2

санкт-петербургский политехнический университет имени петра великого

 гуманитарный институт, факультет психолого-педагогический

«ЯБЛОКО НЬЮТОНА» И ПОДЛИННАЯ ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ ЗАКОНА ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Эргешов Мухаммет

студент 3834402/30002

Реферат

2023

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Ньютон и Гук. Имя Ньютона и его огромные заслуги и перед математикой, и перед физикой всем хорошо известны. Он родился в 1642 году, в год смерти Галилея, а умер в 1727 году. Работы Ньютона в области теории тяготения стали знамениты в континентальной Европе благодаря Вольтеру, который в последние годы жизни Ньютона посетил Англию и распропагандировал закон всемирного тяготения, произведший на него большое впечатление. Вольтер же поведал миру и о знаменитом яблоке, о котором ему рассказала племянница Ньютона Катерина Бартон. Роберт Гук — старший современник Ньютона — известен гораздо меньше. Он родился в 1635 году, а умер в 1703 году. Гук был небогатым человеком и начал свою деятельность в качестве ассистента у Бойля т. е., попросту говоря, лаборантом. Впоследствии Гук стал работать в только что образованном Королевском обществе в должности куратора. Обязанности куратора Королевского общества были весьма нелегкими. Согласно контракту, он должен был на каждом заседании Общества демонстрировать три или четыре опыта, доказывающих новые законы природы. На посту куратора Гук находился в течение сорока лет и все это время тщательнейшим образом исполнял свои обязанности. Разумеется, в контракт не входило условие, что все демонстрируемые законы должны быть изобретены им самим. Ему разрешалось читать книги, переписываться с другими учеными, интересоваться их открытиями. Требовалось только проверять, справедливы ли их утверждения, и убеждать членов Королевского общества в том, что такой-то закон надежно установлен. Для этого необходимо было этот закон экспериментально доказать, продемонстрировав соответствующий опыт. В этом и состояла служебная деятельность Гука. Гук по обязанности интересовался всеми естественнонаучными открытиями других, но и самому ему тоже приходилось делать открытия. К концу жизни он насчитывал 500 открытых им законов. Надо сказать, что эти, столь многочисленные открытия Гука составляют основу современной науки. Очень многие из них более или менее параллельно были открыты другими учеными, поэтому очень часто сейчас законы, открытые Гуком, известны, но приписываются другим людям. В итоге закон упругости (сила пропорциональна удлинению) носит имя Гука, а остальные его открытия носят другие имена. Гук, например, открыл клеточную структуру растений. Он усовершенствовал микроскоп и первым наблюдал, что растения состоят из клеток. Он разглядывал в микроскоп различные предметы и все, что видел, зарисовывал. Ясно, что, глядя в микроскоп на новые вещи, он немедленно делал новые открытия. Гук сам лично гравировал картинки, которые видел в микроскоп, и даже издал на основе этого книгу «Микрография», приведшую позднее Левенгука к его знаменитым биологическим открытиям. В те времена легко было совершать фундаментальные открытия, и все их помногу и совершали. Гюйгенс, к примеру, усовершенствовал телескоп, посмотрел на Сатурн и открыл его кольцо, а Гук обнаружил Красное пятно на Юпитере. Тогда открытия не были необычными событиями, они не регистрировались, не патентовались, как сейчас, они были чем-то совершенно повседневным. Но у Гука никогда не было достаточно времени, чтобы остановиться на каком-нибудь своем открытии и подробно его развить, так как на следующей неделе ему нужно было демонстрировать новые законы. Поэтому при всем многообразии достижений Гука его открытия выглядели несколько незавершенными, и иногда он в спешке делал утверждения, которые не мог аккуратно и строго математически обосновать. Одним из открытий, на которые Гук претендовал, было открытие волновой природы света. Гук в своих выводах основывался на изучении цветов тонких пленок. Он считал, что интерференция света в мыльных пленках доказывает его волновую природу. В связи с этим Гук впервые столкнулся с Ньютоном. Ньютон тоже занимался проблемой света. Он разложил белый свет на радужные составляющие, определил цвета солнечного спектра и заложил тем самым основы современной спектроскопии — науки в значительной степени волновой. Тем не менее Ньютон придерживался другой теории и считал, что свет состоит из движущихся частиц. Звук — это волны, потому что звук может огибать препятствия, а свет препятствий не огибает, из-за холма его не увидишь—какие же