом свидетельствует письмо Кеплеру 1597 г.). XVII век начался сожжением Джордано Бруно, поэта и философа, грезившего об иных мирах, подобных Солнечной системе. К 1610 г. Галилей подошел к пику своей научной деятельности: блестяще завершились его двадцатилетние исследования естественных движений (свободного падения и движения брошенного тела). Он начинает труд о своих великих открытиях и неожиданно оставляет его на неопределенный срок. Что же случилось? В научной жизни Галилея произошли события, которые заставили вполне практичного Галилея отодвинуть на второй план публикацию открытий, которым была отдана молодость. Галилей решает, что у него появились решающие аргументы в пользу системы Коперника, и отныне вся его жизнь нацелена на пропаганду этих идей. Вспомним об этих важных аргументах.

«Новые очки». Рассказывая о жизни великих ученых, нередко приходится обращать внимание на дела житейские. Более высокое жалование было одной из причин переезда Галилея из Пизы в Падую. Здесь его материальное положение стало более прочным. Первоначальное жалование в 180 флоринов, хотя и медленно, увеличивалось; дополнительный доход давали молодые аристократы, с которыми Галилей занимался отдельно и которые часто жили в его доме. Однако тяжелым грузом легла на плечи Галилея выплата приданого сестрам, да и его собственная семья росла и требовала все больше средств. В 1609 г. Галилей был озабочен очередными переговорами об увеличении жалования. Скупую и практичную синьорию Венецианской республики могло раскошелить какое-нибудь изобретение, имеющее несомненное практическое применение. Галилей был не чужд техническим задачам. В его доме была прекрасная мастерская, а недавно он сконструировал удобный пропорциональный циркуль («геометрический и военный»), сам следил за его изготовлением и распространением. Можно было бы подумать о таблицах для стрельбы, основанных на параболичности траектории полета снаряда. Но неожиданно возникла совсем другая идея.

В 1608 г. в Голландии появились зрительные трубы, позволяющие разглядывать отдаленные предметы; их называли иногда «новыми очками». Еще Леонардо да Винчи говорил об очках, позволяющих видеть Луну большой, а Роджер Бэкон об очках, делающих человека размером с гору. Честь изобретения оспаривали мастера-оптики Липперсгей и Андриансен. К началу 1609 г. такую трубу можно было купить в Голландии за несколько сольдо. К середине года трубы появились в Париже. Генрих IV проявил пессимизм к новинке, объяснив, что в данный момент ему больше нужны очки, увеличивающие близкие предметы, а не далекие. Тогда же какой-то чужестранец пытался продать зрительную трубу Венецианской республике, не вдаваясь в подробности по поводу ее происхождения. Паоло Сарпи, друг Галилея, дал отрицательный отзыв о возможностях использования зрительной трубы «на войне, на суше и на море». Первые трубы были еще очень несовершенны. Галилей услышал о трубах, когда находился в Венеции.

«...Узнав об этом, я вернулся в Падую, где тогда проживал, и начал размышлять над задачей В первую же ночь после моего возвращения я ее решил, а на следующий день изготовил инструмент, о котором и сообщил в Венецию тем же самым друзьям, с которыми предшествующий день я рассуждал об этом предмете. Тотчас же я принялся за изготовление другого, более совершенного инструмента, который шесть дней спустя привез в Венецию». В другом месте ситуация описывалась еще более торжественным образом: «...не жалея ни труда и ни средств, я достиг того, что изготовил инструмент, настолько совершенный, что при взгляде через него предметы казались почти в тысячу раз крупнее и более чем в тридцать раз ближе, чем видимые естественным образом. Совсем излишне было бы перечисление того, насколько удобны такие инструменты как на суше, таки на море».

На самом деле характеристики труб были более скромными. Первая труба Галилея давала трехкратное увеличение, а труба, привезенная в Венецию, — восьмикратное. Галилей решил при помощи своей совершенной трубы расположить к своей просьбе членов синьории (быть может, это была идея Сарпи). 21 августа самые уважаемые люди Венеции рассматривали с колокольни собора Св. Марка отдаленные кварталы города, а 24 августа Галилей торжественно передал свою трубу дожу Венеции Леонардо Донато. Галилей не скупился на рекламу своего подарка. Он говорит, что извлек его идею «из наиболее сокровенных соображений о перспективе».

Потом много говорили, что Галилей переоценил свой вклад или даже присвоил себе чужое изобретение (об этом идет речь в пьесе Брехта). По крайней мере в публикациях Галилей всегда признавал, что построил свою трубу, услышав об изобретении голландцев (но не имея подробной информации и не видя «фламандской перспективы»). Позднее он подчеркивал оригинальность своего пути: «Теперь мы достоверно знаем, что голландец — изобретатель телескопа — был простым мастером, изготовлявшим обыкновенные очки. Случайно перебирая стекла разных сортов, он взглянул сразу через два стекла, одно выпуклое, другое вогнутое, находившиеся на разных расстояниях от глаза, и при этом увидел и наблюдал возникший эффект и таким образом открыл инструмент. Я же, движимый вышеупомянутым известием, нашел инструмент путем рассуждения». Название «телескоп» предложил Чези (см. ниже) в 1611 г. во время демонстрации трубы Галилея в Риме; раньше Галилей пользовался термином «перспектива». Можно считать, что Галилей продемонстрировал превосходство теории над практикой: многие годы никто не мог создать трубы, сравнимые по возможностям с трубами Галилея (из-за этого, в частности, не получали подтверждения астрономические наблюдения Галилея).

Труба Галилея выполнила свое назначение: ему было назначено пожизненно годовое жалование в тысячу флоринов, невиданное для математика. Галилей должен был изготовить 12 труб для синьории, а никому больше труб не предоставлять.

«Звездный вестник». Вскоре Галилей имел трубу с 20-кратным увеличением, а потом он, «оставив дела земные ⟨...⟩, обратился к небесным». В конце 1609 г. Галилей рассматривает через трубу Луну и обнаруживает, «что поверхность Луны не гладкая и не ровная и не в совершенстве сферическая, как полагал в отношении ее целый легион философов, а, напротив того, неровная, шероховатая, испещренная углублениями и возвышенностями, наподобие поверхности Земли». Кроме того, Галилей обращает внимание на пепельный свет на части Луны, не освещенной Солнцем. Он считает этот свет «отблеском Земли». Позднее оказалось, что в то же время начали наблюдения небесных тел при помощи телескопа англичанин Харриот и его ученик Лоуэр (их наблюдения не были известны современникам). Лоуэр писал в письме учителю, что Луна напомнила ему пирог с вареньем, испеченный его кухаркой на прошлой неделе. О пепельном свете на Луне говорили уже Леонардо да Винчи и Местлин, учитель Кеплера.

Затем перед глазами Галилея Млечный Путь распался на отдельные звезды: «...все споры, в течение веков мучившие философов, умолкли сами собой благодаря наглядности и очевидности... Млечный Путь представляет собой ничто иное, как скопление бесчисленного множества звезд, как бы расположенных в кучах...»

Наконец, 7 января 1610 г. Галилей направил телескоп в сторону Юпитера. Вблизи Юпитера он обнаружил три звезды. Он не сомневался, что видит обычные «неподвижные» звезды, но что-то привлекло его пристальное внимание. На следующую ночь Галилей, «водимый неизвестно какой судьбой», вновь рассматривает Юпитер. Он имел все основания не сожалеть! Он вновь увидел знакомые звезды, но... их положение относительно Юпитера изменилось: вчера они располагались по разные стороны Юпитера, а сегодня — все были по одну сторону. Пока еще можно продолжать считать звезды неподвижными, а изменение взаимного положения объяснить движением Юпитера. 9 января «небо со всех сторон было обложено тучами». 10 и 11 января Галилей нашел только две из трех звезд, а 13 января, напротив, появилась четвертая.

Зреет новое решение: виденные им звезды перемещаются относительно Юпитера, это его спутники — лу́ны, — и их исчезновение объясняется их затмением. К концу месяца Галилей уверен в этом, «переходя от ощущения загадки к чувству восхищения». Он пишет флорентийскому министру Винте: «Но наибольшим из всех чудес представляется то, что я открыл четыре новые планеты и наблюдал свойственные им их собственные движения и различия в их движениях относительно друг друга и относительно движений других звезд. Эти новые планеты движутся вокруг другой большой звезды таким же образом, как Венера и Меркурий и, возможно, другие известные планеты движутся вокруг Солнца». Нет сомнений, в каком контексте Галилей рассматривал свое открытие, но какую осторожную формулировку употребляет он пока в отношении «других известных планет».

До 2 марта Галилей наблюдает за спутниками Юпитера, пользуясь каждой безоблачной ночью, а уже 12 марта выходит его знаменитый «Звездный вестник, возвещающий великие и очень удивительные зрелища и предлагающий на рассмотрение каждому, в особенности же философам и астрономам, Галилео Галилеем, Флорентийским патрицием, Государственным математиком Падуанской гимназии, наблюденные через подзорную трубу, недавно им изобретенную, на поверхности Луны, бесчисленных неподвижных звездах, Млечном Пути, туманных звездах и, прежде всего, на четырех планетах, вращающихся вокруг звезды Юпитера на неодинаковых расстояниях с неравными периодами и с удивительной быстротой ...»

Далее на все сказанное выше наложились дела житейские. Оказалось, что жалование прибавят только через год, а кроме того, Галилея стали очень тяготить преподавательские обязанности. Он начинает думать о переезде во Флоренцию. Только что умер герцог Фердинандо Медичи и на престол вступил Козимо II, бывший учеником Галилея. Покровительство герцога может быть незаменимым при решении многих проблем, особенно в трудном деле защиты системы Коперника. Уже нет сомнений, что это будет главным делом Галилея. Он пишет в письме Винте в связи с возможным переездом: «Труды, которые мне предстоит довести до конца, суть прежде всего два тома «Система мира», огромный замысел, исполненный философии, астрономии и геометрии».

