

Редакционная коллегия:

В. М. Орел (главный редактор)

- | | |
|---|---|
| Д. А. Александров (редактор отдела рецензий) | Л. М. Кожина (отдел научно-технических музеев) |
| В. В. Бабков (отдел истории биологии) | Н. И. Кузнецова (зам. главного редактора) |
| А. Г. Барабашев (отдел философии и методологии науки) | Л. А. Маркова (отдел общих проблем) |
| Е. Н. Будрейко (ответственный секретарь) | И. И. Мочалов (отдел истории наук о Земле) |
| Вл. П. Визгин (отдел истории физики, механики и астрономии) | А. М. Смолеговский (отдел истории химии) |
| В. Л. Гвоздецкий (отдел истории техники) | Д. А. Соболев (отдел истории авиации и космонавтики) |
| С. С. Демидов (отдел истории математики) | А. Ю. Стручков (редактор международного отдела) |
| С. С. Илизаров (отдел архивных публикаций) | А. В. Юревич (отдел социологии и социальной психологии науки) |

Международный редакционный совет:

- | | |
|---------------------------|-------------------------------|
| Марк Адамс, США | Доминик Пестр, Франция |
| Кит Бенсон, США | Ганс-Йорг Райнбергер, ФРГ |
| Павел Волобуев, Россия | Нильс Ролл-Хансен, Норвегия |
| Гурген Григорян, Россия | Эдвард Свидерски, Швейцария |
| Лорен Грэхем, США | Вячеслав Степин, Россия |
| Кеннет Кноспел, США | Дуглас Уинер, США |
| Борис Козлов, Россия | Дэвид Холлоуэй, США |
| Эдуард Колчинский, Россия | Юрий Храмов, Украина |
| Джон Криге, Франция | Саймон Шейфер, Великобритания |
| Юрий Наточин, Россия | Александр Яншин, Россия |
| Мариано Ормигон, Испания | |

Номер набран и сверстан на электронном оборудовании
Института истории естествознания и техники РАН

редакторы Куликова Марина Владимировна, Фирсова Галина Александровна,
компьютерный набор и оригинал-макет — Кафтаева Тамара Григорьевна,
Алексеев Константин Игоревич

Адрес редакции: 103012, Старопанский пер., 1/5
телефон/факс: (095) 928-1190, E-mail: VIET@ihst.msk.su
Заведующая редакцией Бизяева Татьяна Ивановна

Подписано к печати 04.12.96. Формат бумаги 70×100 1/16
Офсетная печать. Усл. печатн. л. 14,3 Усл. кр.-отт. 11,6 тыс. Уч.-изд. л. 18,0 Бум. л. 5,5
Тираж 806 экз. Заказ 701

Московская типография № 2 РАН, 121099, Москва, Шубинский пер., 6

© Издательство «Наука»,
«Вопросы истории естествознания и техники», 1996 г.

При перепечатке, переводе на иностранные языки,
а также при ином использовании оригинальных материалов журнала
ссылка на ВИЕТ обязательна.

В. С. КИРСАНОВ

ПЕРЕПИСКА ИСААКА НЬЮТОНА С РОБЕРТОМ ГУКОМ: 1679—80 гг.

Замечательным свидетельством эволюции физических представлений Ньютона является его переписка с Гуком в течение зимы 1679/80 гг. Честь открытия этой переписки принадлежит У. У. Роузу Боллу, опубликовавшему ее в своей книге о *Началах* И. Ньютона в 1893 г.¹ Роуз Болл обнаружил ее в библиотеке Тринити-колледжа, однако она оказалась неполной — два письма из семи отсутствовали (письмо Гука Ньютону от 9 декабря 1679 г. и письмо Ньютона Гуку от 13 декабря того же года). О существовании этих писем историки узнали только в начале нашего столетия: письмо от 13 декабря 1679 г. было приобретено Британским Музеем 29 июня 1904 г. на аукционе Сотби и впервые опубликовано профессором Жаном Пельснером в 1929 г.² Письмо от 9 декабря 1679 г. также появилось на аукционе Сотби, но позже, в апреле 1918 г., где оно было куплено шведским коллекционером Эрнестом Вейлем³, а в конце концов было приобретено Йельским университетом. Тем не менее, находясь в университетской библиотеке, оно оставалось никому не известным вплоть до 1952 г., когда, наконец, было опубликовано Александром Койре⁴.

История, связанная с этими письмами, началась с того, что Роберт Гук, ставший в 1677 г. после Генри Олденбурга секретарем Королевского общества (в обязанности которого входило, среди прочего, ведение научной переписки Общества), предложил Ньютону от имени Общества в конце 1679 г. возобновить такую переписку, прерванную несколько лет назад в связи с дискуссией о природе света.

Надо сказать, что вторая половина 70-х гг. была для Ньютона тяжелым временем, в его творчестве определенно наступил кризис, не в малой степени обусловленный ожесточенной полемикой с Гуком и другими. «Я был настолько подавлен, — писал он Лейбницу 9 декабря 1675 г., — спорами, возникшими в результате публикации моей теории, и проклинал себя за то, что в погоне за этими призраками имел глупость расстаться с благословенным покоем, столь существенным для меня»⁵. Ньютон определенно потерял интерес к физике и занялся главным образом алхимией и теологией. Он основательно изучает алхимическую литературу, а большую часть времени проводит в химической лаборатории. Бетти Добс, автор книги об алхимических занятиях Ньютона, пишет, что Ньютон изучил «всю обширную литературу по старой алхимии столь тщательно, как никто другой ни до, ни после него»⁶. По оценке Роберта Уэстфолла, объем алхимических рукописей, прошедших через его руки, превышал миллион слов, т. е. приблизительно 5000 страниц.

Наряду с алхимией Ньютон всерьез занялся теологией. С конца 1676 г., когда он намеренно изолировал себя от научного сообщества, отказавшись даже отвечать на письма, эти два занятия в течение ряда лет составляли смысл его существования. Ньютон внимательно изучал труды отцов церкви и более поздних теологов, причем его особенно интересовали история ересей и обсуждение догмата Св. Троицы. В это время он окончательно убеждается в несостоятельности ортодоксальной христианской доктрины и становится арианином⁷. В конце 70-х он принимается за историю Церкви, причем его особенно интересуют четвертое и пятое столетия — в связи с его интерпретацией Откровения Св. Иоанна⁸.

Но не только изменение научных интересов характеризует Ньютона этих лет. Он сильно изменился психологически. Его однофамилец и секретарь Хамфри Ньютон отмечал, что лишь один раз в пять лет он видел его смеющимся, а Джон Норт, сменивший Барроу на посту главы Тринити-колледжа, боялся, что Ньютон убьет себя, работая день и ночь⁹. К этим неприятностям добавилось и то, что колледж также переживал тяжелые времена: над ним висел огромный долг в связи со строительством новой библиотеки. В 1677 г. умер Исаак Барроу, а новый мастер Тринити оказался сущим бедствием для колледжа. Все это не могло не отражаться на Ньюtone, для которого Кембридж и был его вселенной. Наконец, летом 1679 г. умерла мать Ньютона, Ханна. Ньютон уехал в Линкольншир и оставался там до конца ноября. Возвратившись в Кембридж, Ньютон нашел у себя на столе письмо Гука¹⁰.

1. Гук — Ньютону (24 ноября 1679 г.)

Сэр,

обнаружив по регистрационной книге, что Вам доставляло удовольствие переписываться с м-ром Олденбургом, а также имея счастье и самому получать Ваши письма, я решился побеспокоить Вас настоящим посланием. Более неотложные дела заставили м-ра Гру¹¹ отказаться от того, чтобы вести переписку. И Общество поручило это дело мне. Поэтому я надеюсь, что Вы согласитесь продолжать, как и в прошлом, оказывать Обществу услуги и будете сообщать Обществу о том, что покажется Вам важным с точки зрения философии*, а я, в свою очередь, обязуюсь знакомить Вас с тем, что мы узнаем существенного из других мест или обнаружим нечто неизвестное здесь. И Вы можете быть уверены, что все, что Вы сообщите, не будет далее передано или обнародовано, если Вы сами этого не предпишете. Мне неизвестно, что и раньше, и совсем недавно были некоторые, пытавшиеся представить меня Вам в искаженном свете, хотя, возможно, те и другие не желали поступать по отношению ко мне подобным образом, однако различие во взглядах, если таковое имеется (особенно в философских вопросах, которые не представляют интереса с точки зрения выго-

* Для ученых XVII в. слово «философия» в подобном контексте означало: «физика».

ды), как мне кажется, не может быть причиной враждебности — во всяком случае, я уверен, — не с моей стороны. Ибо, со своей стороны, я сочту за великое благо, если Вы окажете мне любезность сообщить в письме Ваши возражения относительно какой-либо моей гипотезы или мнения. И в частности, если Вы сообщите свою точку зрения на то, что небесные движения планет складываются из прямолинейного (*direct*) движения по касательной и притягивательного (*attractive*) движения по направлению к центральному телу. Или какие возражения Вы можете выдвинуть против моей гипотезы относительно законов или причин пружинистости (*Springiness*). Я недавно получил из Парижа (сообщение) о гипотезе г-на Мальмона де Мессанжа¹², доктора Сорбонны, который очень хочет знать, какие возражения могут быть выдвинуты против нее. Он полагает, что (существует) центр этого нашего вихря, вокруг которого все первичные планеты вращаются по идеальным окружностям, причем каждая из них проходит в одинаковое время одинаковые расстояния по своей окружности. Рядом с ним он располагает Солнце, а вокруг Солнца — Меркурий как спутник. Затем идет Венера, затем Земля, вокруг которой (вращается) как спутник Луна. Затем следует Марс, затем Юпитер и его спутники и Сатурн со своими спутниками. Он предполагает, что Солнце делает один оборот за половину того времени, за которое делает один оборот Земля, и что плоскость его (орбиты) наклонена к плоскости эклиптики, как того требует трепидация. Он не определяет в точности ни одной вещи, оставляя для себя возможность выпутываться из любого положения, в которое его могут поставить возражения. Также из Парижа я получил известие, что там они собираются провести новую работу по определению долготы и широты для наиболее важных мест, причем первое — с помощью (наблюдения) затмения спутников Юпитера. Г-н Пикар и Де Ла Гир путешествуют, а г-н Кассини и Ремер проводят наблюдения в Париже. Они уже обнаружили, что Брест в Бретани находится на 18 лье ближе к Парижу, чем это показывают все карты. Я написал корреспонденту в Девоншире, чтобы узнать, сможем ли мы сделать что-либо подобное здесь, и я был бы счастлив, если бы с помощью вертикальных наблюдений мы смогли бы определить разницу в широте между Лондоном и Кембриджем. Если Вы знаете кого-либо в Кембридже, кто может проводить наблюдения, я позабочусь, чтобы это было сделано там с большой точностью. М-р Коллинз показывал мне книгу Де Ла Гира, которую он получил из Парижа, содержащую, во-первых, новый метод в конических сечениях, а во-вторых, трактат *De locis solidis*. Я не читал книгу внимательно, но м-р Коллинз советует это сделать. М-р Флемстид последними вертикальными наблюдениями подтвердил (наличие) параллакса земной орбиты.

Я боюсь, я чересчур злоупотребляю (Вашим вниманием), поэтому прекращаю Вас далее беспокоить и подписываюсь, Сэр,

Ваш нижайший слуга

Р.Г.

Грешем колледж, 24 ноября 1679 г.

Самым замечательным в этом письме является то, что Гук предлагает Ньютону высказать свои соображения относительно представления о том, что «небесные движения планет складываются из прямолинейного движения по касательной и притягивательного движения по направлению к центральному телу».

В то самое время, когда Ньютон отошел от занятий физическими науками, Гук интенсивно разрабатывал свою теорию движения планет. Еще в 1666 г. он прочел в Королевском обществе лекцию, в которой объяснял положения этой теории с помощью эксперимента с коническим маятником¹³. В основе его построений лежало понятие инерции, а именно представление о том, что в отсутствие внешних воздействий планета, как любое тело на Земле, будет двигаться равномерно и прямолинейно. Для того чтобы планета не ушла от Солнца в бесконечность, необходимо, чтобы она получила импульс, направленный к центру. Последовательность таких импульсов приведет к тому, что планета будет двигаться по периметру многоугольника, в центре которого находится Солнце*. Если непрерывно увеличивать частоту таких импульсов, то в пределе получим замкнутую кривую, а если выбрать для каждого импульса подходящую величину, то такая кривая окажется эллипсом.

Представленная в таком виде теория кажется весьма шаткой, ибо Гук не знал, как нужно связать величину силы с отклонением таким образом, чтобы в результате получился эллипс. Однако, обладая гениальной интуицией и поступая вполне в духе своих предшественников, в первую очередь — Галилея, он решил наглядно продемонстрировать возможность такого движения с помощью конического маятника. В заключение своей лекции Гук представил членам Королевского общества тяжелый деревянный шар, подвешенный к потолку на длинной проволоке. Если этот шар отвести от вертикального положения равновесия и отпустить, то он начнет совершать колебания, как обычный маятник, проходя каждый раз через свою наинизшую точку. Если теперь, в то время, когда маятник совершает колебание, сообщить шару горизонтальный импульс перпендикулярно линии подвеса, он начнет описывать замкнутую траекторию. Изменяя силу удара, можно добиться того, что эта траектория будет похожа на эллипс¹⁴. Следует подчеркнуть, что Гук показал своим коллегам, как сила, направленная к центру, порождает, тем не менее, такое движение, траектория которого не проходит через этот центр.

Как видно из приведенных рассуждений Гука, хотя у него не было окончательного суждения о математическом выражении закона всемирного тяготения, он, тем не менее, впервые сформулировал четкие динамические идеи, объясняя движение небесных тел силой, направленной к центру тяготения и изменяющей своим действием естественный прямолинейный характер их движения.