это волны? Надо сказать, правда, что, несмотря па утверждение, что свет — это частицы, Ньютон был первым, кто измерил длину световой волны. Сделал он это так. Если на стекло положить линзу и освещать сверху, то длины путей световых лучей, встречающихся в одной точке, будут различны и, в зависимости от того, целому или нецелому числу длин волн равна разность, лучи будут усиливать друг друга или гаситься. Поэтому, глядя на стекло сверху, можно увидеть кольца, состоящие из точек равной освещенности (эти кольца называются кольцами Ньютона, но открыл их Гук). Важно, что толщина воздушного клина между линзой и стеклом пропорциональна квадрату расстояния до точки касания. Благодаря этому радиусы колец оказываются пропорциональными корню квадратному из произведения длины волны на радиус кривизны линзы. Вследствие этого радиусы колец не так малы, как длина волны, и кольца можно наблюдать. Измерив эти кольца, можно найти длину волны света, что Ньютон и сделал. Но как же он вычислил длину волны, если в волновую природу света не верил? Дело в специфике ньютоновской теории света. Он считал, что световые частицы летят в пространстве не равномерно, а во время движения испытывают периодические приступы. Таким образом он измерял расстояние между положениями частицы при двух соседних приступах. Итак, между Ньютоном и Гуком возникли разногласия. Может быть, их удалось бы обойти, если бы не отягчающее обстоятельство. Ньютон жил в Кембридже, а Гук — в Лондоне, и переписку они вели в основном через секретаря Королевского общества Ольденбурга. Характер у Ольденбурга был, судя по всему, не очень хороший, и большое удовольствие ему доставляло сталкивать людей между собой. В результате и вследствие различия взглядов па природу света отношения между Ньютоном и Гуком совершенно испортились. Но через некоторое время Ольденбург умер, и Гук написал Ньютону примирительное письмо. Вот с этого-то письма Гука от 24 ноября 1679 года и начинается, в сущности, история закона всемирного тяготения. Смысл примирительного письма Гука Ньютону — предложение совместной работы. Гук признает замечательные достижения Ньютона и предлагает совместно обсуждать и экспериментально проверять всевозможные идеи и теории. Гук предлагает Ньютону, в частности, высказать свои соображения о нескольких своих гипотезах и обещает не обижаться на критику, с тем чтобы, забросив старые раздоры, совместно взяться за исследование природы. В этом же письме Гук сообщает Ньютону о последних физических и математических, новостях. Одна из новостей — это поступившая из континентальной Европы очередная теория планетных движений. Согласно этой теории, считалось, что в космосе постоянно бушуют вихри, увлекающие за собой планеты, поддерживающие их и заставляющие вследствие этого их вращаться вокруг Солнца. Другая теория — это гипотеза Гука о притяжении. В этом письме он не говорит о пой подробно, а только спрашивает, что думает Ньютон об этой гипотезе. Еще одна гипотеза Гука — это закон колебаний упругих тел. В этом же письме Гук сообщает о новых измерениях дуги меридиана (и, следовательно, радиуса Земли) французской экспедицией Пикара. Ньютон ответил очень быстро — через четыре дня. Это замечательное письмо Ньютона от 28 ноября 1679 года начинается с признания Ньютона, что он распрощался с философией и давно уже занимается другими делами. По-видимому, сказывается возраст. «Я ничего не слышал, — пишет Ньютон, — о Ваших гипотезах о движении планет, несомненно хорошо известных ученому миру... Моя страсть к философии утихла, и я думаю о ней не больше, чем торговец о чужой торговле или крестьянин об учении.» Словом «философия» в то время называли все точные науки в целом. Физика тогда называлась натуральной философией. Λ другие дела, о которых пишет Ньютон, заключались, судя по всему, в увлечении алхимией. У Ньютона была большая химическая лаборатория, и он, интенсивно поработав в возрасте 20—30 лет в области математики и физики и сделав там действительно очень много, теперь занимался в основном получением золота. Он собирал в большом количестве алхимические рецепты, сохранившиеся еще от средневековья, и намеревался изготовить золото в соответствии с содержащимися в них указаниями. Усилия, затраченные им на это, значительно превосходили то, что пошли на создание его математических и физических работ, но ни к какому полезному результату они не привели. Сам Ньютон, правда, в этом порой не был уверен. Рассказывают, что в его тетрадях встречается запись, в которой после подробного описания произведенных действий так сообщается о результате: «Вонь ужасная. Видимо я близок к цели.»