А пока Галилей предлагает через Винту назвать спутники Юпитера в честь Козимо Медичи Космейскими или Медичейскими звездами. Был выбран второй вариант. Количество спутников удачно совпадало с тем, что у Козимо было три брата. «Звездный вестник» посвящается Козимо Медичи: «Называя новые звезды, открытые мной, величавым именем рода Медичи, я сознаю, что если прежде возвышение в звездный мир служило для прославления богов и властелинов, то в данном случае, наоборот, величавое имя Медичи обеспечит бессмертное воспоминание об этих звездах». Потом все четыре спутника получили собственные имена (Ио, Европа, Ганимед, Каллисто), а чтобы отличить от открытых позднее спутников Юпитера, их будут называть галилеевыми.

На пасхальные каникулы Галилей отправился во Флоренцию. Он везет с собой трубу, чтобы герцог мог сам увидеть «свои» звезды. Галилей окружен почетом, в его честь должна быть выбита медаль с изображением Медичейских звезд, вчерне договариваются об условиях переезда, лишь уточняется название должности Галилея. Государю приятно увековечить свое имя на небе, никто из царственных особ не может похвастаться этим. 14 мая

Галилей получает из Франции письмо от 20 апреля, в котором его просят «открыть возможно скорей какое-либо небесное тело, которому могло бы быть дано имя его величества». Речь идет о Генрихе IV. Уточняется, что звезду следует назвать «именем Генриха без добавления Бурбон».

Оказалось, что автор письма не зря торопил Галилея: пока шло письмо, «сопутствуемый счастьем государь» был убит. Позднее Галилей писал во Флоренцию, что дом Медичи оказался в исключительном положении: ни у Марса, ни у Сатурна спутников не оказалось (через 50 лет Гюйгенс и Кассини открыли спутники Сатурна, потом обнаружились спутники и у Марса).

Сомнения не покидали герцога. Упорно распространялись слухи, что подаренные ему звезды — плод фантазии Галилея или порождение его трубы. Об этом говорил даже Христофор Клавий, первый математик Римской коллегии. Положение осложнялось тем, что никто из астрономов, кроме самого Галилея, Медичейских звезд не видел. Галилей расплачивался за то, что ни у кого не было столь совершенных труб, как у него. Столь важное открытие должны подтвердить три самых знаменитых астронома: Кеплер, Маджини, Клавий. А пока вопрос о переезде во Флоренцию откладывался.

Кеплер, Маджини, Клавий. Казалось, что проще всего обстоит дело с Маджини. Галилей по дороге из Флоренции в Падую остановится в Болонье и покажет ему открытые звезды. Маджини, славившийся в равной мере своими вычислительными способностями и хитростью, подчеркнуто предупредителен, но он делает вид, что не может ничего увидеть около Юпитера. Он не спорит, готов объяснить все своим ослабевшим зрением, но это не может утешить Галилея.

Кеплер сразу откликнулся на сообщение об открытии Галилея. Уже 19 апреля он пишет Галилею восторженное письмо. Оказывается, что известие о новых планетах пришло в Германию еще в середине марта. Кеплер в мягкой форме журит Галилея за отсутствие ответа на его «Новую астрономию», содержащую два первых его закона и недавно посланную Галилею: «... ты, мой Галилей, вместо чтения чужой книги занялся собственной невероятнейшего содержания о четырех до сих пор неизвестных планетах ⟨...⟩, найденных при помощи двойной зрительной трубы».

Первоначальная информация была расплывчата, Кеплер испугался, что Галилей открыл новые (сверх шести) планеты в Солнечной системе, а он твердо держался мнения, что планет ровно шесть, причем число шесть не случайно, а связано с тем, что имеется пять правильных многогранников. Фантазия Кеплера рождает еще одну возможность: все планеты подобно Земле имеют по одной Луне, их и должен был открыть Галилей: «...если Земля, по Копернику, одна из планет, имеет свою движущуюся вокруг нее Луну и выходящую из общего счета, то, конечно, могло случиться, что Галилей действительно мог увидеть еще четыре луны, вращающиеся в очень тесных пределах вокруг малых тел Сатурна, Юпитера, Марса и Венеры; Меркурий же — самый последний из окружения Солнца, настолько погружен в его лучи, что в нем Галилей до сих пор не мог заметить чего-нибудь подобного». Кеплер повсюду ищет числовые закономерности! Затем он думает о том, что речь может идти о планетах, вращающихся около «неподвижных звезд», а не Солнца, вспоминает бесчисленные миры Джордано Бруно и уже думает «о возможности после этого начала сделать открытия там еще бесчисленного множества новых планет».

Тем временем император Рудольф II (Кеплер был императорским астрономом) получает «Звездный вестник». Кеплер безоговорочно доверяет сообщению Галилея: «Может быть, я покажусь слишком смелым, если так легко поверю твоим утверждениям, не подкрепившись никаким собственным опытом. Но почему же мне не верить ученейшему математику, о правоте которого свидетельствует самый стиль его суждений, который далек от суетности и для стяжания общего признания не будет говорить, что видел то, чего на самом деле не видел, не колеблясь из любви к истине противоречить распространеннейшим мнениям».

А самого Кеплера, разумеется, волнуют закономерности в распределении числа спутников у планет: «Лучше я пожелаю, чтобы у меня была готова зрительная труба, с которой я обогнал бы тебя в открытии двух (так мне кажется, требует пропорция) спутников Марса и шести или восьми Сатурновых, к которым, может быть, прибавится один-другой вокруг Венеры и Меркурия». Кеплер не знал, остановиться ему на арифметической или геометрической прогрессии!

Кеплер указывает Галилею на ряд предшественников (Местлин говорил о пепельном свете Луны, Порто предсказывал возможность создания зрительной трубы). Кеплер надеется, что Солнце ярче неподвижных звезд, и ему хочется верить в исключительность нашего мира: «наш мир не принадлежит к простому стаду других бесконечных». Нет предела фантазиям Кеплера: «не будет непохожим на истину предположение, что не только на Луне, но и на Юпитере имеются жители ... Дай корабли или приспособь паруса к небесному воздуху, и найдутся люди, которые не побоятся и такой обширности ...».

Маджини пытается привлечь Кеплера на свою сторону. Кеплер неумолим: «Мы оба коперникианцы — свой своему радуется». Критические замечания из «Разговора Иоганна Кеплера со звездным вестником» (ответа Галилею) обнадежили Маджини: «Теперь остается только этих четырех новых прислужников Юпитера изгнать и уничтожить». Серию памфлетов против Галилея открыл в мае 1610 г. Мартин Горкий, астроном из окружения Маджини. В его «Кратчайшем странствии против „Звездного вестника“ » спутники Юпитера объявлялись оптическим обманом. Кеплер не постоянен в своем отношении к Горкому. В письме к Галилею это сочинение называется наглым, он «удивляется дерзости этого юнца». Самому Горкому, выражая удивление его продолжающимся сомнениям в «звездах Галилея», Кеплер пишет: « ... не удивляюсь и не обвиняю тебя; мнения философствующих должны быть свободными».

Кеплера начало волновать отсутствие подтверждений. Он сам все еще не имел подходящей трубы. Из Болоньи пришло заключение университета, что в собственную трубу Галилея звезды не видны (инсценировка Маджини). В августе обеспокоенный Кеплер пишет Галилею: «Я не могу скрыть от тебя, что в Прагу приходят письма многих итальянцев, что при помощи твоей зрительной трубы нельзя видеть эти планеты ... Поэтому я прошу тебя, Галилей, чтобы ты возможно скорее привел некоторых свидетелей ... На тебе одном лежит все доказательство истинности наблюдения». К счастью, император Рудольф II, известный не только своими причудами, но и любовью к наукам, воспылал страстью к зрительным трубам. Наконец в Праге появилась достаточно совершенная труба, и в сентябре Кеплер наблюдал спутники Юпитера. Участники наблюдения независимо зарисовали положения звезд и рисунки совпали. «Ты победил, Галилеанин!» — воскликнул Кеплер.

В сентябре спутники Юпитера видел Сантини в Венеции, а в декабре пришло особенно радостное известие: спутники наблюдал Клавий. Правда, он еще не был «уверен, планеты это или нет». В сентябре Галилей переехал во Флоренцию. Он вступает в переписку с Клавием (находясь в Венецианской республике, переписываться с иезуитами было нельзя). «Воистину Вы, Ваша милость, заслуживаете великой похвалы, поскольку Вы первый, кто это наблюдал» — пишет Галилею Клавий. Нашел Галилей путь и к сердцу Маджини. Он рекомендовал его работы по зажигательным стеклам герцогу, способствовал получению освободившейся кафедры в Падуе (Маджини претендовал на это место, еще когда Галилей переезжал в Падую из Пизы). Осторожный Маджини положительно отзывается о свидетельстве Сантини. На большее рассчитывать не приходилось!

Год великих открытий. 1610 год, начавшийся открытием спутников Юпитера, был необычайно счастливым для Галилея-астронома: почти все свои замечательные астрономические наблюдения он сделал именно в этом году. 25 июля Галилей снова наблюдал «Юпитера утром на Востоке вместе с его свитой». После этого он обнаружил «еще другое необычайнейшее чудо». Он сообщает о своем открытии во Флоренцию, прося держать его в тайне до публикации: «Звезда Сатурна не является одной только, но состоит из трех, которые как бы касаются друг друга, но между собой не движутся и не меняются ⟨...⟩, причем средняя из них примерно в три раза больше, чем две боковые». Кеплеру Галилей посылает зашифрованную в виде анаграммы фразу: «Высочайшую планету тройною наблюдал». Позднее Галилей писал: «Я нашел целый двор у Юпитера и двух прислужников у старика (Сатурна), они его поддерживают и никогда не отскакивают от его боков».