* Интересно отметить, что подобное построение впоследствии использовал Ньютон для доказательства второго закона Кеплера в Предложении I Первой Книги *Начал*.

На первое письмо Гука Ньютон ответил немедленно, хотя тому и не приходилось на это рассчитывать: перед тем как Олденбург в 1677 г. покинул пост Секретаря Общества, Ньютон не писал ему более полугода, а также перестал отвечать на письма Коллинза, своего главного корреспондента по математике. Как позднее вспоминал Ньютон (в письме к Галлею от 20 июня 1686 г.), в своем «ответе на его [Гука] первое письмо я отказался от переписки с ним», послав «ему всего лишь [описание] эксперимента со снарядами (скорее краткий набросок, чем подробное изложение), чтобы как-то подсластить свой ответ, надеясь ничего более от него не услышать»¹⁵.

2. Ньютон — Гуку (28 ноября 1679 г.)

Сэр,

я не могу во всех отношениях не признать, что любезность Вашего письма побудила меня соревноваться с Вами в желании переписываться по философским вопросам. И я всем сердцем сожалею, что в настоящее время я не располагаю ответами, которые могут удовлетворить Ваши ожидания. Ибо последние полгода я провел в Линкольншире среди своих родных, отягченный заботами, и только вчера я возвратился оттуда. Так что я не имел времени предаваться философским размышлениям, изучать или заниматься чем-либо кроме деревенских дел. А до этого в течение нескольких лет я пытался отойти от философии и заняться другими исследованиями, так что все время было поглощено этими занятиями, за исключением, возможно, некоторых свободных часов для отдыха. Это сделало меня почти совершенно незнакомым с тем, чем занимались философы в Лондоне и за границей в последнее время. И, возможно, Вам легче будет мне поверить, если я Вам скажу, что до того как я получил Ваше письмо, я не слышал (насколько я помню) о Ваших гипотезах о составном характере небесных движений планет, о прямолинейном движении по касательной к кривой и о законах и причинах пружинистости, хотя они, без сомнения, хорошо известны ученому миру. И таким образом, распрощавшись с философией и занимаясь другим делом, я надеюсь, что Вами или Королевским обществом не будет истолковано как нелюбезность то, что я отстал в занятиях этими вещами, хотя я должен признать, что в прошлом я был побужден иными причинами отказаться — насколько настойчивые просьбы м-ра Олденбурга и попытки вовлечь меня в споры могли это позволить — от всякой переписки с ним об этом. Однако я не могу не ответить сердечной благодарностью на то, что Вы столь высоко цените мое участие в таком благородном общении, и на то, что искренне поделились со мной в своем письме некоторыми вещами. Что касается гипотезы господина Мальмона, то, хотя она не может быть правильной, но если бы она соответствовала явлениям, она была бы очень полезной в силу своей простоты. Но каким образом орбиты всех первичных планет, кроме Меркурия, могут быть сведены к концентрическим окружностям, по которым каждая планета проходит равные рас-

стояния в равные времена (ибо такова гипотеза по Вашему описанию, если я не ошибаюсь), я все же не понимаю. Простейший путь убедить мир в правильности (этой гипотезы) мог бы состоять, я полагаю, в том, чтобы взять сначала для каких-либо двух планет, скажем для Марса и Земли, параметр, о котором идет речь, и определить численно его величину. Я не знаю никого в университете, кто был бы увлечен астрономическими наблюдениями, а моя собственная близорукость и хрупкость здоровья делают меня самого для этого неподходящим. Все же вероятно, что я смогу когда-нибудь этой зимой, когда буду иметь больше свободного времени, чем сейчас, попытаться сделать то, что Вы предлагаете для определения разницы в широте между Кембриджем и Лондоном. Я рад услышать, что такое значительное открытие, как то, что Вы сделали относительно годового параллакса Земли, подтверждается наблюдениями м-ра Флемстида. В ответ на это Ваше известие я сообщу Вам мои собственные соображения относительно обнаружения суточного движения Земли. Для этого я рассмотрю только суточное движение Земли, без годового, которое мало повлияет на эксперимент, предлагаемый здесь мною. Предположим, что BDG представляет земной шар, делающий за день один оборот вокруг своего центра C с запада на восток соответственно порядку букв BDG ; и пусть A — тяжелое тело, подвешенное в воздухе и вращающееся вместе с Землей так, как если оно было подвешено все время над одной и той же точкой B . Затем вообразим, что это тело B начинает падать, и его тяжесть придаст ему новое движение по направлению к центру Земли, причем старое движение с запада на восток при этом не уменьшится. Откуда движение этого тела с запада на восток по причине того, что прежде, чем оно падало, оно было на большем расстоянии от центра Земли, чем те части Земли, которых оно достигло в своем падении, будет больше, чем движение с запада на восток тех частей Земли, которых тело достигло в своем падении: и, следовательно, оно будет опускаться не по перпендикуляру AC , а, обгоняя участки (поверхности) Земли, упадет восточнее перпендикуляра, описав в своем падении спираль $ADEC$, совершенно противоположно точке зрения обывателя (opinion of ye vulgar), который полагает, что поскольку Земля движется, тяжелые тела в падении будут обгоняться ее частями и упадут к западу от перпендикуляра. Уклонение к востоку от перпендикуляра при падении с 20 или 30 ярдов будет очень мало, но все же, мне кажется, этого будет достаточно, чтобы обнаружить суть дела. Предположим затем, что в очень тихий день пистолетная пуля спущена на шелковой нити с вершины высокого здания или (глубокого) колод-

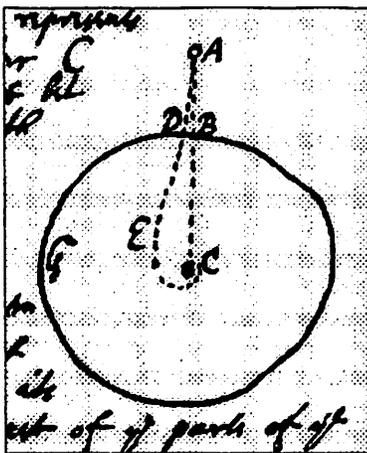


Рис. 1. Рисунок Ньютона в письме от 28 ноября 1679 г.

перпендикуляру AC , а, обгоняя участки (поверхности) Земли, упадет восточнее перпендикуляра, описав в своем падении спираль $ADEC$, совершенно противоположно точке зрения обывателя (opinion of ye vulgar), который полагает, что поскольку Земля движется, тяжелые тела в падении будут обгоняться ее частями и упадут к западу от перпендикуляра. Уклонение к востоку от перпендикуляра при падении с 20 или 30 ярдов будет очень мало, но все же, мне кажется, этого будет достаточно, чтобы обнаружить суть дела. Предположим затем, что в очень тихий день пистолетная пуля спущена на шелковой нити с вершины высокого здания или (глубокого) колод-

ца, причем нить проходит сквозь малое отверстие, проделанное в латунной или оловянной пластинке, закрепленной на вершине этого здания или колодца, и что, когда пуля опускается почти до основания (дна), она попадает в воду, чтобы избежать колебаний, и затем помещается на край стальной пластинки, лежащей с севера на юг, для того чтобы определить, будет ли пуля, установленная на ней, находиться почти в равновесии, обладая при этом лишь неким малым (чем меньше, тем лучше) стремлением переместиться к западной стороне пластинки каждый раз, когда она падает на нее. (После того как стальная пластинка расположена внизу таким образом, предположим, что пуля подтягивается вверх, и ей дают упасть, перерезая или пережигая шелковую нить, и если она постоянно падает на восточную сторону стальной пластинки, это будет доказывать существование суточного движения Земли. Но я знаю, каков будет результат, хотя никогда и не пытался это сделать. Если кто-нибудь решит, что это достойно его усилий, лучше всего, с моей точки зрения, попытаться это сделать в высокой церкви или обширной колокольне, предварительно плотно закрыв окна. Ибо в узком колодце пуля, возможно, будет испытывать отклонение из-за того, что воздух стеснен узкими стенками колодца, когда ее падение будет происходить вблизи той или другой стенки. Должно быть понятно также, что вода, в которую упадет пуля, должна иметь глубину в один или два ярда или более, для того чтобы, с одной стороны, пуля падала на стальную пластинку более плавно, а с другой — чтобы движение с запада на восток, которое она имеет при вхождении в воду, продвинуло ее далее на восток вследствие того, что время падения в воде больше, (чем в воздухе), что сделает эксперимент более наглядным.

Если бы я не имел несчастья быть незнакомым с Вашей вышеупомянутой гипотезой (как и почти со всеми другими вещами, которые были сделаны в философии в последнее время), я бы, конечно, уступил Вашему желанию и послал бы Вам свои возражения, которые мог бы выдвинуть против, если бы был на это способен. Но, с другой стороны, я бы с удовольствием услышал и ответил на любое возражение, сделанное по поводу любого моего замечания в прошлом разговоре. Но все мое пристрастие к философии истощилось, так что я почти столь же мало интересуюсь ею, как один купец делами другого или же как крестьянин интересуется наукой. Я воздерживаюсь, должен признаться, от того, чтобы тратить на рукописи по философии то время, которое, полагаю, я могу потратить по-другому для собственного удовольствия и для блага других, и я надеюсь, что ни Вы и никто другой не будут осуждать меня за это отступничество. Чтобы дать Вам понять, что не из-за осторожности, скрытности или недоверия я отвергал в прошлом и отказываюсь ныне обсуждать философские проблемы, а лишь вследствие моей занятости другими вещами, я сообщил Вам свое представление, изложенное выше (так как оно есть), относительно падения тяжелых тел для доказательства вращения Земли; и я также готов сообщить в устном обсуждении любую вещь, которая мне известна, если только я буду иметь счастье часто беседовать с Вами

приватно. И возможно, если какая-либо вещь, полезная для человечества, придет мне на ум, я при случае сообщу Вам ее в письме. Итак, желая Вам всех счастливых и успехов в Ваших делах, остаюсь, Сэр,

Ваш покорный слуга, готовый к услугам,
Ис. Ньютон.

М-р Кок отлил для меня две металлические детали для продолжения опыта с отражательной трубой, который я прошлый год намеревался (провести) по настоянию некоторых наших членов. Если я что-нибудь сделаю, вы можете рассчитывать, что я сообщу Вам об этом. Но я боюсь, что инструмент, на котором они должны были быть обточены, потерян, (так как) человек, у которого он хранился и который должен был обрабатывать металлические изделия, недавно умер*.

Кембридж, 28 ноября 1679 г.
Моему Высокочтимому Другу
М-ру Роберту Гуку,
в его квартиру
в Грешем колледже,
в Лондон.

Здесь нам стоит остановиться на двух моментах; первый касается вопроса, насколько искренен был Ньютон в своем ответе, а второй — существа задачи о падении тела в глубь Земли, которую Ньютон предлагал решить Гуку.

Что касается первой проблемы, то сегодня, по-видимому, все исследователи сходятся на том, что Ньютон был крайне неискренен в своих утверждениях относительно отсутствия интереса к науке и незнакомства с результатами исследований Гука. Впрочем, такая трактовка получила распространение только после статьи Койре 1952 г., до этого все историки науки рассматривали эти письма как чистосердечную попытку примирения¹⁶. То, что это было не так, очевидно из приведенного выше высказывания самого Ньютона. Знакомство с полным текстом письма Галлею только подкрепляет это убеждение. Возможно, что Гук поначалу имел исключительно добрые намерения, но, как мы увидим далее, и он впоследствии не стерпел неискренности и несправедливости своего адресата.

Безусловно, Ньютон в момент получения письма и не думал заниматься проблемами механики, он вполне мог быть занят своими химическими опытами и теологическими исследованиями, он мог также изучать право, как думает Жан Пельснер¹⁷. Однако маловероятно, что философия (т. е. физика) его совсем не интересовала. В конце февраля того же 1679 г. Ньютон пишет Бойлю длинное письмо, в котором подробно обсуждает свойства эфира и пытается с его помощью объяснить явление тяготения¹⁸.

* Этот постскрипtum никак не согласуется с утверждением Ньютона, содержащимся в самом письме, что он «распростился с философией» и его «пристрастие к философии истощилось».

И уж совсем неправдоподобно выглядит его утверждение, что он незнаком с гипотезами Гука и не читал его книги. Ньютон нечаянно проговаривается, поздравляя Гука с тем, что Флемстид подтвердил наличие параллакса земной орбиты, он пишет: «Я рад услышать, что такое значительное открытие, как то, что Вы сделали относительно годичного параллакса Земли, подтверждается наблюдениями м-ра Флемстида». Суть дела заключается в том, что это открытие Гука содержится в той самой книге, с которой он «не имел счастья быть знакомым». «Тогда, — пишет Гук в своей книге, — это ясно показывает, что, [как следует] из наблюдений шестого и девятого июля и первого и двадцатого октября, существует ощутимый параллакс земной орбиты у первой звезды в голове Дракона, а следовательно, подтверждает правильность системы Коперника по сравнению с системами Птолемея и Тихо»¹⁹. Более того, в своем письме Галлею от 20 июня Ньютон прямо указывает, что он читал его книгу, утверждая, что в действительности он задолго до переписки с Гуком познакомился с «положениями его теории, которую давно прочел в его книге (*of that theory I had read before in his book*)»²⁰. Неудивительно, что Гук ему не поверил: на полях ньютоновского письма он приписал: «здесь он [Ньютон] делает вид, что не знает гипотезы Г[ука]»²¹.

Итак, если эта переписка и была начата Гуком с искренним желанием поделиться своими открытиями и возобновить нормальный деловой контакт, то первый же ответ Ньютона свел на нет эти благие намерения. Но помимо этого психологического эффекта, который не замедлил сказаться, Гук получил возможность уличить Ньютона в ошибке, и здесь мы подходим ко второму важному моменту в письме, а именно: к утверждению Ньютона, что тело, падающее в глубь Земли, будет двигаться к его центру по спирали.