Задача о падении тел. Вернемся к письму Ньютона. Он пишет далее, что, хоть и решил в таком почтенном возрасте не соперничать с более молодыми умами, он может предложить одну задачу, которая представляется ему достойной такого тонкого экспериментатора, как Гук. Эта задача — проверка учения Коперника, как утверждает Коперник, Земля движется вокруг Солнца, а кроме того, вращается вокруг собственной оси. Ньютон предлагает проверить экспериментально второе утверждение. Действительно, согласно Галлиеву принципу инваринтности, равномерно прямолинейное движение само по себе обнаружить невозможно, а вот вращение, в принципе, все-таки можно наблюдать. Поэтому, говорит Ньютон, чтобы убедить неверующих в теорию Коперника, стоит попробовать проверить ее опытным путем. По-видимому, Ньютон первым поставил задачу об экспериментальном доказательстве вращения Земли. Более того, предлагая эту задачу Гуку, Ньютон указал способ, в принципе позволяющий это сделать. Предложение Ньютона состоит в следующем. Если Земля вращается, то предметы, свободно падающие с большой высоты, будут отклоняться от вертикали. Поэтому достаточно измерить отклонение падения тяжелых шаров от вертикального направления, чтобы обнаружить вращение Земли. В самом деле, рассуждает Ньютон в этом письмо, представим себе, что мы смотрим на Землю с Северного полюса и видим экватор и гору или, лучше, башню, с которой бросаются свободно падающие шары, покоящиеся в начальный момент относительно башни. Предположим, что Коперник прав, и Земля вращается с запада на восток. Невежда подумает, пишет далее Ньютон, что тогда, пока шар будет падать, Земля под ним повернется на восток и шар упадет западнее того места, над которым он находился первоначально. Но такое мнение, часто выдвигаемое в качестве возражения против теории Коперника, совершенно неправильно. Ошибка состоит в том, что у шара в момент броска была ненулевая начальная скорость относительно «неподвижной» системы отсчета, направленная на восток. Более того, шар находился над Землей, поэтому эта скорость была больше, чем скорость точек на поверхности Земли. Но скорость шара в горизонтальном направлении не будет меняться во время его падения, так что он пройдет в восточном направлении больший путь, чем точка поверхности, над которой он находился. Таким образом, шар должен упасть не западнее, а восточнее этой точки. Если бросать шары не на экваторе, а на нашей широте, то эффект будет несколько меньше, но тем не менее, говорит Ньютон, обнаружить его было бы возможно. Конечно, эффект этот очень мал, поэтому Ньютон советует сделать следующее. Под точкой бросания строго по отвесу надо натянуть в направлении с севера на юг тонкую проволоку и бросать возможно более тяжелые шары, подвешивая их на нити и пережигая ее, чтобы избежать нежелательных начальных толчков. Тогда, если бросить шар достаточно много раз и подсчитать, сколько раз шар, ударившись о проволоку, отлетел на восток, а сколько раз — на запад, можно будет, сравнив эти два числа, определить, наблюдается ли тонкий эффект отклонения на восток, или нет. В своем замечательном письме Гуку Ньютон затронул еще один вопрос. Он писал, что было бы очень интересно узнать, как двигался бы шар после достижения поверхности, если бы в Земле была шахта. Ньютон считает, что тогда шар бы описал спираль, и для наглядности приводит эту спираль в письме. Гук прочитал письмо Ньютона на заседании Королевского общества 4 декабря 1679 года. Это вызвало бурную дискуссию, в которой приняли участие многие ученые. Все стали оживленно обсуждать, действительно ли можно наблюдать описанное Ньютоном явление и в какую сторону должны отклоняться шары. Например, королевский астроном Флемстид выступил, как зафиксировано в протоколах Общества, с заявлением, что эффект этот давно уже известен в артиллерии. А именно, по мнению Флемстида, ядро падает обратно в жерло при угле возвышения 87°. Это, по мнению Флемстида, свидетельствует о вращении Земли, ибо иначе опасный угол был бы 90°. Иными словами, Флемстид предложил несколько видоизменить предложение Ньютона. Вместо того чтобы бросать шары вниз, Флемстид предложил стрелять пушечными ядрами вертикально вверх и смотреть, будут ли они падать обратно. Гук выступил на следующем заседании 11 декабря, сделав несколько критических замечаний по поводу рассуждений Ньютона, на что Ньютон, не переносивший ни малейшей критики, ответил 13 декабря длинным письмом, содержащим пространное обсуждение вопроса и ясно показавшим, что и это время Ньютон еще не знал, как на самом деле должна выглядеть траектория шара. Во-первых, Гук сделал следующее замечание. Необходимо учитывать, что направление вертикали — направление к центру Земли — меняется при движении шара, поэтому сила тяжести