Пять месяцев не раскрывал Галилей своей тайны. Кеплеру и Рудольфу II не терпелось узнать разгадку, строились самые невероятные предположения: «Удовлетвори как можно быстрее наше страстное желание узнать, в чем состоит твое новое открытие. Не существует человека, которого ты мог бы опасаться как соперника». Галилей раскрыл тайну, добавив, что в более слабую трубу Сатурн напоминает маслину. Так получилось, что открытие Галилея (с необходимыми ссылками) впервые упоминается в печати в предисловии к «Диоптрике» Кеплера. Через два года Сатурн неожиданно перестал быть трояким. Галилей связал это с движением Сатурна вокруг Солнца и предсказал, что скоро его снова можно будет наблюдать в виде трех звезд. Предсказание сбылось, но тайны Сатурна Галилей не разгадал. Тайна раскрылась, когда в 1655 г. Гюйгенс, рассматривая Сатурн в телескоп с 92-кратным увеличением, обнаружил, что Сатурн окружен кольцом, которое при меньшем увеличении казалось боковыми звездами. Кольцо становится незаметным, когда наблюдатель оказывается в его плоскости. Это редкое явление и посчастливилось наблюдать Галилею. Такова была эволюция зрительных впечатлений от Сатурна по мере усиления телескопов: от маслины до шара, окруженного кольцом.

Гюйгенс открыл также самый большой спутник Сатурна — Титан. Вскоре после того, как было послано письмо Кеплеру с разгадкой анаграммы, появились новости и о других планетах. Галилей давно пристально наблюдал за Венерой и когда она была утренней звездой, и когда стала вечерней. С Венерой и Меркурием было много хлопот и у сторонников Птолемея, и у сторонников Коперника. Первые не могли договориться, где помещаются их «сферы» — внутри «сферы» Солнца или вне. Для сторонников Коперника было ясно, что если эти планеты являются темными телами, то поскольку они располагаются между Солнцем и Землей, временами должны наблюдаться неполные диски планет (должны наблюдаться явления, подобные фазам Луны). Этой проблемы не возникает, если предполагать, что планеты светят собственным светом (по-видимому, так думал Кеплер) или что они прозрачны (эта возможность серьезно обсуждалась). Быть может, телескоп поможет увидеть то, что не удавалось увидеть простым глазом?

Об этой проблеме напоминает Кастелли в письме Галилею от 5 декабря 1610 г.: «Поскольку (как я верю) правильно положение Коперника, что Венера вращается вокруг Солнца, то ясна необходимость того, чтобы она наблюдалась нами иногда рогатой, иногда же нет ⟨...⟩, если, однако, небольшая величина рогов и испускание лучей не мешает нам постоянно наблюдать эти различия». Но вряд ли Галилей нуждался в этом напоминании. Уже 10 декабря он отправляет в Прагу Кеплеру через тосканского посла Джулиано Медичи шифрованное сообщение об открытии фаз Венеры с сопроводительным письмом: «Я посылаю Вам шифрованное сообщение о еще одном моем необычном наблюдении, которое приводит к разрешению важнейших споров в астрономии и которое содержит важнейший аргумент в пользу пифагорейской и коперниканской системы». Кеплеру, как всегда, не терпится узнать разгадку: «Ты же видишь, что имеешь дело с немцем из немцев!»

Но первым, кому Галилей раскрыл свою тайну, был Клавий. Галилей только что получил от Клавия известие, что астрономы Римской коллегии наблюдали и спутники Юпитера, и удлиненную форму Сатурна. Поддержка Римской коллегии играла особую роль в планах Галилея, и он спешит удивить Клавия своим новым открытием. Галилей описывает свои наблюдения над Венерой после «ее вечернего появления», рассказывает о том, как неожиданно ее круглая форма стала искажаться со стороны, обращенной к Солнцу, пока Венера не стала напоминать полукруг; потом она «стала заметно рогатой». Предсказывается, какую форму будет принимать Венера, когда она будет наблюдаться в виде утренней звезды, и вот вывод: «Так вот, синьор мой, выясняется, как Венера (и несомненно, что то же самое сделает и Меркурий) движется вокруг Солнца, являющегося, вне всякого сомнения, центром наибольших обращений всех планет. Кроме того, мы уверены, что эти планеты сами по себе являются темными и блестят только освещенные Солнцем, чего, как я думаю, не происходит с неподвижными звездами по некоторым моим наблюдениям ...». У Клавия не должно было остаться сомнений в том, куда клонит Галилей! Так закончился для Галилея год его великих астрономических открытий.

Галилей не прекратил в дальнейшем астрономических наблюдений, но в основном это было продолжение того, что было наблюдено в 1610 г. Он продолжал наблюдения над солнечными пятнами, начатые летом 1610 г., и к 1613 г. обнаружил осевое вращение Солнца; мы уже говорили о наблюдении исчезновения «придатков» Сатурна. В конце жизни, перед тем как окончательно ослепнуть, Галилею посчастливилось открыть явление либрации Луны (в результате которого наблюдению доступно более половины поверхности Луны). Но Галилей уже никогда не будет уделять столько времени совершенствованию телескопа и астрономическим наблюдениям. И никогда великие тайны мироздания не будут открываться ему так, как в этот великий год! Достижения Галилея были столь велики, что пройдет не менее полувека, прежде чем в наблюдательной астрономии появятся открытия, сравнимые с открытиями Галилея (Гюйгенс, Кассини). А пока Галилея начинают волновать другие проблемы, и для решения этих проблем ему важно было поехать в Рим.

Покорение Рима. Галилей прибыл в Рим 29 марта 1611 г.; он прибыл как лицо, пользующееся особым вниманием тосканского герцога (в герцогских носилках, остановился в римском дворце Медичи). Любезно приняли Галилея четыре астронома Римской коллегии: Клавий, Гринберг, Малькотий, Лембол. Галилей обнаруживает, что отцы-иезуиты систематически наблюдают в трубы Медичейские звезды, пытаются определить их периоды. 21 апреля один из руководителей Священной службы кардинал Роберто Беллармино посылает им официальный запрос «о новых небесных наблюдениях одного выдающегося математика» (имя не указано) относительно Млечного Пути, Сатурна, Луны, спутников Юпитера. 24 апреля был получен ответ, в основном подтверждающий наблюдения. Указывались небольшие расхождения в наблюдениях (звезды, образующие Сатурн, не показались им разделенными) и существенные — в интерпретации виденного на Луне (не горы, а неравномерная плотность «лунного тела»).

14 апреля Галилей (пятым по счету) стал членом Академии Линчеев (рысьеглазых), основанной восемь лет назад Федерико Чези, маркизом Монтичелли. Эта Академия ставила своей целью свободное, не связанное никакими рамками изучение природы. Позднее Чези писал Галилею: «Те же, кого мы примем, не будут рабами ни Аристотеля, ни какого-либо другого философа, а людьми благородного и свободного образа мыслей в исследовании природы». Дружба с Чези играла важную роль в дальнейшей жизни Галилея; теперь он ставил на своих работах имя «Гали-

лео Линчео». На вершине Яникульского холма состоялась демонстрация удивительной трубы Галилея (тогда и предложил Чези называть ее телескопом).

Галилея чествует и Римская коллегия. Доклад, получивший название «Звездный вестник Римской коллегии», читает Одо Малькотий. Он называет Галилея «самым знаменитым и счастливейшим из живущих ныне астрономов», восхищается его открытиями, но в мягкой форме сообщает, что предлагаемые Галилеем объяснения открытых явлений не являются единственно возможными. Галилею дают понять, в каких рамках он должен держаться. Очень точно это пожелание выражено в словах Гвальдо: « ... вы должны довольствоваться славой, которую приобрели благодаря наблюдениям Луны, четырех планет и подобных вещей, и не браться защищать мысль, столь противную человеческому разумению ... ». Следующая мысль Гвальдо предвещала путь, который позднее выберет Галилей: «Существует много вещей, которые можно сказать в виде диспута, но которые не было бы хорошо утверждать как истинные, в особенности, если имеешь против них всеобщее мнение, впитанное, если можно так сказать, с сотворения мира». По-видимому, пределы дозволенного указал Галилею и кардинал Беллармино во время аудиенции. Еще более определенное предупреждение сделал Беллармино тосканскому послу Никколини: «Галилей должен держаться в указанных рамках, иначе его работы будут переданы для рассмотрения богословам-квалификаторам» (а посол должен был понимать, что ничем хорошим это не кончится).

В остальном поездка Галилея была успешной. Кардинал дель Манто писал герцогу: «Галилей в дни, когда был в Риме, доставил много удовлетворения и, думаю, получил его сам, ибо имел возможность столь хорошо демонстрировать свои открытия, что все достойные и сведущие люди этого города признали их не только достовернейшими и действительнейшими, но и поразительнейшими. Если бы мы жили теперь в республике Древнего Рима, то я убежден, что ему бы воздвигли статую на Капитолии, дабы почтить его исключительную доблесть».

«Философ и первый математик великого герцога». Итак, не прошло и года как удивительные астрономические открытия Галилея получили признание. Не следует думать, что заключение

Римской коллегии прекратило обвинения против Галилея. Люди, отрицавшие существование новых планет, по-прежнему находились. Подозрения к зрительным трубам сохранялись. Аргументация бывала самой нелепой (быть может, с сегодняшней точки зрения). Вот цепь рассуждений некоего Сицци. Зрительная труба подобна очкам, очки не могут в равной мере годиться для молодых и стариков, а раз и те, и другие видят в трубе Галилея планеты, то это обман зрения. А например, Либри из Пизы просто отказывался смотреть в зрительную трубу. «Я надеюсь, что, отправляясь на небо, он, наконец, заметит моих спутников, которых не желал видеть с Земли», — говорил Галилей после его смерти. Многие противники Галилея понимали, что особенно эффективны доносы в инквизицию с утверждениями о том, что высказывания Галилея противоречат священному писанию.