Ньютону, без сомнения, была хорошо известна гипотеза Гука, что планеты под действием центральной силы должны описывать эллипс, как и провозгласил Кеплер в своем известном законе. Почему же он не ответил, что именно эллипс будет орбитой? Мне кажется, что для этого существует несколько причин. Первой является то, что у Гука и Ньютона были разные, если можно так выразиться, методологические принципы. Ньютон не считал теорию доказанной, а закон существующим, если он не был выведен математически. Он и первые два закона Кеплера не считал за научно доказанные истины и никогда их законами не называл. Более того, он, по-видимому, думал, что честь открытия Первого и Второго законов должна принадлежать ему, ибо именно он вывел эти два соотношения в своих *Началах*. В письме Галлею он ясно говорит, что он «никогда не распространял квадратичную зависимость ниже поверхности земли, и до того, как в прошлом [т. е. в 1685 г.] году я нашел некое доказательство». С другой стороны, к моменту получения письма Гука он не принимал всерьез его представление, что движения планет порождаются *центростремительной* силой, в роли которой выступает сила тяготения. По-видимому, Ньютон придерживался тех самых представлений, которые он выработал в конце 60-х

годов и которые не получили развития, поскольку он прекратил занятия небесной механикой. А тогда он еще не связывал законы Кеплера с концепцией универсального закона тяготения и пока лишь установил, что «у главных планет, поскольку кубы их расстояний от Солнца обратно пропорциональны квадратам их периодов, их стремление удалиться от Солнца будет обратно пропорционально квадратам их расстояний от Солнца»²². Эта фраза показывает, что Ньютон в то время еще только пришел к мысли о связи между центробежной силой и расстоянием, лишь смутно, как мы можем предположить, прозревая в этой зависимости идею всемирного тяготения.

Письмо Гука застало его врасплох. Едва преодолевая свою неприязнь к нему, вызванную предыдущей полемикой, он легкомысленно решил, — говоря его собственными словами, — подсластить пилюлю и послать Гуку набросок эксперимента. Эксперимент относился к решению старинной проблемы — доказательству вращения Земли²³ — и должен был показать, что тело, брошенное с высокой башни, упадет к востоку от ее подножья, а не к западу, как думали до Ньютона многие, включая Кеплера. Если бы Ньютон оборвал траекторию у поверхности Земли, все было бы правильно, и, возможно, вся история современной науки пошла бы по-другому. Но он этого не сделал и, повинувшись традиции, нарисовал точно такую же спираль, какую до него рисовали Кеплер, Ферма, Мерсенн и другие²⁴. Забегая вперед, скажу, что даже если бы Ньютон и знал, что для планеты, обращающейся вокруг Солнца под действием силы тяготения, справедлив закон обратных квадратов, в результате чего орбита должна быть эллипсом, он, вообще говоря, ничего не мог сказать о тяжелом шаре, падающем, не встречая сопротивления, внутри Земли. Лишь позднее Ньютон доказал в *Началах* (Предложение ХСІ, Отдел ХІІІ), что орбитой в этом случае также будет эллипс, хотя выражение для центральной силы будет иным, а именно: сила тяготения будет прямо пропорциональна расстоянию от центра. Любопытно, что, когда Гук проделывал свой опыт со сферическим маятником, эллипс, который описывал груз вокруг вертикальной проекции точки подвеса, был результатом действия именно такой силы $F \sim r$. Тем не менее он сразу увидел ошибку в утверждении Ньютона и, убежденный в том, что эллипс является универсальной траекторией (что не так, строго говоря), решил оповестить своих коллег об этом промахе Ньютона. Забыв о своем обещании ничего не обнародовать без его разрешения, 4, а затем 11 декабря 1679 г. на очередном заседании Королевского общества Гук выступил с сообщением о

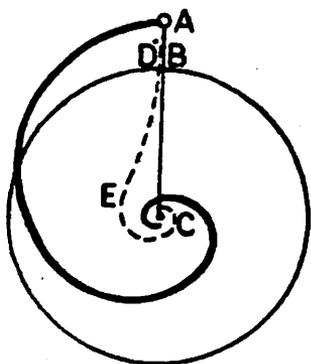


Рис. 2. Чертеж, воспроизводящий рисунок Ньютона в письме от 28 ноября 1679 г. Жирной линией добавлена кривая, изображающая траекторию тела в абсолютном движении

своем опыте со сферическим маятником, эллипс, который описывал груз вокруг вертикальной проекции точки подвеса, был результатом действия именно такой силы $F \sim r$. Тем не менее он сразу увидел ошибку в утверждении Ньютона и, убежденный в том, что эллипс является универсальной траекторией (что не так, строго говоря), решил оповестить своих коллег об этом промахе Ньютона. Забыв о своем обещании ничего не обнародовать без его разрешения, 4, а затем 11 декабря 1679 г. на очередном заседании Королевского общества Гук выступил с сообщением о

письме Ньютона и содержащихся в нем соображениях. Об этом в протоколах Общества содержится следующая запись:

Упомянув письмо м-ра Ньютона и эксперимент, в нем предлагаемый, м-р Гук прочел свой ответ на него в той части, где он объясняет, какой должна быть линия, описываемая падающим телом, в предположении, что тело движется по окружности* в результате суточного движения Земли и по перпендикуляру в результате [действия] силы тяготения, и он показал, что это должна быть не спираль, как м-р Ньютон, по-видимому, полагает, а некий эксцентрический эллипсоид [*sic*], если в среде не предполагается сопротивление; но если предположить сопротивление, это будет эксцентрическая эллиптическая спираль [*ellipti-spiral*], которая после многих оборотов окажется, в конце концов, в центре²⁵.

Гук поторопился рассказать о своем соревновании с Ньютоном, предвкушая, наверное, свое торжество. Свое очередное письмо он облачает в преувеличенно почтительную форму, прекрасно понимая, какую резкую реакцию могут вызвать у Ньютона его поправки. Если Гук действительно хотел досадить Ньютону, то он не смог бы придумать сделать это лучше, чем указывая ему на ошибки и пытаясь его поправить. Как видно из письма Ньютона к Галлею, именно тот факт, что Гук осмелился его поправлять, вызвал у Ньютона наибольшую отрицательную реакцию.

3. Гук — Ньютону (9 декабря 1679 г.)²⁶

Моему досточтимому другу м-ру Исааку Ньютону,
Лукасовскому профессору в Кембридже

Сэр,

Вы оставили философию в то самое время, когда столько других замечательных друзей также ее покинули (Стено, Де Графт и, совсем недавно, синьор Брорус, Борелли, Вивiani и другие²⁷), и это кажется несколько жестоким, но все же следует надеяться, что ее привлекательность, может, как-нибудь побудит Вас (так же, как и других) изменить свое решение, даже если до этого никогда (Вы) не поступали столь сознательно и определенно. Со своей стороны, я могу честно признаться, что отнюдь не разочаровался в Вас, ибо по Вашему письму я вижу, что иногда Вы для разрядки тратите час-другой на беседу, и я знаю, что Вы столь полно познали это наслаждение, что не можете от него отказаться, и временами у Вас возникает желание испытать его снова, почувствовать его вкус. И никогда бы не пожелал большего от человека Ваших дарований — я сам не люблю излишних пристрастий (людей) к чему-либо. Алчность, рабство или суеверие движут ими, и они не производят ничего, кроме идолов или химер, лишенных жизни и души. Как бы я хотел быть так же уверенным в (возможности) переписываться и

* Очевидно, имеется в виду, что оно движется по касательной к окружности. См. письмо Гука от 9 декабря 1679 г.

общаться с Вами, как я уверен в Вашей прежней привязанности к философии. Тем не менее, Сэр, я должен Вас поблагодарить за то, в чем я уверен, ибо эта уверенность (как говорят) открывает путь для большего. Пусть тогда это убедит Вас в том, что я очень высоко ценю большую любезность и доброжелательность Вашего письма, и особенно (благодарен) за сообщение мне Вашего представления о спуске (Descent) тяжелых тел. Оно, безусловно, правильно и справедливо, пока речь идет о падении тела, падающего с большой высоты к востоку от перпендикуляра, а не к западу, как до сих пор полагало большинство. И с этой точкой зрения согласились сэр Кристофер Рен, сэр Джон Хоскинз²⁸, м-р Хеншо²⁹ и большинство тех, кто присутствовал на нашем собрании в прошлый четверг и кому я прочел только ту часть (и не более) Вашего письма, которая касается г-на Мальмона и этого опыта³⁰. Но что касается кривой линии, по которой, как Вы, по-видимому, полагаете, оно опускается (хотя это вовсе не обсуждалось на собрании), т. е. некоей спирали, которая после нескольких оборотов приходит в центр Земли, то моя теория кругового движения заставляет меня предположить, что это будет (нечто) совершенно другое и совершенно непохожее на спираль, скорее, это будет некий эллипсоид. По крайней мере, если представить падающее тело (находящимся) в плоскости экватора, предполагая затем, что Земля разделена на две полусферы в плоскости экватора и эти части разведены на расстояние ярда и около того, чтобы создать пустоту для падающего тела, и что тяготение к прежнему центру остается прежним, а земной шар вращается вокруг своей оси в суточном движении, и что падающее тело обладает сообщенным ему движением тех участков поверхности Земли, откуда оно начало падать, я представляю, что линия, по которой двигалось бы тело, будет напоминать эллипс. Например, пусть $ABDE$ представляет плоскость экватора, ограниченную поверхностью Земли; C — центр Земли, к которому направлены все линии тяготения. Пусть A представляет тяжелое тело, притягивающееся к C , но движущееся также в суточном вращении по BDE и т. д. Я полагаю, что кривая, которую опишет падающее тело A , будет $AFGH$, и что тело A никогда не приблизится к центру C ближе, чем G , разве что вследствие сопротивления среды, такой, например, как воздух или подобной, но будет непрерывно обращаться по линии $AFGHAFG$ и т. д. Но если среда, в которой оно (тело) движется, обладает способностью затруднять и разрушать его движение, кривая, по которой оно стало бы двигаться, будет похожа на линию $AIKLMNOP$ и т. д., и (тело) после многих оборотов закончит свой путь в центре C . Но если тело начинает падать не в плоскости экватора, как здесь в Лондоне (на широте $52^{\circ}32'$, эллипс будет описываться в плоскости, наклоненной к плоскости экватора (под углом) $51^{\circ}32'$, так что падение шара будет не в точности к востоку от вертикали, а к юго-востоку и, конечно, больше к югу, чем к востоку. Пусть $NLQSR$ представляет меридиан Лондона, Q — экватор и L — Лондон, а PL — параллель, по которой она (точка L) вращается вокруг оси NS . Тело, начавшее

падать в точке *L*, будет опускаться в плоскости *LC*, которая предполагается находящейся под прямым углом с плоскостью данного меридиана *NLQSR*, а не по поверхности конуса *PCL*, вершина которого *C* находится в центре Земли, а основание есть плоскость окружности — параллели *PL*. Я мог бы добавить много других соображений, которые согласуются с моей теорией круговых движений, состоящих из прямого движения и притяжения к центру. Но я боюсь, я уже и так преступил границу, (отвлекая) Вас от более полезных мыслей этими своими дерзостями, однако я бы хотел, чтобы Вы не принимали их как попытку изменить Ваши более зрелые и серьезные выводы. Идите дальше и пусть Вам сопутствует удача, а если Вы добьетесь успеха, то через какого-нибудь (общего) друга дайте мне знать о том, что, по Вашему мнению, следует сообщить, любая весть от Вас будет чрезвычайно высоко оценена

Вашим, Сэр, нижайшим слугой
Ро. Гуком.

Грешем колледж, декабря 9-го, 1679 г.

Гук в этом письме возражает против траектории спуска, предложенной Ньютоном в предыдущем письме, он пишет: «что касается кривой линии, по которой, как Вы, по-видимому, полагаете, оно опускается [...], т. е. некоей спирали, которая после нескольких оборотов приходит в центр Земли, то моя теория кругового движения заставляет меня предположить, что это будет [ничто] совершенно другое и совершенно непохожее на спираль, скорее, это будет некий эллипсоид». И далее: «Я мог бы добавить

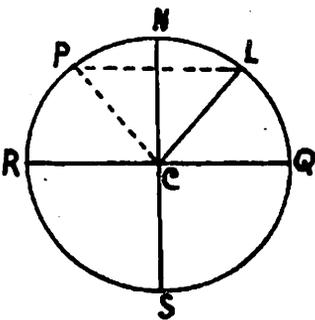


Рис. 4. Рисунок Гука в письме от 9 декабря 1679 г., поясняющий, почему падающие тела должны отклоняться к югу

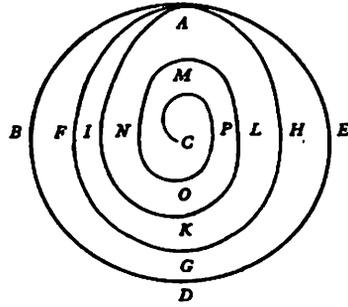


Рис. 3. Рисунок Гука в письме от 9 декабря 1679 г., изображающий траекторию тела, падающего внутри Земли

много других соображений, которые согласуются с моей теорией круговых движений, состоящих из Прямого движения и притяжения к центру». Гук действительно имел что сказать по этому поводу, потому что к этому времени его представления относительно причин движения планет приобрели ясную и отчетливую форму. В 1674 г. была опубликована его лекция, прочитанная в Королевском обществе четырьмя годами раньше, под названием *Попытка доказать движение Земли с помощью наблюдений*³¹, в которой он дает гениальный набросок динамического устройства Вселенной:

Я изложу систему мира, — писал он, — отличающуюся во многих отношениях от всех до сих пор известных и соответствующую во всем обычным правилам механического движения. Они основываются на трех предположениях.

Первое, что все небесные тела, каковы бы они ни были, обладают притяжением или гравитационной способностью [*an attraction or a gravitational power*], направленной к собственным центрам, в результате чего они притягивают не только части самих себя и не дают им от себя отлететь, что мы наблюдаем на Земле, но они также притягивают все остальные небесные тела, находящиеся в сфере их действия.