Но если так обстоит дело с явлениями, доступными непосредственному наблюдению, то какие опасности угрожали Галилею за его высказывания в пользу системы Коперника! В «Звездном вестнике» Галилей обещал написать «Систему мира», в которой он «шестьюстами доказательствами и натурфилософскими рассуждениями» подтвердит, что «Земля движется и своим светом превосходит Луну». Разведка в Риме ясно показала, что в настоящий момент эти рассуждения не встретят поддержки у «начальственных лиц». Галилей не отказывается от своих намерений, но начинает длительную осаду. Он хорошо понимал, что признание Коперника не было внутринаучным вопросом, что ему предстоит в первую очередь убедить сильных мира сего, что это потребует всех его сил, отвлечет от непосредственных научных занятий. Оправданность принятого Галилеем решения ставилась под сомнение многими учеными. Известно мнение Эйнштейна по этому поводу: «Что касается Галилея, я представлял себе его иным. Нельзя сомневаться в том, что он страстно добивался истины — больше чем кто-либо иной. Но трудно поверить, что зрелый человек видит смысл в воссоединении найденной истины с мыслями поверхностной толпы, запутавшейся в мелочных интересах. Неужели такая задача была для него важной настолько, чтобы отдать ей последние годы жизни … Он без особой нужды отправляется в Рим, чтобы драться там с духовенством и политиканами. Такая картина не отвечает моему представлению о внутренней независимости старого Галилея. Не могу себе представить, чтобы я, например, предпринял бы нечто подобное, чтобы отстаивать теорию относительности. Я бы подумал: истина куда сильнее меня, и мне показалось бы смешным донкихотством защищать ее мечом, оседлав Росинанта ...» Галилей придерживался иного мнения, но он мало напоминает дон Кихота от науки. Он не столько дрался с «духовенством и политиканами», сколько с величайшим искусством привлекал их на свою сторону.

Приведенное высказывание Эйнштейна интересно сопоставить с мнением пифагорейцев, впервые допустивших движение Земли и неподвижность Солнца: «Постараемся лишь знать что-то для самих себя, находя единственно в этом удовлетворение, и оставим желание и надежду возвыситься в глазах толпы или добиться одобрения философов-книжников».

Прежде всего традиция была такова, что математику не полагалось обсуждать вопрос о строении мира. Наблюдать светила, составлять таблицы, пользоваться таблицами для гороскопов — вот круг обязанностей математика. У Галилея не было вкуса к составлению гороскопов (как, например, у Кеплера), но все же иногда приходилось этим заниматься. Так, в ожидании переезда во Флоренцию он по настоянию герцогини составил гороскоп болевшего герцога Фердинанда (отца нынешнего герцога) . Гороскоп обещал благоприятное развитие событий, герцог обрадовался, зять Галилея получил желанную должность, а через несколько дней герцог умер ... Для того, чтобы рассуждать о строении мира, надо быть по крайней мере философом (ведь и жалование у них заметно выше, чем у математиков), а если окажется замешанным священное писание, надо быть непременно богословом. Последнее Галилею недоступно, а вот философом он может попытаться стать.

При переезде во Флоренцию Галилей долго ведет переговоры о названии его будущей должности; он хочет, чтобы в ее названии фигурировало слово «философ», ибо «философию он изучал больше лет, чем месяцев чистую математику». В конечном счете договорились о названии «философ и первый математик светлейшего великого герцога тосканского» (первый математик, но не первый философ!).

Свою жизнь во Флоренции он начинает с дискуссий с консервативными философами Пизанского университета, последователями Аристотеля, которые считали, что истину, «говоря их собственными словами, надо искать не в мире и не в природе, а в сопоставлении текстов». Галилей доволен первыми успехами: «Как бы ты, любезнейший Кеплер, принялся хохотать, если бы ты услышал, как в Пизе в присутствии великого герцога первый философ тамошнего университета выступал против меня, силясь аргументами логики, словно колдовскими заклинаниями, сорвать с неба и уничтожить новые планеты!» Его дискуссии касаются не только астрономии. В 1612 г. выходят «Рассуждения о телах, пребывающих в воде», посвященные гидростатике и весьма неприятные для сторонников Аристотеля. Еще через год выходят «Письма о солнечных пятнах», острие которых направлено в ту же сторону: «Эта новость, боюсь, станет похоронным звоном или, скорее, смертным приговором для псевдофилософии ⟨...⟩, надеюсь, что гористость Луны станет для перипатетиков шуточным щекотанием по сравнению с муками в виде облаков, паров и обилия дыма, которые постоянно возникают, движутся и исчезают на самом лике Солнца» (из письма к Чези). Перипатетиками называют сторонников учения Аристотеля. Быть может, Галилей преждевременно праздновал победу ...

Все больше втягивается Галилей в дискуссии с людьми, далекими от настоящей науки. Иногда его мучают сомнения: «С несказанным отвращением добрался я до сих пор и, словно раскаявшись за содеянное, понял, как бесплодно растратил силы и время». Борьба обострялась. Против Галилея были направлены проповеди доминиканца Каччини, предлагавшего радикальные меры: «Математики должны быть изгнаны из всех католических государств!». Галилей в то же время решается обсуждать богословские проблемы. В 1614 г. распространяется в списках письмо к Кастелли, в котором можно найти такие слова: «Поскольку речь идет о явлениях природы, которые непосредственно воспринимаются нашими чувствами или о которых мы умозаключаем при помощи неопровержимых доказательств, нас нисколько не должны повергать в сомнение тексты писания, слова которых имеют видимость иного смысла, ибо ни одно изречение писания не имеет такой принудительной силы, какую имеет любое явление природы». Вероятно, именно это письмо послужило поводом для доноса патера Лорини в инквизицию. Оказалось, что Галилей был достаточно аккуратен. Въедливые квалификаторы смогли найти в письме лишь «три дурно звучащих места», причем двух из них в подлиннике не было (инквизиция не смогла получить оригинал послания).

В феврале 1615 г. в Неаполе выходит книга члена ордена кармелитов Фоскарини, в которой в форме письма генералу ордена излагается система Коперника. Беллармино воспользовался этим поводом для изложения в письме к Фоскарини своего отношения к проблеме: «...Ваше священство и господин Галилео мудро поступают, довольствуясь тем, что говорят предположительно, а не абсолютно, я всегда полагал, что так говорил и Коперник. Потому что, если сказать, что предположение о движении Земли и неподвижности Солнца позволяют нам представить явления лучше, чем принятие эксцентров и эпициклов, то это будет сказано прекрасно и не влечет за собой никакой опасности. Для математика это вполне достаточно. Но желать утверждать, что Солнце и действительно является центром мира и вращается только вокруг себя ⟨...⟩ — утверждать это очень опасно не только потому, что значит возбудить всех философов и теологов-схоластов, это значило бы нанести вред святой вере, представляя положения святого писания ложными». Надо отдать должное главе инквизиции — он выразил свое мнение предельно ясно.

В декабре 1615 г. Галилей опять в Риме. Вероятно, он хотел повлиять на ход идущего по его поводу следствия, да и не потерял он еще надежды изменить мнение церкви по поводу системы Коперника.

«Спасительный декрет». Галилей весь во власти дипломатии. Он посещает Беллармино, пытается привлечь на свою сторону кардинала Орсини. В послании к нему излагается самый сокровенный аргумент в пользу движения Земли — приливы и отливы. Он объясняет их взаимодействием суточного и орбитального движений Земли и не видит конкурирующего объяснения. Это объяснение Галилей придумал в Венеции, наблюдая, как движется вода в лодке при ее ускорении и замедлении. «Это явление установлено бесспорно, легко понятно и может быть проверено на опыте в любое время». Все прочие объяснения делают систему Коперника

очень правдоподобной, но окончательное доказательство движения Земли можно обнаружить лишь на самой Земле! Будущее показало, что главный козырь Галилея был ошибочным, но выяснилось это много позднее. Галилей в самом центре римских интриг: «Нахожусь я в Риме, где как погода постоянно меняется, так и в делах всегда царит неустойчивость».

Кончилось все тем, что 24 февраля комиссия из 11 богословов признала утверждение о движении Земли «по меньшей мере заблуждением в вере». Галилею это решение было сообщено генеральным комиссарием инквизиции в присутствии кардинала Беллармино. 5 марта конгрегация индекса «задержала» (но не запретила) книгу Коперника. Этот акт был почти символическим. Из книги собирались изъять несколько фраз о том, что излагаемая доктрина не противоречит писанию, да исправить те места, где Коперник называет Землю светилом (светила — это Солнце и Луна!). Тосканский посол в письме на родину жалуется на настойчивость Галилея, но выражает надежду, что Галилей не пострадает. Распространились слухи, что от Галилея потребовали клятвенного отречения, и Галилей получил от Беллармино удостоверение, опровергавшее эти слухи: «Ему лишь было объявлено решение, вынесенное нашим владыкой и обнародованное святой конгрегацией индекса, в котором говорится, что доктрина, приписываемая Копернику, что Земля движется вокруг Солнца и что Солнце находится в центре мира, не двигаясь с востока на запад, противна священному писанию, и поэтому ее нельзя ни защищать, ни держаться». Это было в мае перед отъездом из Рима, а еще ранее Галилей был принят папой Павлом V. То, что произошло, еще не было осуждением, но было грозным предупреждением. Нарушение ясно выраженного запрета — несомненное преступление.

В ожидании перемен. Галилей покидает Рим, он подчиняется «спасительному декрету». Но не слишком ли демонстративной выглядит его покорность? Вот, например, что он пишет, посылая свою работу «Приливы и отливы» эрцгерцогу Австрии Леопольду, брату тосканской герцогини: «Ныне, зная, что следует слушаться и верить постановлениям начальственных лиц как проистекающим от более возвышенных знаний, до коих мой низкий ум сам по себе не поднимается, я рассматриваю это посылаемое Вам сочинение, имеющее в основе мысль о движении Земли, т. е. один из физических аргументов, которые я приводил в доказательство этого движения. Я рассматриваю это, повторяю, как поэтический вымысел или сновидение ...» Трудно поверить, что этот человек никогда не будет говорить о движении Земли. Но для возвращения к этой теме Галилею нужны не новые аргументы, а изменение житейской ситуации. И он дождался изменений. Умер папа Павел V, влиятельным секретарем нового папы Григория XV стал Чамполи, благоволивший к Галилею, в 1621 г. не стало страшного кардинала Беллармино, а в 1623 г. папой под именем Урбана VIII стал кардинал Маттео Барберини, образованный человек, покровитель наук, не скрывавший своего восхищения Галилеем.

В это время Галилей заметно активизируется. В 1623 г. выходит его книга «Пробирные весы» — ответ астроному Римской коллегии Грасси, посвященный кометам. Здесь еще не идет прямо речь о движении Земли. Но следующая книга «Послание к Инголи», написанная в 1624 г., имеет к этому вопросу прямое отношение. Книга была ответом на направленное против системы Коперника сочинение Франческо Инголи, высокообразованного клирика, вышедшее в 1616 г. Знаменательно, что Галилей ждал с ответом 8 лет. В небольшом по объему «Послании» много ярких и смелых страниц. Здесь и поэтическое описание обстановки на корабле, не позволяющей обнаружить его движение, — замечательное пояснение закона инерции; здесь и рассуждения о неподвижных звездах, которые сравниваются с Солнцем; здесь и свободное обсуждение проблемы размеров Вселенной.

Что касается последнего, то здесь нет и намека на мир, ограниченный «восьмым небом» неподвижных звезд. Галилей четко объясняет, что не видит аргументов, позволяющих выбрать между гипотезами о конечной или бесконечной Вселенной, но вполне допускает, что человеку доступна лишь небольшая ее часть: « ... мне вовсе не претит мысль о том, что мир, границы которому положены нашими внешними чувствами, может оказаться столь же малым по отношению к Вселенной, как мир червей по отношению к нашему миру». Очень смело допускает Галилей предположение о бесконечности Вселенной! Можно вспомнить, как неуютно почувствовал себя великий фантазер Кеплер, предположив, что существует бесконечное число миров, подобных солнечной системе (в «Разговоре со звездным вестником»): «...мне пришлось бы обречь себя на оковы, на темницу в бесчисленных мирах Бруно и даже, более того, на изгнание в эту бесконечность».

«Послание к Инголи» было написано осенью 1624 г., а весной 1625 г. Галилей вновь посетил Рим. Разумеется, его целью было установить контакты с новым папой, оценить насколько благоприятной стала обстановка. Галилей шесть раз беседовал с папой, был обласкан всей многочисленной семьей Барберини, установил благоприятные контакты с рядом кардиналов, включая влиятельного немецкого кардинала Цоллерна. Отношение лично к Галилею не могло быть лучшим, но главная надежда не оправдалась: Урбан VIII твердо поддержал утверждение «спасительного декрета» о движении Солнца и неподвижности Земли. Галилей обнаружил, что в обсуждении этого вопроса они с папой разговаривают на разных языках. Галилей утверждает, что невозможно объяснить приливы и отливы иначе, как предположив движение Земли, но получает разъяснение, что то, что неизвестно людям, может быть известно богу. С такими аргументами спорить трудно! Галилей возвращается, а вслед ему тосканскому герцогу Фердинандо (Козимо недавно умер) отправляется послание папы с выражением удовлетворения визитом флорентийского ученого, самыми хвалебными отзывами о нем.

«Система мира». Вернувшись из Рима, Галилей решает, наконец, написать книгу с изложением всех аргументов в пользу системы Коперника. Об этой книге он мечтал в 1597 г., когда писал Кеплеру, ее он обещал в «Звездном вестнике», создание такой книги он считал главным делом при переезде во Флоренцию. Галилею исполнилось 60 лет, здоровье оставляло желать лучшего. Поездка в Рим не была полным успехом, но ожидать лучшего момента не приходилось. Разумеется, после «спасительного декрета», которого, как выяснилось, твердо придерживаются «начальственные лица» в Риме по сей день, нельзя было думать об открытой поддержке гелиоцентрической системы, но Галилею не привыкать хитрить.

Даже на богословских диспутах позволяли одному из участников «условно» защищать еретическую точку зрения с тем, чтобы более выпукло ее разоблачить. Система Коперника не была объявлена ересью, и даже Беллармино позволял говорить о ней «предположительно» как о математическом построении. Галилей придумывает художественный прием. Трое собеседников Сальвиати, Сагредо и Симпличио соберутся во дворце Сагредо и будут в течение шести дней «беспристрастно» обсуждать каждую из двух систем мира. Первые два героя носят имена умерших друзей Галилея, третье имя — сторонника Аристотеля и Птолемея — вымышленно.

Более пяти лет напряженно работает Галилей над книгой; он, безусловно, воспринимает ее как главный труд своей жизни. К 1630 г. закончены четыре дня из шести: в первый день обсуждается принципиальная возможность движения Земли, во второй — ее суточное движение, в третий — годовое движение и, наконец, в четвертый — приливы и отливы — самая любимая находка Галилея. Он решает ограничиться четырьмя днями, назвать книгу «Диалогом о приливах и отливах». Весной 1630 г. Галилей везет рукопись в Рим.

Надо сказать, что созданная Галилеем книга, пользуясь современной терминологией, должна быть отнесена к разряду научно-популярных. Галилей сознательно адресует ее широкой публике, а не только ученым; он хочет всех убедить в существовании неопровержимых аргументов в пользу Коперника. Отчасти в связи с этим, отчасти из-за своих научных вкусов Галилей почти исключительно оперирует с качественными явлениями, не увязывая системы с численными данными астрономических наблюдений. Планеты у него движутся равномерно по окружностям с центром в Солнце, что не было никакой возможности согласовать с данными наблюдений. В этом отношении Галилей значительно уступает Кеплеру и уходит от обсуждения проблем, которые волновали Коперника. По-видимому, вычислительная астрономия не была сильной стороной Галилея.

Галилей получает аудиенцию у папы, встречается с влиятельными кардиналами. Урбан VIII не против книги, в которой будут содержаться условные аргументы в пользу осужденной системы, но не должно создаваться ощущения, что читателю предоставляется выбор между двумя системами. Книга должна содержать недвусмысленные указания на окончательность утверждения о движении Солнца и неподвижности Земли, освященного церковью. Кроме того, папа бракует название «Диалог о приливах и отливах». Галилей обещает выполнить пожелания в еще ненаписанных введении и заключении. Рукопись была передана Магистру Святого дворца (главному цензору) Никколо Риккарди (известному под именем отец Мостро) для вынесения суждения. Отец Мостро выбирает выжидательную тактику, он в отличие от Галилея не торопится.

Дальнейшее напоминает детективную историю, в которой Галилей и его благожелатели проявили чудеса изобретательности с тем, чтобы книга увидела свет. Уже для получения предварительного согласия, по-видимому, Чамполи, бывший секретарем папы, пошел на обман, рискуя карьерой. Книгу полагалось печатать в Риме. С огромными хитростями, со ссылками на здоровье Галилея, чуму в Италии и т. д. ее напечатали во Флоренции.

22 февраля 1632 г. герцог Фердинандо получил в подарок первый экземпляр посвященной ему книги «Диалог Галилео Галилея Академии Линчеи, Экстраординарного Математика Пизанского Университета и Главного Философа и Математика Светлейшего Великого Герцога Тосканского, где в четырех дневных беседах ведется обсуждение двух Основных Систем Мира, Птолемеевской и Коперниковой, и предлагаются неокончательные философские и физические аргументы как с одной, так и с другой стороны». В предисловии, адресованном «благоразумному читателю», объясняются мотивы, по которым автор приводит аргументы в пользу системы Коперника. Он вспоминает «спасительный эдикт, который для прекращения опасных споров нашего времени своевременно наложил запрет на пифагорейское мнение о подвижности Земли».

Галилея «волнуют» распространяющиеся слухи, «что этот декрет был издан не на основании надлежащего рассмотрения вопроса, а под влиянием страстей и людьми мало осведомленными». Эти-то слухи и должна опровергнуть предлагаемая книга. Он хочет показать «чужеземным народам, что в Италии вообще и в Риме в особенности знают по этому предмету не менее того, что могут знать исследователи за границей ⟨...⟩ и собрав воедино все собственные наблюдения, относящиеся к системе Коперника, заявить, что знакомство с ними предшествовало постановлению римской цензуры, и что от последней исходят не только догмы для спасения души, но также и остроумные открытия, удовлетворяющие разум». Наконец, «если мы принимаем неподвижность Земли и признаем противоположное мнение математическим парадоксом, то основой нашего убеждения является не неведение того, что думают другие, а иные соображения и мотивы — благочестие, религия, сознание всемогущества божия и признание несовершенства человеческого разума». Ну что же, цели должны были показаться в Риме достойными: пресечь разговоры о необдуманности эдикта, поставить на место «чужеземные народы». Впрочем некоторые формулировки сегодня кажутся двусмысленными. Возможно, они показались таковыми и кому-то из «начальственных лиц». По крайней мере, вскоре после того, как экземпляры «Диалога» оказались в Риме, разразился гром.