Второе предположение заключается в том, что все тела, каковы бы они ни были, будучи приведены в прямолинейное и простое [т. е. равномерное] движение, будут продолжать двигаться по прямой до тех пор, пока они не будут с помощью других действующих сил отклонены и приведены в движение по кругу, эллипсу или некоторой другой более сложной кривой линии.

Третье предположение гласит: эти притягивающие силы таковы, что они действуют тем сильнее, чем ближе притягиваемое находится к своему центру. Что же касается степени влияния, то я еще не определил ее из опытов. Но само это представление, если придерживаться его должным образом, существенно поможет астрономам в сведении всех небесных движений к определенному правилу; я сомневаюсь, чтобы это когда-либо было сделано без его помощи. Тот, кто понимает природу кругового маятника и кругового движения, легко поймет все основы этого принципа и сумеет найти пути в природе для его правильного понимания. Сейчас же я даю здесь только намек для тех, кто имеет способности и не лишен усердия для наблюдений и расчетов... И я беру на себя смелость обещать тому, кто возьмется за это дело, что он найдет все великие движения в мире подчиненными этому правилу и что правильное понимание его послужит истинному совершенствованию астрономии³².

Ньютон, до сей поры не оценивший по достоинству гениальную догадку Гука о «составном характере небесных движений», получив это письмо, должен был, наконец, всерьез задуматься о представлениях Гука. Об этом говорит тот факт, что Ньютон в своем следующем письме (см. ниже) согласился с утверждением Гука, что в северном полушарии тело будет отклоняться не только к востоку, но и к югу. Но ведь это утверждение Гук делает на основании того, что, как он полагает, падающее тело в любом случае должно описывать эллипс! А в рассуждениях Ньютона неявно предполагалось, что тело во время падения всегда находится на одной и той же широте³³. Гук пишет: «Но если тело начинает падать не в плоскости экватора, как здесь в Лондоне [на] широте $52^{\circ}32'$, то эллипс будет описываться в плоскости, наклоненной к плоскости экватора [под углом] $51^{\circ}32'$, так что падение шара будет не в точности к востоку от вертикали, а к юго-востоку и, конечно, больше к югу, чем к востоку». Качественное объяснение этого факта, данное им в письме, сводится к тому, что падающее тело будет опускаться на Землю в плоскости Π (см. рис. 5а), касающейся конуса PCL по образующей. Гук подразумевает, что тело может коснуться Земли на широте

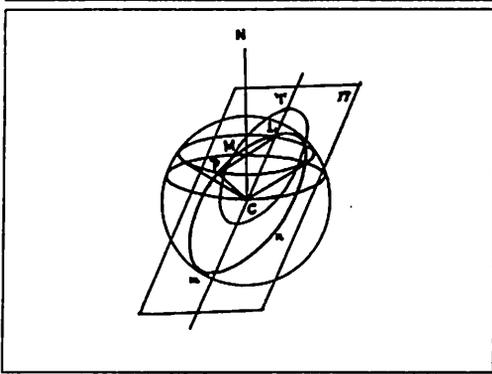


Рис. 5а

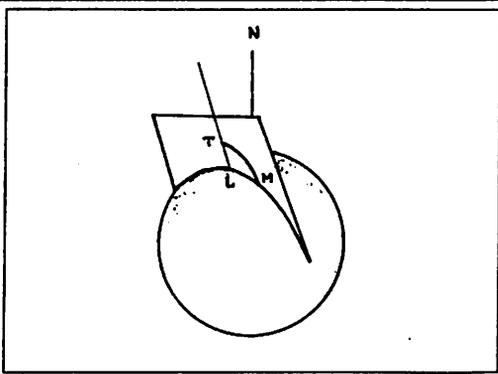


Рис. 5б

Чертеж, поясняющий отклонение к югу

Лондона, только если оно будет двигаться по поверхности конуса PCL . Если же оно будет двигаться в плоскости P , то оно неизбежно опустится ниже широты Лондона и коснется поверхности Земли в точке M , расположенной южнее. Для большей наглядности на рисунке 5б представлен объемный вид сзади фигуры, изображенной на рисунке 5а и убраны вспомогательные линии. Мы можем оценить величину этого смещения, которая оказывается равной $\frac{1}{2} \omega^2 R \cos \lambda \sin \lambda t^2$, или $\omega^2 R \frac{H}{2g} \sin 2\lambda$, где λ обозначает географическую широту, R — радиус Земли, ω — угловую скорость вращения Земли и H — высоту точки T , с которой начинается падение. Нетрудно подсчитать, что для средних широт действительно оказывается, как и утверждал Гук, что отклонение на юг превосходит отклонение на восток. Сегодня мы знаем, что на самом деле южное отклонение во много раз меньше восточного. Это объясняется тем, что и Гук, и Ньютон считали, что направление вертикали (линии отвеса) совпадает с радиусом Земли, проведенным в точку подвеса. На самом же деле они не совпадают, и отклонение падающего тела на юг компенсируется отклонением вертикали³⁴. Однако для нашей цели существенным является лишь тот факт, что Гук провозгласил движение по эллипсу, и Ньютон, наконец, с этим, по-видимому, согласился в следующем письме.

4. Ньютон — Гуку (13 декабря 1679 г.)

Сэр,

я согласен с Вами, что на нашей широте тело будет в падении больше смещаться к югу, чем к востоку, если высота, с которой оно падает, будет достаточно большой. А также, что если тяжесть предполагается однородной, оно будет опускаться не по спирали прямо к центру, а обращаться с попеременным подъемом и опусканием, происходящим оттого, что центробежная сила и сила тяжести будут попеременно преобладать одна над другой. И все же я полагаю, тело не опишет эллипсоид, а, скорее, фигуру, которая

представлена (линией) $AFOGHIKL$ и т. д. Предположим, что A — тело, C — центр Земли $ABDE$, разделенной на четыре равные части перпендикулярными диаметрами AD , BE , которые пересекают названную кривую в F и G ; AM — касательная, по которой тело двигалось до того, как оно начало падать, а GN — линия, проведенная параллельно этой касательной. Когда тело, опускаясь внутрь Земли (которая предполагается пронизываемой), достигает (точки) G , его движение будет направлено не к N , а к области (coast) между N и D . Ибо движение тела в точке G состоит из движения, которое оно имело в точке A по направлению к M , и из всех бесчисленных движений, последовательно порождаемых действиями (impresses) тяжести в каждый момент его прохождения от A к G . Движение от A к M , будучи параллельно GN , не может увести тело с линии GN . Бесчисленные и бесконечно малые движения (ибо я здесь рассматриваю движение согласно методу неделимых), непрерывно порождаемые тяжестью при переходе от A к F , стремятся увести его от GN по направлению к C ; аналогично движения, порождаемые при переходе от F к G , стремятся увести его от GN к D . Но эти движения пропорциональны времени, в течение которого они порождаются, а время прохождения от A к F (по причине большего пути и более медленного движения) больше, чем время прохождения от F к G . И следовательно, движения, порожденные за (путь) AF , будут превосходить движения, порожденные за (путь) FG , и заставят тело свернуть с (линии) GN в некоторую область между N и D . Ближе всего тело подойдет к центру не в (точке) G , а где-то между G и F , например O . И конечно, точка O , соответственно различным отношениям тяжести к стремлению (impetus) тела от A к M , может оказаться в любом месте (внутренности) угла BCD на некоторой кривой, которая касается линии BC в C и уходит далее к D . Так, я полагаю, обстояло бы дело, если бы тяжесть была неизменной на всех расстояниях от центра. Но если предположить, что она тем больше, чем ближе к центру, точка O может попасть на линию CD или в угол DCE , или в другой, следующий угол, или вообще никуда.

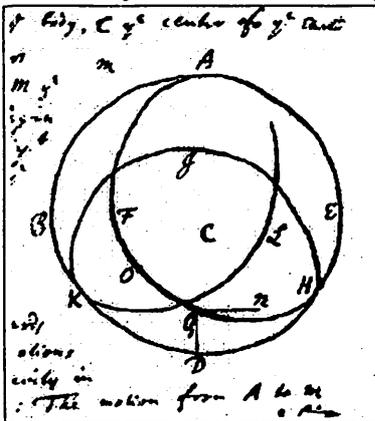


Рис. 6. Рисунок Ньютона в письме от 13 декабря 1679 г.

Ибо увеличение тяжести при падении можно предположить таким, что тело будет непрерывно опускаться по бесконечному числу витков спирали до тех пор, пока оно не пересечет центр в необычайно быстром движении. Ваше проницательное письмо побудило меня, таким образом, к рассмотрению особенностей этой кривой, и я мог бы добавить кое-что относительно приближенного построения ее по точкам. Но поскольку это не столь важно, я лучше извинюсь за то, что занял у Вас столько времени этим вторым письмом, написанном в спешке (scribble) и, если Вы найдете в нем что-либо неподходящее или ошибочное, я

надеюсь, Вы простите меня и за первое, и за второе (письма, которые) я представляю на Ваше рассмотрение и оставляю для Ваших поправок, оставаясь, Сэр,

Вашим нижайшим слугой,

Ис. Ньютоном.

Трин. Колл.

13 декабря 1679 г.

М-ру Роберту Гуку,

в его квартиру в

Грешем-колледже,

в Лондон.

Конечно, Ньютон не просто согласился с Гуком, а как бы согласился, решив в этом письме показать, что на самом деле и в этот раз Гук ошибся: хотя кривая и будет эллипсоидальной, но вовсе не такой, как тот предполагает. Для того чтобы показать Гуку, кто на самом деле имеет право объяснять и поучать, Ньютон должен был сам во всем разобраться. Конечно, сделать это в полном объеме за несколько дней он не мог, но кое-что он, безусловно, сделал. Что именно — остается загадкой, и далее я выскажу свои предположения по этому поводу.

Иоганнес Лоне, пытаясь восстановить ход рассуждений Ньютона при выводе орбиты «трилистника», предполагает, что тот поступал следующим образом³⁵: пусть тело, падающее с высоты R (где R — радиус Земли), имеет начальную скорость v_0 . Тогда, по второму закону Кеплера (закону площадей), имеем:

$$r^2 \frac{d\varphi}{dt} = Rv_0 \quad (1)$$

Если сила тяготения постоянна, то скорость v_0 подчиняется уравнению:

$$v^2 = v_0^2 + 2g(R - r), \quad (2)$$

где g — постоянное ускорение силы тяжести. Подставляя в (2) вместо v^2 ее значение $r^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dr}{dt}\right)^2$ получаем:

$$r^2 \left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = v_0^2 + 2g(R - r) \quad (3)$$

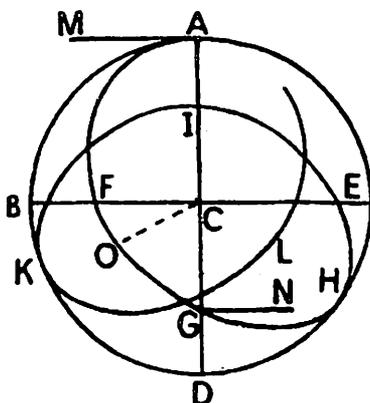


Рис. 7. Чертеж, воспроизводящий рисунок Ньютона в письме от 13 декабря 1679 г.

Теперь, исключая время dt из уравнений (1) и (3), имеем дифференциальное уравнение ньютоновской кривой:

$$\frac{d\varphi}{dr} = \frac{Rv_0}{r \sqrt{(R-r) [2gr^2 - v_0^2 (R+r)]}} \quad (4)$$

$$\varphi = \int_R^r \frac{Rv_0}{r \sqrt{(R-r) [2gr^2 - v_0^2 (R+r)]}} dr \quad (5)$$

Далее Лоне говорит, что, если Ньютон и пытался взять этот интеграл своим обычным способом — при помощи разложения в ряд подкоренного выражения, то у него бы ничего не получилось, поэтому ему и пришлось определять орбиту «приближенно по точкам». Конечно, он мог, как предполагает Лоне, вычислить приближенную траекторию, исходя из представления о спуске тела по параболе, как это делалось со времен Галилея в случае, когда постоянная сила тяготения, действующая вблизи поверхности Земли, считается параллельной. Ньютон мог это сделать для случая центральной силы. Однако не следует преуменьшать математические способности Ньютона. Если он пришел к выражению, эквивалентному уравнению (4), а именно это неявно предполагает Лоне — и, по-моему, совершенно справедливо, — то он, вероятнее всего, попытался бы взять интеграл приближенно. Как он это сделал, неизвестно, но, по-видимому, на данном этапе переписки Ньютон уже пришел к каким-то общим выводам, согласившись с основной гипотезой Гука о «составном характере» движения планет. Косвенным подтверждением этому является документ, обнаруженный Джоном Херивеллом и опубликованный им в 1966 г.³⁶ В этом *Получении* рассматривается тот же самый случай, что и в письме от 13 декабря:

Если центростремительная сила является постоянной для всех расстояний, а тело под действием этой силы описывает кривую $ABCGE$, для которой A — наиболее удаленная от центра S вершина, это самое тело придет в свою ближайшую от центра вершину C , когда угол ASC около 110° , а следующая ее вершина или наибольшее удаление от центра будет в точке D , когда угол CSD равен углу ASC , а после этого наименьшее расстояние от центра будет в точке E , когда угол DSE равен углу CSD , и так далее до бесконечности. Но если центростремительная сила обратно пропорциональна расстоянию от центра, тело опустится из положения своего максимального удаления от центра в точку своего ближайшего местонахождения от C , скажем, в точку G , когда угол ASG равен примерно 136° или 140° , а затем, при новом описании этого угла, вновь поднимется до своего максимального расстояния от центра, и так далее до бесконечности, оборот за оборотом. И вообще, если центробежная сила уменьшается пропорционально степени расстояния, меньшей, чем квадрат, то тело возвращается в свою вершину прежде, чем совершит полный оборот, в то время как если сила будет уменьшаться пропорционально степени, большей, чем квадрат расстояния, но мень-

приведенном выше Поучении дается меньшая величина — 110° . Наконец, в *Началах*, где Ньютон в Предложении XLV при рассмотрении задачи о вращающихся орбитах получил правильное значение угла для этой частной задачи (это значение угла φ равно $\frac{\pi}{\sqrt{3}} = 103,9^\circ$ для орбиты, мало отличаю-

щейся от круговой) и дал общее решение задачи о нахождении движения апсид для центростремительной силы, пропорциональной любой степени расстояния.