Процесс и отречение. По-видимому, инициатива в преследовании Галилея принадлежала самому Урбану VIII. Что так рассердило папу и сделало его непримиримым? Быть может, он счел неискренними похвалы «своевременности спасительного эдикта?» Несомненно, что «Диалог» появился в очень тяжелое для Урбана время. Сильная испанская оппозиция в Риме добивалась смещения папы, и он мог вполне опасаться быть обвиненным в поддержке учения, «заподозренного в ереси». Поговаривали, что папа узнал себя в простаке Симпличио, защищавшем неподвижность Земли. Галилей пишет во введении, что этот герой, в отличие от двух других, не назван его собственным именем. О чем должен был подумать Урбан, если действительно обнаружил в разглагольствованиях Симпличио соображения, когда-то высказанные Галилею?

В августе 1632 г. папская курия запрещает распространение «Диалога». В сентябре дело передается в инквизицию. Начинается длительная игра. Благожелатели Галилея, включая тосканского герцога, вначале пытаются избежать рассмотрения дела в инквизиции, затем перенести рассмотрение во Флоренцию и, наконец, по возможности оттянуть разбирательство, ссылаясь на болезнь Галилея. Все эти попытки окончились безрезультатно —

Урбан VIII был неумолим. Угроза быть доставленным в оковах заставила Галилея в январе 1633 г. отправиться в Рим. 13 февраля он в Риме, а 12 апреля предстает перед генеральным комиссарием инквизиции Макулано. Начинается мучительное разбирательство, на Галилея оказывается давление, по-видимому, ему предъявляли орудия пытки. Шла изматывающая борьба в поисках компромисса. Три квалификатора Святой службы дали заключения, что книга, по крайней мере, нарушает запрет держаться осужденной доктрины и распространять ее. Галилей признает, что против своего желания усилил аргументы в пользу системы Коперника. 22 июня в церкви святой Марии-над-Минервой коленопреклоненный Галилей, которому через полгода должно было исполниться 70 лет, выслушивает приговор. За то, что он «считал, будто можно держаться и защищать в качестве правдоподобного мнение после того, как оно было объявлено и определено как противное священному писанию», Галилей объявлялся «сильно заподозренным в ереси», книга «Диалог» запрещалась, Галилей приговаривался к заключению в Святой службе (заподозренного в ереси не сжигали как еретика!) и он должен «три года единожды в неделю читать семь покаянных псалмов». Затем Галилей зачитывает текст отречения: «...после того как мне было объявлено, что названная доктрина противоречит священному писанию, я написал и напечатал книгу, в которой трактую об этой самой доктрине, осужденной в прошлом, и с большой убедительностью привожу аргументы в ее пользу, не давая никакого решения ...» Он клянется «исполнить и блюсти все эпитимьи», на него наложенные.

Может быть, в этот момент Галилей пожалел, что покинул Венецианскую республику, где он был недосягаем для инквизиции, переоценив возможности тосканского герцога. Но в Венеции у него, по-видимому, не было шансов издать свой главный труд, что, несмотря на страшные последствия, ему удалось во Флоренции. Заключение в тюрьме инквизиции было заменено ссылкой, вначале в римский дворец Медичи; через две недели его отправили в Сиену к архиепископу Пикколамини. Еще через полгода ему разрешили перебраться в его виллу Арчетри, невдалеке от монастыря, где находились его дочери. Там и прожил Галилей восемь оставшихся ему лет, лишь ненадолго выехав во Флоренцию.

Повсюду Галилей находился под неусыпным оком инквизиции, которая тщательно контролировала его связи с внешним миром. Урбан VIII не проявил милосердия к опальному ученому даже в день его кончины. Его родственник кардинал Барберини передает во Флоренцию: «...нехорошо строить мавзолей для трупа того, кто был наказан трибуналом святой инквизиции и умер, отбывая это наказание». Герцогу пришлось отказаться от желания похоронить Галилея рядом с Микеланджело (это желание было исполнено через много лет).

Отречение Галилея не перестает волновать людей и сегодня. Имел ли право ученый отречься от теории, которую считал несомненной истиной и утверждению которой отдал значительную часть своей жизни? Предлагались разные объяснения принятого Галилеем решения: страх 70-летнего больного ученого перед пыткой и сожжением, ощущение, что он выполнил свою миссию и ничто уже не может помешать распространению книги, возможность сохранить оставшиеся годы (их оказалось восемь) для занятий наукой (он вернулся к занятиям, которые прервал на четверть века, ради разработки идей, от которых теперь должен был отречься). В книге К. Рид «Гильберт» рассказывается, что великий математик с присущей ему непосредственностью говорил о Галилее: «Но он же не был идиотом. Только идиот может считать, что научная истина требует мученичества. Быть может, так обстоит дело в религии, но научные результаты доказывают себя с течением времени». Следует иметь в виду, что Галилей и раньше шел на компромиссы и уже после 1616 г. формально признавал неподвижность Земли (в том числе и в «Диалоге»).

Легендарной фразы «А все-таки она вертится!» Галилей, по-видимому, не говорил, но несмотря на его несомненную религиозность, его отречение не могло быть искренним. Его не могло не радовать, что «Диалог» не удалось изъять полностью, и что в 1635 г. в Европе появился перевод на латинский язык. Его венецианский знакомый Миканцио пишет ему: «Примечательная вещь — после выхода в свет вашего „Диалога“ люди, знающие математику, тут же перешли на сторону Коперниковой системы. Вот к чему привели запреты!» Галилей отвечает: «То, что Вы писали мне относительно „Диалога“, в высшей степени для меня неприятно, поскольку это может причинить великое волнение начальственным лицам. Ведь выдача разрешения читать „Диалог“ столь ограничена, что их святейшество сохраняет его лишь единственно для себя самого, дабы в конце концов, что вполне может случиться, об этой книге совершенно забыли».

Очень тяжел был для Галилея позор, связанный с процессом и приговором, но тяжел был и запрет продолжать работу над проблемами мироздания. У него не было сомнений, что от этих занятий он должен отказаться. Что же оставалось Галилею? У него есть все основания жаловаться на эпоху: «Несчастная наша эпоха, ныне царит твердая решимость искоренять всякую новую мысль, особенно в науках, как будто бы уже познано все, что можно познать!» Можно утешаться предсказаниями его старого единомышленника Кампанеллы (еще в 1616 г. в неаполитанской тюрьме написавшего «Апологию Галилея»): «Грядущий век рассудит нас, ибо современность всегда распинает своих благодетелей, но они потом воскресают на третий день или на третье столетие». Через несколько недель после приговора Галилей вспоминает о прерванном на полуслове трактате по механике, и на ближайшие годы написание этой книги становится главным делом Галилея, целью его жизни. Он вспоминает об открытом им в юности изохронном свойстве маятника и поручает сыну Винченцо сконструировать маятниковые часы. Галилей неумолимо слеп. К окончанию работы над книгой он уже потерял зрение на один глаз, и все же он временами наблюдал небо в телескоп, описал либрацию Луны, пока в конце 1637 г. не ослеп окончательно: «...то небо, тот мир и та Вселенная, которую я своими поразительными наблюдениями и ясными доказательствами расширил в сотни и тысячи раз по сравнению с тем, как обычно видели ее мудрецы всех прошлых веков, ныне для меня так уменьшилась и сузилась, что стала не больше того пространства, которое занимает моя персона. Из-за недавности случившегося я еще не могу относиться к несчастью с терпением и покорностью, однако течение времени должно будет меня к этому приучить». И все-таки в последний дарованный ему год он опять наблюдал Медичейские звезды, а его старые друзья навели его на мысль, которая завладела им в его последние дни.

Опять медичейские звезды. Возможно, эта идея появилась у Галилея еще раньше, в конце 1635 г., когда он давал для Французской комиссии, созданной кардиналом Ришелье, отзыв на метод Морена определения долготы местности по наблюдениям над движением Луны. Метод оказался несостоятельным, но следует обратить внимание, сколь высокопоставленная особа была в нем заинтересована. А дело в том, что задача определения долготы на борту корабля в XVII веке — веке мореплавания — была одной из самых актуальных. Сегодня трудно поверить, что в то время моряки совершали дальние плавания, не имея сколь-нибудь надежного способа измерять координаты корабля в открытом море. Это, конечно, не касалось широты: ее умели надежно измерять, по крайней мере, в XVI веке (например, по высоте Солнца в полдень). А что касается долготы, то ученые ничего реального предложить не могли. Проблема эта все больше волновала морские державы по соображениям сугубо экономическим. Автор метода измерения долготы с приемлемой точностью (скажем, до 1/2 градуса) мог в разное время получить 100 000 экю от Филиппа II Испанского, или 100 000 ливров от Людовика XIV, или 20000 фунтов от английского парламента, или 100 000 флоринов от Генеральных Штатов Голландии. Меньшая точность пропорционально уменьшала премию. Эти цифры достаточно выразительно свидетельствуют об интересе к проблеме.

Идея измерения долготы восходит еще к Гиппарху (II век до н. э.): надо воспользоваться тем, что разность долгот в двух пунктах земного шара пропорциональна разности местных времен в этих пунктах. Так, в пунктах, у которых долготы отличаются скажем на 15°, разница в местном времени равна 1 часу ($360°/24 = 15°$). Поэтому задачу можно свести к измерению местного времени на корабле и соответствующего времени в какой-нибудь фиксированной точке, например, в порту отплытия. Местное время в пункте нахождения корабля измерить реально, но как помнить время в порту отплытия? Долго никто и не помышлял о его «сохранении». Прекрасный пример — история о сутках, «потерянных» во время кругосветного плавания Магеллана! Да и не было часов, которые могли бы это время помнить, особенно в условиях морской качки.

Другая возможность — воспользоваться какими-нибудь астрономическими явлениями, которые можно наблюдать на борту корабля и точное время наступления которых в порту отплытия известны. Но как мало подходящих явлений! Что можно предложить сверх солнечных и лунных затмений, которые происходят слишком редко? Таблицы для движения Луны были столь несовершенны, что не позволяли определять долготу за счет повседневных наблюдений за Луной (примером такой попытки и был метод Морена). Галилей описывает ситуацию с присущей ему торжественностью: «По прежним временам небо было на этот счет щедро, но по нынешним нуждам оно изрядно скупо, помогая нам только лунными затмениями: и не потому, что то же самое небо не изобилуют явлениями частыми, заметными и куда более подходящими для наших нужд, чем лунные и солнечные затмения, но правителю мира угодно было скрывать их вплоть до наших дней ...» Оптимизм, который чувствуется в последних словах Галилея, связан с надеждами, которые он возлагал на открытые им Медичейские звезды — спутники Юпитера. Дело в том, что одна из их особенностей, открытых еще во время первых наблюдений 1610 г., — частые затмения. Если бы не наклон лунной орбиты к земной, Луна попадала бы в конус тени, отбрасываемой Землей, каждое полнолуние. Спутники Юпитера попадают в мощный конус его тени при каждом обороте, а вращаются они довольно быстро (Ио совершает полный оборот примерно за 42,5 земных часа). На наблюдении затмений спутников Юпитера и решает Галилей построить свой способ измерения долготы на борту корабля.

Он начинает переговоры, не дожидаясь окончательной разработки метода. Первоначально Галилей думал об Испании (вероятно, было важно, что это традиционная католическая страна), о встрече с вице-королем в Неаполе, но постепенно переориентировался на Голландию, где его идея вызвала больший интерес. В 1636 г. секретные переговоры с Генеральными Штатами в самом разгаре, в августе принимается решение запросить у Галилея необходимые материалы для рассмотрения. Галилей пишет торжественное обращение к Генеральным Штатам Голландии как к «покорителям и властителям океана». Приведенная выше цитата была взята из этого обращения. Галилей считает символичным, что телескоп, который играет первостепенную роль в его методе, был изобретен в Голландии. Он не скупится на описание преимуществ, которые получит Голландия, воспользовавшись его методом: «Я мог бы назвать множество искусств, но достаточно ограничиться кораблевождением, доведенным вашими же голландцами до столь поразительного совершенства, и если единственное оставшееся дело — определение долготы, которое, видим, пока им не дается, — благодаря их последнему и величайшему изобретению присоединится к списку остальных остроумных операций, то слава их достигает такого предела, превзойти который никакая другая нация не сможет и мечтать».

Была образована авторитетная комиссия, в которую вошли адмирал Лауренс Реаль, астроном и математик Гортензий, а позднее и член Государственного Совета Константин Гюйгенс (отец великого ученого). Практичным голландцам нелегко было поверить в реалистичность предлагаемого метода. «Представляете ли Вы себе, скольким людям высокого положения и власть имущим мы были вынуждены проповедовать неведомую дотоле истину, принятую вначале за безумие», — сетовал К. Гюйгенс. Впрочем и сами благожелательные члены комиссии не были уверены в возможности практически реализовать проект. Адмирал Реаль в письме Галилею опасается, что его метод может оказаться слишком тонок «для такого грубого народа как голландские моряки». Сомнения можно почувствовать и в словах К. Гюйгенса: «Наши народы с трудом сочтут себя обязанными за широкий дар, более прекрасный, чем выгодный». Даже Гортензию с трудом удается наладить наблюдения над спутниками Юпитера. Не хватает хороших телескопов. Галилей посылает в конце 1637 г. свой телескоп, который уже не может ему понадобиться из-за слепоты. Для наблюдения спутников необходимы таблицы, которые составить непросто (даже определение периодов обращения спутников долго не удавалось).

Вычислительная астрономия никогда не была сильной стороной Галилея, а теперь слепота к тому же лишила его возможности проводить наблюдения. Галилей просит монаха-оливетанца Винченцо Реньери, опытного астронома-вычислителя, найти эфемериды спутников Юпитера, по возможности на год вперед. Вычисления затягивались, и Реньери так и не удалось составить необходимые таблицы.

Генеральные Штаты поручают Гортензию встретиться с Галилеем, чтобы уточнить необходимые детали и вручить золотую цепь — подарок Генеральных Штатов. Тем временем в переговоры вмешалась инквизиция. Началась сложная игра, в результате которой Галилей то ли сам счел за благо отказаться от встречи с Гортензием и от голландского подарка, то ли получил прямой запрет инквизиции. Начались разговоры о сохранении приоритета за Италией. Кастелли, которому давно отказывали в свидании с учителем, даже получил разрешение встретиться с Галилеем и выяснить подробности метода. Неожиданно умерли Гортензий и Реаль. Силы покидали Галилея. Флорентийский инквизитор доносил в Рим, что ученый, «совершенно ослепший, скорее уже лежит в гробу, чем занимается математическими построениями». Надежды не покидали Галилея, но становилось ясно, что ему не доведется увидеть осуществление своего замысла. Вероятно, и в самом деле практическая реализация проекта была невозможна. Прошло еще много времени, прежде чем проблема измерения долготы в море была, наконец, решена, но на совсем другом пути — при помощи точных морских часов.

Одно из последних высказываний Галилея показывает, что его никогда не оставляли мысли о главной проблеме его жизни, свидетельствует о его «неисправимости»: «И так же, как я считаю недостаточными наблюдения и предположения Коперника, я полагаю, что еще более ложны и ошибочны наблюдения и предположения Птолемея, Аристотеля и их последователей, поскольку несостоятельность последних можно достаточно ясно выявить, пользуясь обычной речью». Ему не позволено спорить с тем, что могут существовать аргументы, недоступные человеку и опровергающие Коперника, но для опровержения Птолемея хватает аргументов, человеку доступных.

Эпилог. По прошествии трех с половиной веков многое видится не так, как это представлялось Галилею. Это относится и к различию между системами Птолемея и Коперника, и к вопросу об «истинном» движении Земли.

Трудно строить последовательную систему мира, реально не опираясь на небесную механику. Парадокс заключался в том, что небесная механика Галилея в отличие от его «земной» механики была еще достаточно наивной и близкой к взглядам Аристотеля. Во-первых, он считал, что небесные тела движутся по инерции, не испытывая постоянно действующих сил. Для него не было приемлемым предположение о дальнодействии, и, например, предположение о солнечном или лунном притяжении для земных объектов воспринималось как астрологический анахронизм. Во-вторых, по Галилею, небесные тела, двигаясь по инерции, совершают равномерные вращательные движения. Противоречие с «земным» принципом инерции налицо!

Главным вопросом для Галилея был вопрос об истинном (абсолютном) движении Земли, об его экспериментальном доказательстве. Поскольку доказательством должны служить земные явления, столкновение земного и небесного принципов инерции неминуемо. С величайшей проницательностью опровергает Галилей утверждение Тихо Браге, повторенное Инголи, что на движущемся корабле ряд явлений должен обнаружить это движение. Скорее всего, это опровержение Галилея, которое по существу и явилось первой формулировкой закона инерции («земной»), основывалось на эксперименте. Одновременно Галилей утверждает, что существуют явления, обнаруживающие движение Земли (приливы и отливы). При этом не выявляется, чем гипотетическое движение Земли отличается от движения корабля, которое нельзя обнаружить внутренним образом.

Подчеркнем, что эти явления должны были быть следствием собственного движения Земли, происходящего по инерции без участия дальнодействующих сил. Галилей не видит здесь противоречия. Как уже отмечалось, «решающий» аргумент Галилея оказался совершенно ошибочным.

Взгляд Галилея на истинное (абсолютное) движение не был корректным. Творец закона инерции был еще далек от понимания относительного характера движения, о роли системы отсчета при рассмотрении движения. Многое для выяснения относительного характера движения сделал Гюйгенс. Ньютон (в отличие от Гюйгенса) считал вращение абсолютным. В системах Птолемея и Коперника фигурируют разные системы отсчета: в одной покоится Земля, в другой — Солнце. Развитие механики показало, что удачно выбранная система необходима для выявления закономерностей движения. Главное достоинство системы Коперника — в возможности выявить законы Кеплера (которые, кстати, Галилей не принял). Дело в том, что в системе Коперника неподвижное начало помещается в самое массивное тело и при рассмотрении отдельной планеты в первом приближении можно ограничиться взаимодействием этой планеты с Солнцем (пренебрегая взаимодействием с другими планетами). Возникает задача двух тел, и законы Кеплера, как показал Ньютон, непосредственно следуют из его закона всемирного тяготения. В системе отсчета, в которой неподвижна Земля, описание движения усложняется, и, в частности, законы Кеплера для нее не имеют места.

Что касается астрономических наблюдений Галилея, то они открыли новую эру в астрономии. Особую роль сыграли при этом спутники Юпитера. Более полувека ушло на вычисление их периодов, которое пытался провести и сам Галилей, и опытные в вычислениях астрономы Римской коллегии. Еще более трудным было вычисление их расстояний до Юпитера из-за недостаточно развитой микрометрической техники. Но когда в 1685 г. Ньютон создавал свою книгу «О системе мира», вошедшую в «Математические начала натуральной философии», он уже имел возможность констатировать, что для спутников Юпитера имеет место третий закон Кеплера $T^2 \sim R^3$ (T — периоды обращения, R — расстояния до Юпитера), хотя данные измерений требовали некоторых уточнений. Этим фактом открывался раздел «Явления», где перечислялись экспериментальные факты, на которые опирается ньютоновская «система мира».

Построение теории движения спутников Юпитера на основе закона всемирного тяготения долго испытывало честолюбие классиков небесной механики. Дело в том, что достаточно точная теория должна учитывать не только притяжение Юпитера, но и Солнца и взаимное притяжение спутников. В 1774 г. эта задача фигурирует в качестве темы на премию французской Академии наук.