То, что Ньютон в этом письме стал, наконец, на точку зрения Гука относительно характера «составного движения», подтверждается его собственным высказыванием, что «движение тела в точке G состоит из движения, которое оно имело в точке A по направлению к M , и изо всех бесчисленных движений, последовательно порождаемых действиями [*impresses*] тяжести в каждый момент его прохождения от A к G ». Это выражение показывает также, что тяготение рассматривается Ньютоном как центростремительная сила, хотя сам термин еще не был им придуман. Первое определение Ньютона в рукописи «О движении», составленной не позднее 1684 г., гласит: «Я называю центростремительной силой то, посредством чего тело притягивается или приводится в движение по направлению к некоторой точке, рассматриваемой как центр»³⁸. Интересно, что, говоря о местоположении второй вершины, соответствующей минимальному апсидальному вектору, Ньютон замечает: «И, конечно, точка O , соответственно различным отношениям тяжести к стремлению [*impetus*] тела от A к M , может оказаться в любом месте [внутренности] угла $B CD$ на некоторой кривой, которая касается линии BC в C и уходит далее к D ». Это не вполне так. Местоположение точки O будет определяться величиной угла φ и соответствующего ему минимального расстояния ρ от центра в зависимости от величины начальной скорости. Угол φ и дается интегралом (5) или (6), а минимальное расстояние ρ найдем из уравнения $v_0^2 = \frac{2g\rho^2}{R + \rho}$. Имеем:

$$-2KR^2\rho^2 + R + \rho = 0, \quad (7)$$

где $K = \frac{g}{v_0^2 R^2}$. Откуда $\rho = \frac{1 + \sqrt{1 + 8KR^3}}{4KR^2}$. Траектория будет внутренней, если

$\rho < R$, т. е. если $K > \frac{1}{R^2}$ или $v_0^2 < gR$. На рисунке Ньютона $\rho \approx \frac{1}{2} R$, и, следовательно, $v_0^2 \approx \frac{1}{3} gR$. Кривая, которая представляет положение точки O как функцию начальной скорости v_0 , будет действительно «касаться линии BC в C », но затем идти к точке окружности с координатами $(R, \frac{\pi}{\sqrt{3}})$ ³⁹.

5. Гук — Ньютону (6 января 1679/80 г.)*

Сэр,

Ваш расчет кривой для тела, притягиваемого силой, одинаковой для всех расстояний от центра, так же, как и для случая шара, вращающегося в перевернутом вогнутом конусе, справедлив, и две вершины (аугес) не совпадут на приблизительно одну треть оборота. Но мое предположение состоит в том, что притяжение всегда находится в обратном двойном отношении к расстоянию от центра, и, следовательно, скорость будет в половинном отношении к притяжению и, следовательно, как и предполагал Кеплер, в обратном (отношении) к расстоянию. И что при таком притяжении апсиды (аугес) совпадут в одной и той же части окружности, и что ближайшая к центру точка будет находиться напротив наиболее удаленной. Я полагаю, что это весьма понятно и истинно следует из всех небесных явлений. И, следовательно (хотя, в действительности, я согласен с Вами, что кривая, по которой обращалось бы тело, опускающееся к центру Земли, представляет все же бесполезное предположение), выяснение свойств кривой, построенной на этих двух принципах, должно весьма заинтересовать человечество. Потому что определение долготы с помощью небесного свода есть необходимое следствие этого: ибо (нахождение) результирующей двух таких движений, я полагаю, даст возможность понять движения Луны. То, что я упомянул в своем последнем (письме) относительно опускания (тела) внутри тела Земли, было (основано) лишь на предположении о таком притяжении: не то чтобы я считал, что в действительности существует такое притяжение к самому центру Земли, скорее, напротив, я полагаю, что чем больше тело приближается к центру, тем меньшее притяжение оно испытывает — возможно, что-то вроде воздействия тяготения на маятник или на тело, движущееся по вогнутой сферической поверхности, когда сила (power) непрерывно уменьшается (тем сильнее), чем ближе тело склоняется к горизонтальному движению, которое оно имеет, когда находится на перпендикуляре, проведенном из точки подвеса, т. е. в наинизшей точке, и тогда апсиды почти противоположны, а наибольшее приближение к центру происходит приблизительно через четверть оборота. Но в случае небесных движений причиной притяжения являются Солнце, Земля или центральное тело и, хотя они не могут считаться математическими точками, они могут восприниматься как физические (точки), и притяжение на значительном расстоянии может быть рассчитано в соответствии с первым из вышеуказанных отношений как (исходящее) из самого центра. Правильно рассчитанная такая кривая докажет ошибку тех многочисленных неуклюжих смещений, которыми пользуются астрономы, чтобы согласовать истинные движения планет со своими таблицами. Но об этом позже. Тем временем, я должен

* В Англии в XVII в. новый год начинался 25 марта. Чтобы избежать путаницы в современном календарном исчислении, принято в январе обозначать год двойной цифрой.

сообщить Вам, что я предпринял (с тщательностью, на которую только был способен) три попытки эксперимента с падающим телом, в каждой из которых шар падал к юго-востоку от перпендикуляра, и что (смещения) были очень значительными, наибольшее — около четверти дюйма, но поскольку все они не были одинаковыми, я не знаю, которое из них было истинным. Что за причина такого различия, я не знаю: то ли неправильная сферическая форма железного шара, то ли движение воздуха — ибо опыты были проделаны на открытом воздухе, то ли неощутимая вибрация шара, подвешенного на нити, перед тем, как нить разрезалась. Но так как это был весьма замечательный опыт, я не оставлю его, пока не добьюсь доказательства, не допускающего возражений, описание которого я Вам пришлю. Если я добьюсь успеха, то последуют другие выводы, не менее важные, прежде всего, что все тела будут в результате становиться легче по мере приближения к экватору, причем круговое движение будет более быстрым. И по той же самой причине, чем дальше тело находится от центра, тем меньше будет его тяготение, что, как я долгое время предполагал, определяется не только уменьшением притягивающей силы, но также и увеличением стремления удалиться. И это открывает для нас другой путь проверить, обладает ли Земля суточным движением, хотя и более несовершенный, чем тот, который предлагали Вы. Но я мог бы сказать Вам кое-что относительно наблюдений. М-р Галлей по возвращении со Св. Елены рассказывал мне, что его маятник на вершине холма шел более медленно, чем у подножья, чем он был очень удивлен и не мог понять причину. Но теперь я сказал ему, что он разрешил для меня вопрос, на который я давно хотел ответить, но не имел возможности, а вопрос состоял в том, в действительности ли тяжесть уменьшается на большей высоте от центра. Чтобы проверить это уменьшение притяжения, я давно еще проделал множество экспериментов на колокольне (Св.) Павла и в Вестминстерском аббатстве, но ни один из них не был вполне удовлетворительным. Это нарушит всеобщий стандарт, основанный на маятнике, и тождественность маятниковых часов, переносимых из одной области (climate) в другую, а также возникнет много других последствий, которые слишком пространны, чтобы сейчас Вас беспокоить, о них я уже давно передал Обществу письменное сообщение, основанное на предположении об уменьшении тяжести и увеличении кругового движения. (Остаюсь), сэр, не кем иным, как

Вашим нижайшим слугой
Робертом Гуком
Грешем-колледж
января 6-го, 1679 г.

Не получив ответа, Гук посылает Ньютону еще одно письмо, в котором обращается к нему с призывом продолжить исследование той самой задачи, которую он предложил в своем первом письме, прямо указывая на превосходство его как математика:

6. Гук — Ньютону (17 января 1679/80 г.)

Сэр,

я рассказал Вам в своем последнем (письме) от 6-го текущего месяца, что в попытках, которые я предпринял на открытом воздухе, Ваш эксперимент очень хорошо удался. Теперь я могу Вас уверить, что в двух попытках, предпринятых в двух различных местах в закрытом помещении, он также удался. Так что теперь я убежден, что на этот эксперимент вполне можно положиться (is very certain) и что он предоставляет доказательство суточного движения Земли, как Вы весьма удачно предположили. Теперь остается узнать свойства кривой линии (ни круговой, ни концентрической), обусловленной центральной силой притяжения, которая определяет скорости спуска с касательной линии или (линии) равномерного прямолинейного движения для всех расстояний в двойном обратном отношении к этим расстояниям. Я не сомневаюсь, что при помощи Вашего замечательного метода Вы сможете легко найти, что это должна быть за кривая и каковы ее физические свойства, а также предложить физическое объяснение этого отношения. Если у Вас будет время рассмотреть этот вопрос, одно или два Ваших соображения были бы с благодарностью приняты Обществом (где их бы обсудили), а также, Сэр,

Вашим нижайшим слугой

Р. Гуком.

Грешем-колледж

января 17, 1679

Моему высокочтимому другу

М-ру Исааку Ньютону

Лукасовскому профессору

в его квартиру в Тринити-колледже

в Кембридж.

На этом переписка, по сути, заканчивается, хотя почти год (!) спустя Ньютон присылает Гуку еще одно письмо, в котором среди прочих вещей, к делу не относящихся, содержится благодарность за проверку Гуком эксперимента, предложенного Ньютоном:

7. Отрывок из письма Ньютона к Гуку от 3 декабря 1680 г.

Я должен поблагодарить Вас за проверку эксперимента по падению тел, предложенного мною, что, полагаю, должно было быть сделано при личной встрече (returned by word of mouth), однако, не имея этой возможности, мне приходится удовольствоваться тем, что я делаю это в письме⁴⁰.

В письме от 6 января содержится интересная информация относительно того, что мог знать Гук о движении под действием центральных сил, подчиняющихся и не подчиняющихся закону обратных квадратов. Из письма

следует, что он хорошо знал, что тело может описывать траекторию, близкую к эллиптической, под действием центральной силы, пропорциональной расстоянию. Он обнаружил это еще более десяти лет назад в опытах со сферическим маятником (см. выше). Очевидно, что он не был в состоянии рассчитать траекторию движения в этом опыте и ограничился лишь качественными замечаниями. Так и в данном случае, его утверждение, что на шар, катящийся по внутренней поверхности перевернутого конуса, действует постоянная сила, справедливо лишь для случая, когда он будет двигаться по окружности в плоскости, перпендикулярной оси конуса. В том случае, когда шар движется по незамкнутой траектории, не слишком отличающейся от окружности, Гук мог предположить, что сила приблизительно пропорциональна расстоянию от центра, и наблюдать движение апсид у траектории. Как показывают его дневниковые записи, он проводил эксперименты по движению тел внутри различных поверхностей вращения, чтобы представить себе общий вид возможных траекторий движения под действием центральных сил, пропорциональных разной степени расстояния⁴¹. Большого внимания заслуживает его высказывание о движении шара по внутренней поверхности сферы, а именно аналогия между таким движением и движением тела, падающего внутри Земли: «То, что я упомянул в своем последнем [письме] относительно опускания [тела] внутри тела Земли, было [основано] лишь на предположении о таком притяжении [имеется в виду закон обратных квадратов]: не то что бы я считал, что в действительности существует такое притяжение к самому центру Земли, скорее, напротив, я полагаю, что чем больше тело приближается к центру, тем меньшее притяжение оно испытывает — возможно, что-то вроде воздействия тяготения на маятник или на тело, движущееся по вогнутой сферической поверхности, когда сила [power] непрерывно уменьшается [тем сильнее], чем ближе тело склоняется к горизонтальному движению». Здесь Гук утверждает именно то, что Ньютон позднее доказал в Предложении ХСІ (Следствие 3), что притяжение внутри Земли пропорционально расстоянию от ее центра. Приведенное высказывание Гука разрушает основной довод критики его представлений Ньютоном, который заявлял в письме к Галлею (см. Приложение): «М-р Гук ошибся в изобретении, на которое он претендовал, и его ошибка есть причина всего того шума, который он произвел. Ибо распространение квадратичной зависимости вглубь до центра (чего я не делал) заставило его поправлять меня и говорить об остальных положениях его теории, как о новых для меня вещах». Ньютон здесь несправедлив к Гуку, как и в другом своем заявлении, что теория Гука представляет собой плагиат теории Борелли. Теория Борелли, опубликованная в 1666 г.⁴², объясняла движение планет наличием двух противоборствующих сил — силы притяжения и центробежной силы, причем эллиптическая форма орбиты обуславливалась попеременным преобладанием то одной, то другой силы. Центробежное стремление порождалось специальным агентом, *anima motrix*, а сила притяжения возникала из естественного стремления всех планет двигаться к Солнцу как к центру. Гук придержи-

вался существенно иной модели: он постулировал необходимость одной-единственной силы, устранил таинственную *anima motrix* и заменил аристотелевское понятие о естественном стремлении силой тяготения. Более того, в своем письме от 13 декабря Ньютон использовал в точности идею Борелли: тяжелое тело внутри Земли у него должно «обращаться с попеременным подъемом и опусканием, происходящим оттого, что центробежная сила и сила тяжести будут попеременно преобладать одна над другой». Отмечу также, что согласно теории Борелли, если *anima motrix* не сообщает телу достаточно большую скорость, тело будет опускаться к центру по спирали. Может быть, спуск по спирали в первом письме Ньютона был обусловлен влиянием представлений Борелли?