Весьма точная теория была построена Лапласом в 1789 г. Медичейские звезды долго оставались объектом, мимо изучения которого не мог пройти ни один великий астроном. А они дарили ученых все новыми удивительными фактами. Так, например, Лаплас установил, что время обращения первого спутника плюс удвоенное время обращения третьего равно утроенному времени обращения второго. Но несомненно самая замечательная страница в изучении спутников Юпитера — открытие Олафа Рёмера, о котором мы расскажем более подробно.

Добавление. Догадка Олафа Рёмера

Наблюдения Кассини. Постепенно телескоп становится признанным инструментом астронома. Растут размеры телескопов: телескоп Гюйгенса давал 92-кратное увеличение, а в 1670 г. в Париже появился телескоп, дававший увеличение в 150 раз. Характерно, что этот телескоп уже не был в распоряжении одного ученого: он был установлен в научном учреждении нового типа — обсерватории. Парижской Обсерваторией, находившейся под покровительством Людовика XIV, руководил Жан Доминик Кассини (1625–1712) — астроном, приехавший из Италии. Астрономия очень многим обязана Кассини. Он обнаружил, что у Сатурна, кроме одного спутника (Титана), открытого Гюйгенсом, имеется еще четыре, а открытое тем же Гюйгенсом кольцо Сатурна оказалось при более тщательных наблюдениях Кассини состоящим из двух колец, разделенных щелью, которую стали называть щелью Кассини. Кассини доказал осевое вращение Юпитера и Сатурна. Велики заслуги Кассини и в астрономических вычислениях: он с невиданной до тех пор точностью измерил астрономическую единицу — расстояние от Земли до Солнца. Интересно сопоставить полученное Кассини значение 146 *млн. км* с истинным значением 149,6 *млн. км* и величиной 8 *млн. км*, которая принималась прежде.

Как уже отмечалось, одной из центральных задач астрономии второй половины XVII века стало вычисление периодов обращения спутников Юпитера. Эти величины можно получить путем нехитрых вычислений, если точно известны последовательные моменты их затмений. Зная же периоды обращения спутников, можно, напротив, предсказывать моменты их затмений. В 1672 г. Кассини очень тщательно фиксирует моменты затмения Ио (спутника Юпитера). Он с удивлением обнаружил, что получаемые им значения для периода обращения Ио несколько различаются от случая к случаю, как если бы иногда затмение несколько запаздывало, а иногда наступало несколько раньше. Наибольшая разница между полученными значениями, составлявшая 22 минуты (при времени обращения 42,5 часа), не могла быть объяснена точностью измерений. По-видимому, Кассини уже имел возможность пользоваться маятниковыми часами Гюйгенса, которые начинали использоваться для астрономических наблюдений. Наблюденный эффект не находил разумного объяснения.

В 1672 г. — в год, когда Кассини систематически наблюдал за спутниками Юпитера, — в Парижской обсерватории появился молодой датский ученый Олаф Рёмер (1644–1710). Его заинтриговало поразительное совпадение (возможно, на него обратил внимание Кассини). Наибольшее запаздывание затмений Ио приходилось на те моменты времени, когда Юпитер находился дальше всего от Земли. Обратить внимание на такое совпадение можно было благодаря случаю, но какая нужна была прозорливость, чтобы не объявить его с порога случайностью! Хотя во времена Людовика XIV в астрономических атласах Земля все еще изображалась в центре мироздания, ученые уже не были готовы объяснять изменение обращения спутника Юпитера влиянием Земли! Впрочем, конкурирующее объяснение этого эффекта, предложенное Рёмером, должно было казаться не менее фантастическим. Рёмер предположил, что мы наблюдаем затмение Ио с некоторым запаздыванием из-за того, что свету приходится пройти большее расстояние, когда расстояние между Землей и Юпитером увеличилось. Чтобы оценить эту гипотезу Рёмера, нам надо вспомнить, что думали о скорости света его современники.

Отступление о скорости света. Ученые древности считали, что свет распространяется мгновенно (возможно, единственным исключением был Эмпедокл). Это мнение на много веков было закреплено авторитетом Аристотеля. На Востоке Авиценна и Альхазем допускали, что скорость света конечна, но очень велика. Среди европейских ученых нового времени Галилей был одним из первых, готовых допустить конечность скорости света. В его «Беседах» трое собеседников Сагредо, Симпличио и Сальвиати обсуждают проблему скорости света. Сагредо поднимает этот вопрос, Симпличио считает, что она бесконечна, поскольку мы видим пламя выстрела «без потери времени», тогда как звук доходит через заметное время, что для Сагредо означает лишь, что звук распространяется значительно медленнее, чем свет. В ответ на это Сальвиати, представляющий в этом триумвирате интересы Галилея, предлагает опыт с двумя наблюдателями, снабженными фонарями, причем каждый открывает свой фонарь, увидев свет другого. Однако этот опыт, который в самом деле пытались провести ученые Флорентийской академии, не дает реальной возможности убедиться в конечности скорости света. (У Эйнштейна и Инфельда отмечается, что для этого надо было бы уметь фиксировать промежутки времени порядка $1/100\,000\,c$.) Кеплер считал, что свет распространяется мгновенно; Роберт Гук думал, что скорость света конечна, но столь велика, что ее измерение невозможно. Декарт и Ферма считали скорость света бесконечной, что сильно осложнило их исследования по геометрической оптике. Декарт, с одной стороны, считал, что свет распространяется мгновенно, с другой стороны, разлагал его «скорость» на составляющие. Ферма, формулируя свой знаменитый принцип, который сегодня называется принципом наименьшего времени, чтобы не говорить о скорости света, прибегал к всевозможным уловкам, говоря об «антипатии света к веществу», вводя формальный коэффициент, фактически равный отношению скоростей света. Таким образом, большинство современников Рёмера не готово было признать конечность скорости света, не говоря уже о том, чтобы сделать ее ответственной за вполне ощутимые, хотя и проявляющиеся в астрономических масштабах, явления. Для сравнения заметим, что лишь недавно была измерена скорость звука.

Вычисления Рёмера. Они предельно просты. Итак, он исходит из того, что 22 минуты — максимальное запаздывание начала затмения — как раз тот срок, который необходим свету, чтобы пройти расстояние, равное разности между наибольшим и наименьшим расстоянием между Землей и Юпитером. Эта разность равна удвоенному расстоянию между Землей и Солнцем. По сравнению с ним расстоянием от спутника до Юпитера можно пренебречь.

Мы видим, что у Рёмера был еще один повод быть благодарным Кассини, от которого он знал достаточно точное значение расстояния от Земли до Солнца (146 *млн. км*). Итак, по Рёмеру, свету на преодоление 292 млн. км требуется 1320 *с* (22 *мин*). Откуда для скорости света получается значение 221 200 *км/с*. Ошибка у Рёмера получилась из-за неточностей в значении астрономической единицы (правильно 149,6 *млн.км*), но, главное, из-за очень большой ошибки в определении максимального времени запаздывания (правильно — 16 *мин* 36 *с*). Для правильных значений получилось бы для скорости света значение 300 400 *км/с*, что очень близко к истинному значению. Все же поразительно, что Рёмеру удалось дать правильное по порядку значение скорости света.

Эти вычисления были проведены Рёмером в сентябре 1676 г. Чтобы убедить ученых в своей правоте, он придумывает трюк, достойный египетских жрецов. Он проводит вычисления и предсказывает, что в ноябре затмение Ио произойдет примерно с 10-минутным запозданием. Наблюдения, в которых участвовал Кассини, доказали, что Рёмер правильно предсказал время с точностью до секунды. Однако это совпадение не произвело слишком сильного впечатления на окружающих. По крайней мере, он не убедил ученых из Парижской академии, среди которых преобладали картезианцы (сторонники Декарта). Ведь их учитель писал про астрономов, что «хотя их предположения всегда ошибочны и недостоверны, они делают весьма правильные заключения, опирающиеся на различные выполненные ими наблюдения». Рёмера отказался поддержать даже Кассини! С такого рода явлениями нередко приходится встречаться в истории науки. Нашлись и сторонники Рёмера, среди которых выделялся английский астроном Эдмонд Галлей (1656–1742). Окончательное признание теории Рёмера пришло, когда в 1728 г. Джеймс Брэдли (1693–1762) изучил видимое годичное движение звезд — аберрацию. Она нашла естественное объяснение как результат сложения скорости света, идущего от звезд, и скорости движения Земли по орбите. При этом получилось, что скорость света в 10 000 раз больше скорости движения Земли, что давало хорошее согласие с величиной, найденной Рёмером. То, что два существенно различных пути приводили к одному ответу, убедило многих. Первое же измерение скорости света в результате «земного» эксперимента было сделано Арманом Физо в 1849 г.

Рассказывая сегодня об открытии Галилея, нельзя не вспомнить о том, что при помощи космических аппаратов «Вояджер-1» и «Вояджер-2» удалось узнать, как устроена поверхность галилеевых спутников Юпитера. Вот что пишет Дж. Эберхарт об увиденном учеными на переданных снимках: «Оказалось, что „галилеевы луны“ — вовсе не „коллекция скалистых шаров“. Пожалуй, только испещренная кратерами поверхность Каллисто, самого дальнего из четырех спутников, подтвердила предположения ученых. На Ганимеде взорам исследователей открылась целая гамма тектонических разломов, искривлений и отрогов. Но совершенно ошеломили их два других спутника, более близких к планете, — Ио и Европа.

Ученые не могли поверить своим глазам — на снимках Ио они увидели разукрашенный в красное и золотое, серебряное и черное бурлящий мир, царство активных вулканов! А когда объективы „Вояджеров“ были направлены на Европу, взорам наблюдателей предстала ледяная планета, светлая поверхность которой была словно исхлестана гигантской плетью...».