Поразительная интуиция Гука подтверждается тем фактом, что содержание *Начал* существенно определяется теми проблемами, которые были обозначены им в переписке с Ньютоном. Безусловно, одной из таких ключевых проблем была задача о притяжении массивных тел. В письме от 6 января Гук пишет: в случае «небесных движений причиной притяжения являются Солнце, Земля или центральное тело и, хотя они не могут считаться математическими точками, они могут восприниматься как физические [точки], и притяжение на значительном расстоянии может быть рассчитано в соответствии с прежним отношением [т. е. согласно закону обратных квадратов] как [исходящее] от самого центра». Важность этого положения видна хотя бы из того, что Джон Кауч Адамс считал отсутствие у Ньютона доказательства этой эквивалентности причиной двадцатилетней отсрочки публикации *Начал*. Ньютон сам особенно гордился этим своим результатом, о чем он достаточно ясно сказал в письме к Галлею. Помимо этого замечательного результата (Предложение LXX, Отдел XII), доказывающего, что тела притягиваются друг к другу как материальные точки той же массы, в *Началах* содержатся и другие результаты, инспирированные Гуком. Таковы предложения Отдела IX, где рассматривается движение по подвижным орбитам и находится траектория тела, движущегося в поле постоянной силы (см. выше), Предложение IX, где находится закон центростремительной силы для тела, движущегося по спирали, и, наконец, исследование движения тел по поверхностям вращения (Отдел X).

Теперь можно попытаться ответить на вопрос, в какой же степени на самом деле Гук повлиял на развитие динамических представлений Ньютона, и реконструировать эволюцию этих представлений в конце 70 — начале 80-х гг.

Не вызывает никаких сомнений, что именно письма Гука 1679/80 гг. послужили мощным импульсом для Ньютона в деле разработки основ механики, завершившимся публикацией в 1687 г. *Математических начал натуральной философии*. Ньютон сам признавался (в письме Галлею от 27 июля 1686 г.), что «... его [Гука] исправление моей спирали побудило меня найти теорему, с помощью которой я впоследствии исследовал эллипс...»⁴³, хотя, продолжая эту фразу, заявлял: «... тем не менее, я не обязан ему в том, что он пролил хоть какой-либо свет в этом деле»⁴⁴. Эта ремарка, конечно, несправедлива, и здесь, пожалуй, стоит сделать общее замечание. Мы имеем пол-

ное основание не доверять Ньютону, когда он высказывает мнение относительно Гука, своих с ним взаимоотношений, оценивает его вклад в решение той или иной проблемы, или вообще что-то сообщает Гуку о себе, но из этого вовсе не следует, что мы не должны доверять Ньютону, когда он говорит: «В такое-то время я сделал то-то и то-то».

Я подчеркиваю этот момент, потому что в истории эволюции физических представлений Ньютона с начала 1680 г. (конец переписки с Гуком) до лета 1684 г. (написание трактата *De motu*) имеется определенный пробел. Ньютон не ответил Гуку ни на письмо от 6 января 1680 г., ни на следующее письмо. Невозможно себе представить, что он отложил в сторону занятия, вызванные перепиской, напротив, психологически гораздо более правдоподобно предположить, что во время переписки и сразу же после нее Ньютон был поглощен интенсивной работой в том самом направлении, которое было ему указано Гуком. На это существует два прямых указания самого Ньютона. Во-первых, в письме к Галлею от 20 июня 1686 г. он говорит: «... м-р Гук, не зная того, что я нашел после его писем ко мне, мог знать не более того, что зависимость является *quam proxime* квадратичной на больших расстояниях от центра, и только лишь догадывался, что она должна быть в точности такой...» (см. Приложение). Следовательно, было нечто, что Ньютон открыл сразу после получения писем Гука. Что же это было такое? Ответ на этот вопрос содержится во втором документе, написанном Ньютоном после выхода в свет второго издания *Начал* (1713): «...я написал их [*Начала*] за 17 или 18 месяцев, начав в конце декабря 1684 г. и послав их К. Обществу в мае 1686 г., за исключением тех десяти или двенадцати Предложений, которые были получены прежде, а именно, 1-е и 11-е — в декабре 1679 г., 6-е, 7-е, 8-е, 9-е, 10-е, 12-е, 13-е, 17-е [Предложения] Кн[иги] I и 1, 2, 3 и 4 Кн. II — в июне и июле 1684 г.»⁴⁵. Итак, Предложения 1 и 11 были получены Ньютоном в декабре 1679 г., т. е. в разгар переписки с Гуком. Первое из них представляет собой доказательство второго закона Кеплера, а второе — доказательство того, что на тело, движущееся по эллипсу, действует сила притяжения, направленная к фокусу и обратно пропорциональная квадрату расстояния от него.

В связи с проблемой эволюции физических представлений Ньютона я хотел бы отметить две гипотезы, которые появились в 1960-е гг., но затем не получили дальнейшего развития. Во-первых, это утверждение Д. Т. Уайтсайда о том, что Ньютон до конца 70-х — начала 80-х гг. XVII в. не знал второго закона Кеплера или, по крайней мере, относился к нему с большим недоверием⁴⁶. В отличие от Уайтсайда, который считает, что Ньютон вывел этот закон, рассматривая движение тела по эллипсу под действием силы, обратно пропорциональной квадрату расстояния (см. примечание 46), Дж. Херивел полагает, что он сначала доказал этот закон для любой центральной силы (так, как это сделано в *De motu* и в *Началах*), а затем уже начал рассматривать движение по эллипсу⁴⁷. Точка зрения Херивела, мне кажется, ближе к истине, поскольку (помимо аргументов, выдвинутых им в статье) Ньютон в письме Галлею от 27 июля 1686 г. (см. выше) ссылается на

именно такую последовательность событий. Кроме того, если предположить, что Ньютон доказал второй закон Кеплера уже после переписки с Гуком, тогда придется считать, что весь ход вывода кривой «трилистника», предложенный Лоне (см. с. 19 и далее), не мог иметь места, и Ньютон не получал выражения, аналогичного интегралу (5). Можно, конечно, предположить, что он получил эту кривую приближенным построением при помощи парабол, но тогда непонятно его упоминание о центробежной силе как о причине «попеременного подъема и опускания». Мне кажется все же, что Ньютон к 13 декабря 1679 г. уже осознал всю фундаментальность второго закона, и его вывод и был той теоремой, «с помощью которой [он] впоследствии исследовал эллипс».

Вторая гипотеза принадлежит Джону Херивелу, который обнаружил среди бумаг Портсмутской коллекции рукопись Ньютона, где доказывалось, что тело, движущееся по эллиптической орбите, притягивается к центру, находящемуся в фокусе, с силой, обратно пропорциональной его расстоянию от центра⁴⁸. Херивел привел доводы в пользу того, что эта рукопись была написана в декабре 1679 г., однако в то время его никто не поддёржал⁴⁹. Позднее в защиту гипотезы выступил Роберт Уэстфолл, приведя дополнительные аргументы в ее пользу⁵⁰. Вопрос о датировке рукописи остается, по-видимому, открытым, тем не менее я склонен доверять Ньютону, когда тот говорит, что открыл Предложения I и XI в декабре 1679 г., даже если его рукопись, содержащая доказательства, не найдена.

В заключение мне хотелось бы добавить несколько слов о связи содержания *Начал* с задачами, поставленными в переписке. В Предложении XLI находится траектория движения тела, движущегося в поле произвольно заданной центральной силы, а в следующем предложении ищутся элементы орбиты, если даны начальная скорость и направление движения. Эти задачи решаются аналогично задаче о падении тела в письме от 13 декабря 1679 г.; современная интерпретация решения не отличается от той, что предложена на с. 19⁵¹. В частности, как говорит Следствие 1 из Предложения XLI, оно легко позволяет находить наименьшее и наибольшее от центра, т. е. апсидальные вектора. Теоремы следующего раздела рассматривают движение тел по вращающимся орбитам, причем оказывается, что движение под действием центральной силы, обратно пропорциональной кубу расстояния, играет в этом исследовании особую роль. Так, если первоначальная орбита близка к окружности, то движение апсид под действием любой центростремительной силы $f \sim r^n$ можно находить, представив эту силу в виде $r^n = \frac{r^{n+3}}{r^3}$, а затем разлагая числитель по степени малого параметра $x = R-r$, где R — максимальная величина расстояния от центра⁵². Пользуясь таким представлением, Ньютон находит (Следствие 1, Предложение XLV), что для $f = \text{const} = \frac{r^3}{r^3}$ угол между вершинами равен $\frac{\pi}{\sqrt{3}} \approx 103^\circ 55' 23''$,

ставя, таким образом, точку в решении задачи, которую он предложил Гуку в письме от 13 декабря 1679 г. Аналогично решаются задачи для других степеней зависимости силы от расстояния, и $f \sim r^{-3}$ приобретает фундаментальное значение. Мне кажется, что именно поэтому Ньютон детально объясняет Дэвиду Грегори вывод орбиты для случая обратного куба, оставляя в стороне более важный случай обратного квадрата⁵³.

Приложение

История с перепиской между Гуком и Ньютоном зимой 1679/80 гг. имела свое продолжение. Уже тогда, когда книга Ньютона была готова к печати и ее содержание в общих чертах было известно членам Королевского общества, интересующимся проблемами физики, Гук выступил с притязаниями на первенство в открытии основных динамических принципов, лежащих в основе небесной механики, а также — в открытии закона всемирного тяготения. Свои претензии он изложил в рукописи⁵⁴, написанной, по видимому, в конце 1686 или в начале 1687 гг., хотя суть этих претензий стала известна гораздо раньше. Галлей, например, в своем письме⁵⁵ от 22 мая 1686 г. сообщает Ньютону следующее:

Есть еще одна вещь, о которой я должен Вам сказать, а именно: что м-р Гук заявляет некоторые претензии на открытие закона, согласно которому тяготение уменьшается обратно пропорционально расстоянию от центра. Он говорит, что Вы получили это представление от него, хотя отдает Вам должное в том, что доказательство (вида) кривой, порожденной вследствие этого, принадлежит всецело Вам.

Точка зрения самого Ньютона изложена в его письмах к Галлею, относящихся к этому времени, из которых наиболее красноречивым является письмо от 20 июня 1686 г.⁵⁶

Ньютон — Галлею (20 июня 1686 г.)

Сэр,

чтобы дать вам знать о деле между м-ром Гуком и мною, я представляю вам рассказ о том, что произошло между нами в наших письмах, так, как смогу вспомнить, ибо прошло много времени с того момента, как они были написаны, и я не помню, чтобы я смотрел их с тех пор. Я почти убежден в том, что сэр Кристофер Рен знал квадратичную зависимость (duplicate proportion), когда я его посетил*; а затем м-р Гук (своей книгой *Комета*, написанной впоследствии) докажет остальным из нас трех, что он знал о ней**. В этом письме я намерен дать вам полную информацию об этом деле;

* Весной 1677 г.

** Ньютон хочет сказать, что Гук в своей книге даже не упомянул о такой зависимости.

а поскольку это пустячное дело, я ограничусь тем, что изложу вам кратко лишь его основные пункты, а именно: что я никогда не распространял квадратичную зависимость ниже поверхности земли, и что до того, как в прошлом году я нашел некое доказательство, я не предполагал, что она достаточно точно выполняется, простираясь столь глубоко вниз (*it did not reach accurately enough down so low*), и, следовательно, никогда не использовал ее в учении о снарядах и не рассматривал движения на небе; и, следовательно, м-р Гук не мог на основании моих писем, в которых шла речь о снарядах и об областях опускания к центру, сделать вывод о моем незнакомстве с теорией небес(ных движений). Что то, что он сообщил мне о квадратичной зависимости, было ошибочно, а именно что она простирается от данной точки вниз до центра земли. Что нечестно требовать от меня, чтобы я печатно признался в том, что ничего не знал тогда о квадратичной зависимости в (теории) небес(ных движений); ибо (я не принял эту зависимость) ни по какой другой причине, а лишь потому, что он сообщил мне об этом для случая снарядов, и тогда — основываясь на ошибочных предположениях — он обвинил меня в таком неведении. Что в моем ответе на его первое письмо я отказался от переписки с ним, сказав ему, что я отошел от философии, и послав ему всего лишь (описание) эксперимента со снарядами (скорее краткий набросок, чем подробное изложение), чтобы как-то подсластить свой ответ, надеясь более ничего не услышать от него; я едва мог заставить себя ответить на его второе письмо, не ответил на третье, был занят другими вещами, о философских вопросах думал не более, чем того требовали от меня его письма, и, следовательно, в это время мне могло быть позволено не занимать свои мысли подобными вещами. Что по той же самой причине, по какой он посчитал меня несведущим в остальных деталях квадратичной зависимости, он мог бы также посчитать меня несведущим и в остальных деталях той теории, о которой я раньше прочел в его книге. Что в одной из написанных мною работ (я не могу сказать в каком году, но я уверен, за некоторое время до того, как начал переписку с м-ром Олденбургом, т. е. более пятнадцати лет тому назад), ясно обозначена зависимость сил (удаления) планет от Солнца, которая является обратной квадратичной по отношению к расстоянию от него, и подсчитано, хотя и не вполне точно, отношение нашей силы тяжести (*our gravity*) к стремлению Луны удалиться от центра Земли (*conatus recedendi a centro terrae*). Что когда Гугений выпустил свои *Horol. Oscil.* *, экземпляр которых был мне подарен, я в благодарственном письме воздал должное тем правилам за их полезность в философии и привел свою вышеупомянутую статью как пример их полезности для сравнения сил (удаления) Луны от Земли и Земли от Солнца, для решения задачи о фазах луны и для нахождения предела солнечного параллакса; это показывает, что тогда я обратил внимание на сравнение сил планет, возникающих из-за их кругового движения, и знал это; так что некоторое время спустя,

* Маятниковые часы (1673).

когда м-р Гук торжественно объявил эту задачу, в конце своей *Попытки доказать движение Земли*, то если бы до того я даже и не знал ничего о квадратичной зависимости, я не мог бы не обнаружить ее теперь. Десять-одиннадцать лет назад одна моя гипотеза была зарегистрирована в ваших книгах, где я высказывался о причине тяготения к Земле, Солнцу и планетам и о зависимости от него небесных движений; и где убывание силы тяжести от поверхности планеты (хотя и не было из-за краткости обозначено) не могло быть ничем иным, как обратной пропорциональностью квадрату расстояния от центра. И, надеюсь, мне не придется печатно заявлять, что я не понял очевидных математических условий моей собственной гипотезы. Но (невозможно) допустить, что впоследствии я получил ее (гипотезу) от м-ра Гука, ведь я имею на нее такое же полное право, как и на эллипс. Ибо так же, как Кеплер знал, что орбита является не круговой, а овальной, и догадывался, что она должна быть эллиптической, так и м-р Гук, не зная того, что я нашел после его писем ко мне, не мог знать более того, что зависимость является *quatuor proxime** квадратичной на больших расстояниях от центра, и только лишь догадывался, что она должна быть в точности такой, и ошибался, предполагая эту зависимость простирающейся вниз до самого центра, в то время как Кеплер был прав, высказывая догадку об эллипсе. Существует такое сильное возражение против точности этой зависимости, что без моего доказательства, к которому м-р Гук не имеет никакого отношения, никакой здравомыслящий философ не может посчитать ее точной. Итак, излагая это дело, я заявляю свои права на (открытие) зависимости в такой же мере, как и на (открытие) эллипса; и имею такое же право на первое в связи с Гуком, как и на второе в связи с Кеплером; и следовательно, поэтому он должен также, во всяком случае, умерить свои претензии.

Доказательство, которое вы мне послали, мне очень понравилось. Я задумал, что все должно состоять из трех книг; вторая (короткая) закончена прошлым летом, ее надо лишь переписать и хорошо сделать гравированные рисунки. Несколько новых предложений, о которых я думал раньше, я могу также отложить в сторону. В третьей (книге) недостает теории комет. Прошлой осенью из-за отсутствия хорошего метода я безрезультатно провел два месяца в вычислениях, что впоследствии заставило меня вернуться к первой книге и дополнить ее различными предложениями, имеющими отношение к кометам и другим вещам, которые я нашел прошлой зимой. Третью (книгу) я думаю теперь исключить. Философия — столь нагло сутяжничающая дама, что иметь с ней дело — все равно что быть втянутым в судебный процесс. Я сталкивался с этим раньше, и теперь не успел я снова к ней подойти, как она делает мне предупреждение. Первые две книги без третьей не вполне заслуживают названия *Philosophiae naturalis principia mathematica*, и поэтому я изменил его на такое: *De motu corporum libri duo***. Но, под-

* Приблизительно.

** О движении тел (в двух книгах).

унав, оставил прежнее название. Это облегчит продажу книги, спрос на которую я не должен уменьшать, теперь она ваша. Большие разделы (articles) так и должны называться. Если хотите, вы можете заменить это слово на отделы (sections), хотя это несущественно. На первой странице я вычеркнул слова *uti posthac decebitur** как относящиеся к третьей книге. Пока это все от

вашего любящего друга
и нижайшего слуги,
Ис. Ньютона.
Кембридж, 20 июня 1686 г.

Пока я писал это письмо, один человек сказал мне со слов другого, присутствовавшего на одном из ваших собраний, что м-р Гук произвел там, должно быть, большой шум, заявляя, что я все получил от него, и желая, чтобы они удостоверились, что он поступает справедливо. Этот выпад по отношению ко мне является весьма странным и незаслуженным; так что с точки зрения справедливости я не могу не сказать вам далее, что он опубликовал гипотезу Борелла под своим собственным именем, и то, что он приписывает ее себе и заключает как свою собственную, кажется мне подоплекой всего того шума, который он производит. Борелл кое-что сделал в рамках этой гипотезы и писал скромно. Он же (Гук) не сделал ничего, а написал так, будто бы он все знал и сделал все существенные наметки за исключением того, что осталось определить при помощи нудной процедуры вычислений и наблюдений, избавляя себя от этого труда по причине занятости другими своими делами, в то время как лучше бы он сослался на свою неспособность. Ибо из его слов очевидно, что он не знал, как за это взяться. Разве это теперь не совершенно ясно? Математики, которые находят, решают и делают всю эту работу, должны удовлетворяться тем, что они — скучные вычислители и поденщики; а другой человек, который не делает ничего, кроме того, что заявляет претензии и хватается за все, должен уносить с собой все изобретения, (принадлежащие) как тем, кто должен был идти за ним, так и тем, кто шел до него. Его письма ко мне были написаны в очень похожем стиле, в них говорится, что сила тяжести (gravity) при падении из данной точки к центру Земли обратно пропорциональна квадрату высоты, что фигура, описываемая снарядом в этой области, будет эллипсом и что все движения небесных тел должны объясняться таким образом; и он делает это так, как будто бы он все это вывел и знает это с полной определенностью. И на основе этих сведений я должен теперь печатно признать, что я все это получил от него и что я сам ничего не сделал, кроме нудной работы по вычислению, доказательству и изложению изобретений этого великого человека. И все же, в конце концов, первая из трех вещей, которые он сообщил мне, была неверной и весьма нефилософской,

* Как о том сказано ниже. (В тексте *Начал* Ньютон говорит об опытах с маятниками, описанными в Третьей Книге.)

вторая была столь же неправильна, а третья выходила за пределы того, что он знал или в незнании чего мог обвинять меня в наших письмах. И я не понимаю, по какому праву он заявляет о ней (гипотезе) как о своей собственной; ибо, как Борелл писал задолго до него, что в результате стремления планет к Солнцу, похожего на тяготение или магнетизм, планеты будут двигаться по эллипсам, так и Буллиалд писал, что все силы, почитающие Солнце своим центром и зависящие от массы (matter), должны быть обратно пропорциональны расстоянию от центра, и он использовал для этого тот самый аргумент, при помощи которого вы, сэр, доказали эту зависимость для случая тяготения в последних Transactions. Если теперь м-р Гук, (исходя) из этого общего предложения Буллиалда, смог получить зависимость для тяготения, почему эта зависимость должна выдаваться за его изобретение? Мое письмо Гугению, которое я упоминал выше, было послано м-ру Олденбургу, который имел обыкновение хранить оригиналы. Его бумаги попали в руки м-ра Гука. Зная мой почерк, м-р Гук мог полюбопытствовать взглянуть на это письмо и взять оттуда понятие о сравнении сил планет, возникающих в результате их кругового движения; так что то, что он написал мне впоследствии об оценке тяготения (about the rate of gravity), могло быть не чем иным, как плодом из моего собственного сада. И более, я могу утверждать, кроме того, что квадратичная зависимость не упоминалась в этом письме. Однако он ее не знал (как я могу судить из его книг) до тех пор, пока, спустя пять лет, уже любой математик мог ему это сказать. Ибо, когда Гугений рассказал, как находить силу для всех случаев кругового движения, он сказал им, как это делать в данном случае, а также — и во всех других. Итак, честь открытия в данном случае принадлежит Гугению. Ибо пять лет спустя утверждать, что это его собственное открытие, — все равно как если бы рабочий, научившийся искусству топографии от своего наставника, стал бы впоследствии утверждать, что топографическая съемка того или другого участка земли есть его собственное изобретение, и держал бы для этого про запас гравировальную доску. Но что, если этот топограф — «сапожник» и сделал неправильную съемку? М-р Гук ошибся в изобретении, на которое он претендовал, и его ошибка есть причина всего того шума, который он произвел. Ибо распространение квадратичной зависимости вглубь до центра (чего я не делал) заставило его поправлять меня и говорить об остальных положениях его теории как о новых для меня вещах. А теперь он стоит на том, что я все взял из его письма, невзирая на то, что он раньше рассказывал об этом всему миру, и я видел это в его напечатанных книгах — все, кроме зависимости. И почему я должен считать совершившим открытие человека, который настаивает в этом открытии на ошибке и по этой причине делает мне неприятности? Он воображает, что сделал мне одолжение, рассказав о своей теории, а я думаю, что ничем ему не был обязан, когда он, основываясь на своей ошибке, свысока меня поправлял и преподавал мне теорию, которую знал каждый и о которой я имел более верное понятие, чем он сам. Может ли человек, считающий себя знато-

ком, который любит поправлять и поучать других, приходится к вам, когда вы заняты, и, несмотря на ваши извинения, настаивать на разговоре с вами и поправлять вас, при этом делая ошибки, и продолжать разговор; а затем использовать это, чтобы хвастаться, что он научил вас всему, о чем рассказывал, вынуждая вас это признать, крича на весь мир об оскорблении и несправедливости, если вы этого не делаете; вы скажете, я полагаю, что это человек со странным неуживчивым нравом. Письма м-ра Гука во многих отношениях изобилуют доказательствами того нрава, на который жаловались Гевелий и другие; и следовательно, для него настало время подумать, не буду ли я в гораздо большей степени вынужден (чтобы отдать ему должное, к чему он призывает) печатно высказать о нем справедливое мнение, и особенно потому, что это в третий раз он причиняет мне подобные неприятности. Чтобы вы могли далее разобраться в этом деле, я прошу вас справиться в ваших книгах о моей статье, озаглавленной *Гипотеза, объясняющая свойства света*. Она датирована 7 дек. 1675 г. и зарегистрирована в вашей книге в следующем январе или феврале. Недалеко от начала там есть абзац, заканчивающийся такими словами: «И как Земля, так, возможно, и Солнце обильно поглощает этот спирт, чтобы сохранить свое свечение, и удерживает планеты от того, чтобы они далее от него не отошли; и можно также предположить, что этот спирт снабжает или доставляет туда солнечное топливо или материальную сущность света. И что огромные эфирные пространства между нами и звездами представляют собой достаточные хранилища этой пищи для Солнца и планет. Однако это (соображение) об устройстве эфирных сущностей неважно».

В этих и предшествующих словах содержится общая причина тяготения к Земле, Солнцу и ко всем планетам, и по этой причине планеты удерживаются на своих орбитах вокруг Солнца. И за исключением квадратичной зависимости, это и есть вся та философия, которую, как заявляет м-р Гук, я получил из его писем несколько лет спустя. Предыдущие слова содержат причину явления тяготения, как мы это наблюдаем на поверхности земли, без какого-либо отношения к изменению расстояния от центра. Потому что сперва я не думал писать ни о чем другом. Впоследствии я вписал, как показывает моя рукопись, слова, цитированные выше, относительно небес(ных тел); а в таких кратких и мимолетных набросках (отсутствие) выражения для зависимости можно легко извинить. Но, если вы рассмотрите суть гипотезы, вы обнаружите, что тяготение уменьшается в направлении вверх и не может изменяться от поверхности земли иначе, чем обратно пропорционально расстоянию от центра, однако в направлении вниз эта зависимость несправедлива. Это было всего лишь гипотезой, и должно рассматриваться только как одно из моих предположений, в котором я был уверен; но этого достаточно, чтобы объяснить вам, почему, рассматривая опускание тела вниз (от поверхности земли) к центру, я не использовал квадратичную зависимость. Для малых (высот) подъема и спуска снарядов над землей изменение тяготе-

ния столь незначительно, что математики им пренебрегают. Отсюда широко распространенная (*vulgar*) среди них гипотеза о постоянной (*uniform*) силе тяготения. Почему же как математик я не могу широко ее использовать, не думая о физике небесных тел (*philosophy of heavens*) или не предполагая ее физически правильной?

Примечания

1. *Rouse Ball W. W.* An Essay on Newton's «Principia». London, 1893. P. 139—153.
2. *Pelseneer J.* Une Lettre inedite de Newton // *Isis*. 1929. Vol. 12. P. 237—254.
3. *Weil E.* Robert Hook's Letter of 9 December 1679 to Isaac Newton // *Nature*. 1946. Vol. 158. P. 135.
4. *Koyre A.* An Unpublished Letter of Robert Hook to Isaac Newton // *Isis*. 1953. Vol. 43. В данной работе ссылки даются на перепечатку этой статьи в книге: *Koyre A.* *Newtonian Studies*. London, 1965. P. 221—260.
5. Цит. по: *Cadjori F.* A History of Phisics. N. Y., 1962. P. 94.
6. *Dobbs B. J.* The Foudation of Newton's Alchemy or the Hunting of Green Lion. Cambridge, 1984. P. 88.
7. Ариане — представители одной из наиболее известных ересей — не признавали божественности Христа, рассматривая его лишь как посредника между Богом и людьми.
8. Эта тема интересовала Ньютона и раньше: его наиболее известным богословским трудом является книга «Замечания к книге пророка Даниила и Откровению Св. Иоанна» (есть русский перевод: «Замечания на книгу „Пророк Даниил и Апокалипсис Св. Иоанна“»). СПб., 1916). Долгое время считалось, что эту книгу он написал в старости, однако анализ записных книжек показывает, что Ньютон начал заниматься толкованием пророчеств в 70-е гг.
9. *Westfall R.S.* Never at rest. Cambridge, 1987. P. 335.
10. Перевод писем Ньютона и Гука сделан по наиболее авторитетному изданию: *The Correspondence of Isaac Newton / Ed. H. W. Turnbull.* Vol. II. Cambridge, 1960. P. 297—314. Слова в квадратных скобках принадлежат переводчику или дублируют текст оригинала.
11. Гру Н. (1641—1712) — врач и ботаник, член Королевского общества. С 1677 г. делил с Гуком обязанности Секретаря общества.
12. К. Мальмон де Мессанж — в те годы — профессор философии в Коллеж де Плесси. А. Койре называет его сочинения «клубком нелепостей».
13. Изложение доклада Гука см. в книге: *Birch T.* The history of the Royal Society of London. London, 1756. Vol. II. P. 90.
14. Вообще говоря, траекторией движения сферического маятника будет незамкнутая кривая, изображенная на рис. 9. Замечательно, что это не ускользнуло от внимания Гука, который отметил, что в этом эксперименте «очень ясно видно движение вершин». Но, как нам сегодня известно, при малых отклонениях линии подвеса от вертикали угол прецессии $\Delta\varphi$ становится равным π , и траектория превращается в эллипс, который описывается вокруг своего центра. Поэтому недоумения А. Н. Боголюбова по поводу того, «мог ли Гук так маневрировать своим маятником, чтобы один из фокусов оказывался точно под точкой подвеса» (*Боголюбов А. Н.* Роберт Гук. М., 1984. С. 128.), снимаются. О современной теории сферического маятника см.: *Зоммерфельд А.* Механика. М., 1947. С. 133—139, 341, 361—362. Приведенный рисунок взят из этой книги.
15. См. Приложение.

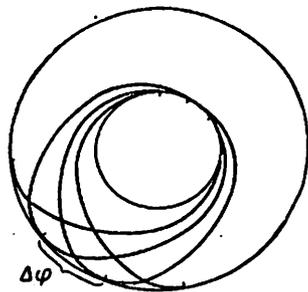


Рис. 9. Траектория движения сферического маятника (вид сверху)

16. Койре в указанной статье приводит, например, характерные высказывания двух выдающихся биографов Ньютона Дэвида Брюстера и Луиса Мора. Первый писал: «Эти прекрасные письма, соревнующиеся в добрых чувствах и возвышенных принципах, проливают определенный свет на характер и состояние двух величайших наших английских философов» (*Brewster D. Memoirs of the Life, Writings and Discoveries of Sir Isaac Newton. Edinburgh, 1855. P. 143*); а второй добавлял: «Эти два письма содержат все отличительные признаки попытки формального примирения, к которому их принуждали другие и которое признавалось необходимым ими самими. Каждый из авторов выражает огромное восхищение талантом другого, каждый осуждает публичное и пристрастное обсуждение своих точек зрения и каждый требует от другого строгой критики своей собственной работы при условии ее конфиденциальности» (*More L. T. Isaac Newton, a Biography. N. Y., 1934. P. 177*).
17. *Pelsneer*, *op. cit.*, 240.
18. *Corr.* II, 288—295. Несомненно, это то самое письмо, которое имел в виду А. Койре в своей статье 1953 г., говоря о письме Ньютона Локку (*Koyre A. Newtonian Studies. P. 237*).
19. *Hooke R. An Attempt to prove the Motion of the Earth by Observation. London, 1674. P. 25*. Койре по этому поводу замечает, что «трудно принять это утверждение [о том, что он не читал книги Гука] за что-либо, кроме насмешки» (*Koyre A. Newtonian Studies. P. 238*).
20. См. Приложение.
21. *Rouse Ball, Essay, 145*.
22. *The Correspondence of Isaac Newton / Ed. H. W. Turnbull. Vol. I. Cambridge, 1959. P. 298*. Исследование этого вопроса см. в работе: *Кирсанов В. С. Ранние представления Ньютона о тяготении. ВИЕТ. № 2. С. 42—52*.
23. Обстоятельное исследование, посвященное истории этой проблемы, в отечественной литературе можно найти в работе: *Г. К. Михайлов, С. Р. Филонович. К истории задачи о движении свободно брошенных тел на вращающейся Земле // Исследования по истории физики и механики. М., 1990. С. 93—121*.
24. Подробный анализ истории этого вопроса дан в статье А. Койре: *Koyre A. A Documentary History of the Problem of Fall from Kepler to Newton // Transactions of the American Philosophical Society. New series. 1955. Vol. 45. P. 329—355*.
25. Цит по: *Rouse Ball, op. cit.*, 146.
26. Письмо написано переписчиком, вероятно, под диктовку, как можно судить по множеству ошибок и описок. Гук собственноручно лишь надписал и подписал письмо. Читатель может сам судить об этом, обратившись к статье А. Койре 1952 г., где воспроизведено факсимиле письма.
27. Николай Стено (1631—1686) — датский естествоиспытатель; Де Графт точно не идентифицируется: возможно, это голландский математик де Грааф, который в одном месте у Г. У. Тернболла в комментариях ко II т. *Переписки* назван Абрагамом, а в другом месте — Андреасом, или же это Регнер де Грааф, как предполагает Койре; Брорус — итальянский алхимик Джузеппе Франческо Борро (1627—1695). Отметим, что все упоминающиеся Гуком ученые, кроме Регнера де Граафа, который умер в 1673 г., были живы к моменту написания письма и продолжали заниматься наукой.
28. Джон Хоскинз (1634—1705) — юрист, в 80-е гг. занимал должности президента, а впоследствии секретаря Королевского общества.
29. Томас Хеншо (1618—1700) — писатель и государственный деятель, один из первых членов Королевского общества.
30. Здесь Гук оправдывается перед Ньютоном за то, что оповестил Королевское общество о том, что было сказано ему в личном письме. Гук полагал, что в качестве секретаря Общества он был обязан сообщать мнения других членов относительно тех или иных явлений природы, не касаясь при этом возражений и споров, содержащихся в частной переписке.
31. *Hook R. An attempt to prove the motion of the Earth from observation. London, 1674*.
32. *Ibid.*, 27—28.

33. Сравни: *Lohne J. Hooke versus Newton // Centaurus*. 1960. Vol. 7. № 3. P. 32.
34. Об этом см.: *Михайлов Г. К., Филонович С. П.* *Op. cit.*, 112—113; *Lohne, Op. cit.*, 31—33.
35. *Lohne, op. cit.*, 43.
36. *Herivel J.W.* *The Background of Newton's Principia*. Oxford, 1966. P. 325.
37. *The mathematical papers of Isaac Newton / Ed. Whiteside D. T.* Vol. VI. Cambridge, 1974. P. 92. Сам текст (с. 149—152) включен как Поучение к Предложению XII. Задаче VII, в которой находится центростремительная сила, действующая на тело, движущееся по параболе, и оно никоим образом не связано с этой задачей. Прилагаемый чертеж отсутствует в оригинале и воспроизведен Уайтсайдом по тексту.
38. *Newton I.* *Unpublished scientific papers: a selection from the Portsmouth Collection / chosen, ed. & transl. by A. R. Hall and M. Boas Hall.* University Press. Cambridge, 1962 (2d ed. 1978). P. 243. См. также: *Ньютон И.* *О движении сферических тел в жидкости / Пер. и комментарий В. С. Кирсанова.* ВИЕТ. 1987. № 3. С. 57—73. Позднее, в период подготовки второго издания *Начал*, Ньютон так прокомментировал происхождение этого термина: «Г-н Гюйгенс дал название центробежная сила (*vis centrifuga*) силе, с которой обращающиеся тела удаляются (*recede*) от центра их движения. Г-н Ньютон в честь этого автора сохранил это наименование и назвал противоположную силу центростремительной силой (*vis centripeta*)» (*J. B. Cohen.* *Introduction to Newton's Principia.* University Press. Cambridge, 1971. P. 53). Однако вполне правдоподобно, что Ньютон использовал понятие центростремительной силы задолго до того, как дал ей это название.
39. См. также: *Lohne, op. cit.*, 43; *Pelsneer, op. cit.*, 250—251; *Whiteside D. T.* *Newton's early thoughts on planetary motion: a fresh look // The British Journal for the History of Science*. 1964. Vol. 23. № 6. P. 134 (note 55).
40. 22 января 1680 г. Гук сообщил на собрании Королевского общества о своей проверке эксперимента, предложенного Ньютоном. Он несколько видоизменил его, заменив стальную пластинку доской, покрытой слоем воска. На восковую поверхность была нанесена сетка, чтобы можно было обнаружить не только смещение к востоку, но и к югу (в конструкции Ньютона последнее исключалось). Опыты проводились в церкви, с высоты около 9 м. Несмотря на то что при столь малой высоте никакого осязаемого эффекта добиться невозможно, Гук тем не менее трижды подтвердил отклонение на юго-восток порядка 8 мм (современный теоретический расчет дает величину 0,3 мм). См. *Birch T.* *The history of the Royal Society of London.* Vol. IV. London, 1756. P. 5; *Арнольд В. И.* Гюйгенс и Борроу, Ньютон и Гук. М., 1989. С. 15.
41. См.: *Lohne, op. cit.*, 14—17, *Арнольд, указ. соч.*, 17. В. И. Арнольд так, например, оценивает экспериментальные возможности Гука: «Гук, не имея необходимого математического аппарата, не сумел точно решить уравнений движения, получающихся из закона обратных квадратов, и, чтобы найти орбиты, численно графически или на аналоговой машине вроде упомянутой им вогнутой поверхности эти уравнения проинтегрировал. Известно, что такая машина у Гука была: он исследовал характер движения, моделируя притяжение действием поверхности на скользящий по ней груз».
42. *Borellus J.A.* *Theoricae medicorum planetarum a causis physicis deducta.* Florentiae, 1666. Подробное исследование теории Борелли содержится в книге: *Koyre A.* *La revolution astronomique.* Paris, 1961. P. 430—506. Краткое, но вполне адекватное изложение теории можно найти в книге: *Kuhn T. S.* *The Copernican Revolution.* Cambridge Mass., 1979. P. 248—249.
43. *Corr.*, II, 447.
44. *Ibid.*
45. University Library Cambridge, *Add. MS.* 3968.9, f. 106. Цит. по: *Westfall R. S.* *Newton's demonstration of motion in ellipses // Archives Internationales d'histoire des sciences*. 1969. Vol. 22. № 86—87. P. 58.
46. *Whiteside D. T.* *Newton's early thoughts on planetary motion: a fresh look // British Journal for the History of Science*. 1964. Vol. II. № 6. P. 117—137; *Whiteside D. T.* *Before the Principia: the maturing of Newton's thoughts on dynamical astronomy, 1664—1664 // Journal*

for the History of Astronomy. 1970. № 1. P. 5—19. В первой статье он высказывает также предположение, что еще до трактата *De motu* (1684) Ньютон следующим образом вывел второй закон Кеплера (см. рис. 10): если тело P движется по эллиптической орбите AP , то при переходе из точки P в точку Q оно перемещается силой, направленной к центру S , с касательной PR на орбиту, т. е. смещается на отрезок RQ . Величина смещения $RQ \sim \frac{1}{SP^2} \times (dt)^2$, где dt — беско-

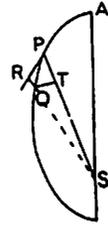


Рис. 10. К выводу закона площадей

нечно малый промежуток времени. Затем Ньютон, исходя из теории конических сечений, доказывает, что в пределе это смещение $RQ = \frac{OT^2}{L}$, где L — параметр эллипса. Из сравнения этих двух выра-

жений следует, что $SP \times QT \sim dt$, а это и есть второй закон Кеплера.

47. Herivel J. W. Newton's first solution to the problem of Kepler motion // British Journal for the History of Science. 1965. Vol. II. Part IV. № 8. P. 350—354.
48. University Library Cambridge. Add. MS. 3965. 1, ff. 1—3. См. Herivel J. W. Newtonian Studies III. The Originals of the Two Propositions Discovered by Newton in December 1679 // Archives Internationales d'Histoire des Sciences. 1961. Vol. 14. P. 23—33.
49. См., например: Hall A. R., Hall M. B. The Date of «On motion in Ellipses» // Archives Internationales d'Histoire des Sciences. 1963. Vol. 16. P. 23—28. Д. Т. Уайтсайд также отвергает точку зрения Херивелла, см. его комментарий к Mathematical Papers of Isaac Newton. 1974. VI. P. 14 (footnote 43).
50. Westfall R. S. A note on Newton demonstration of motion in ellipses // Archives Internationales d'Histoire des Sciences. 1969. № 22. P. 51—60; Never at Rest, 387 и сноска 145.
51. Ср. примечание А. Н. Крылова в книге: Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М., 1989. С. 180—181 (примечание 94); а также примечание Д. Т. Уайтсайда в книге: Mathematical Papers of Isaak Newton. VI. P. 348—351 (note 209). Важно замечание Уайтсайда, что Ньютон легко мог взять интеграл

$$\Phi = \int_R^r \frac{RV \sin \alpha}{r^2 \sqrt{[V^2 - 2gR + 2gR^2 r^{-1} - (R^2 V^2 \sin^2 \alpha) r^{-2}]}} dr, \text{ получающийся в случае силы } f = \frac{gR}{r^2}, \text{ пос-}$$

кольку квадратура подынтегрального выражения содержится во «Втором каталоге» интегралов в Задаче 9 его трактата 1671 г. (где следует положить $z = r$, $\eta = -1$, $d = RV \sin \alpha$, $e = V^2 - 2gR$ и $g = R^2 V^2 \sin^2 \alpha$ в первом примере его «Восьмого порядка», см. Mathematical Papers of Isaac Newton. III. 1969. P. 252; русский перевод: Ньютон И. Математические работы. М.-Л., 1937. С. 132—133), но воздержался от этого в Началах.

52. $r^{n+3} = [R - (R-r)]^{n+3} = (R-x)^{n+3}$. См. Предложение XLV Начал. Эрик Эйтон, например, пишет по этому поводу: «Случай закона обратных кубов есть не более, чем математическая диковина. Странно, что Ньютон [в Предложении XLV] не рассмотрел более интересный случай центростремительной силы, изменяющейся обратно пропорционально квадрату расстояния». (Aiton E. J. The Inverse Problem of Central Forces // Annals of Science. 1964. Vol. 20. № 1. P. 81.). То, что Ньютон мог решить «обратную задачу» для случая обратных квадратов, не вызывает сомнений (см. примечание 51), в Началах он рассмотрел математически более простой случай обратных кубов.
53. Corr., III, 348—354.
54. True state of the Case and Controversy between S^r Isaak Newton and dr. Robert Hooke as to the Priority of that Noble Hypothesis of Motion of the Planets about the sun as their Center. см.: Rouse Ball. Essay. P. 151—153.
55. Corr., II, 421.
56. Corr., II, 435—440.