в различных точках траектории направлена по-разному. Это приводит к тому, что движущийся к востоку шар будет испытывать влияние, отклоняющее его обратно на запад. Так что, хотя шар все-таки упадет восточнее точки отвеса, результирующее отклонение будет меньше того, которое предсказывал Ньютон. Если мы, вооружившись нашими современными знаниями, аккуратно проделаем все вычисления, то увидим, что истинный эффект составляет 2/3 того отклонения, что должно было бы получиться у Ньютона. Таким образом, сдвиг к востоку за счет разности в расстояниях до центра Земли и сдвиг к западу, вызванный различием в направлении силы тяжести, — величины одного порядка, так что качественное рассуждение Ньютона вообще неверно. Ведь имей эти два эффекта — отклонение к востоку и отклонение к западу — несколько другое отношение, — и качественная картина была бы другой. Во-вторых, Гук справедливо замечает, что в северном полушарии шар будет отклоняться не только к востоку, но также и к югу. Более того, он утверждает, что в наших широтах отклонение на юг будет даже больше, чем на восток. Наконец, третье замечание Гука относится к траектории движения шара внутри Земли. Он говорит, что спираль, нарисованная Ньютоном, вызывает у него сомнения. По его мнению, внутри будет происходить приблизительно то же, что при колебании маятника на веревке, и если шар будет свободно двигаться внутри Земли не испытывая сопротивления, то его траектория будет замкнутой и напоминающей эллипс, а спираль может получиться лишь с учетом сопротивления воздуха. Но и в этом случае спираль получится совсем не такая, как у Ньютона, — не делающая один виток, а медленно закручивающаяся, с большим количеством оборотов. Действительно, если мы при помощи современных наших методов решим эту задачу, то увидим, что внутри Земли действует уже не закон всемирного тяготения, а закон Гука — сила притяжения прямо пропорциональна расстоянию до центра Земли. Поэтому внутри траектория шара будет такой же, как при упругих колебаниях, т. е. эллиптической. Покритиковав Ньютона, Гук теоретическими рассуждениями не ограничился и решил все-таки произвести экспериментальную проверку. О ее результатах он доложил Обществу 18 декабря. Он организовал опыты несколько иначе и бросал шары не на проволоку, а на вощеную доску, расположенную под слоем воды, который должен был ослаблять силу удара. На доске была нанесена сеточка из тонких линий с центром под точкой подвеса для того, чтобы можно было по следу шара определить отклонение не только на запад или восток, но и в направлении север — юг. Шары бросались в соборе с высоты около 9 м при тщательно закрытых дверях и окнах, чтобы предохранить шар от вредного воздействия сквозняков. Если как следует все подсчитать, учтя турбулентность, то станет ясно, что при такой маленькой высоте никакого эффекта наблюдаться не может (теоретическое отклонение — 0,3 мм). Но Гук был очень искусным экспериментатором. С тех пор ни у кого больше этот опыт не получался, но у Гука он «получился». Королевскому обществу Гук сообщил, что шар при трех испытаниях каждый раз отклонялся на юго-восток не менее чем на четверть дюйма. По-видимому, он не совсем владел статистическим анализом, и число испытаний было недостаточно велико. Кроме того, он, скорее всего, не проверил полученное отклонение по соответствующему уровню значимости и признал явление установленным, хотя ничего еще толком доказано не было. В начале 1680 года Гук повторил свои эксперименты и снова «успешно». Об их результатах он сообщил Ньютону в письме, посланном 6 января.

Закон обратных квадратов. Помимо рассказа об экспериментах, в этом письме Гука содержатся такие важные слова: «Я предполагаю, что притяжение обратно пропорционально квадрату расстояния до центра, соответственно предположению Кеплера о зависимости скорости от расстояния. Галлей, вернувшись с острова св. Елены, рассказал мне, что маятник качается медленнее на вершине горы, чем у подножья, и не мог понять причины. Я сказал ему, что он решил давно занимавший меня вопрос об убывании тяготения с удалением от центра... Говоря о падении внутри Земли, я не думаю что закон притяжения будет таким же до самого центра Земли, но, напротив, я считаю, что, чем ближе тело будет к центру, тем слабее будет притяжение, возможно, подобно тому, как это происходит с маятником или телом внутри вогнутой поверхности, где сила уменьшается по мере приближения к нижней точке... Притяжение на значительных расстояниях [от небесных тел] можно вычислять по указанной пропорции [обратных квадратов] как притяжение самим центром.» Этот закон обратных квадратов и есть, по-видимому, та теория тяготения Гука, мнение Ньютона о которой он спрашивает в первом письме, и его, по мнению Гука, необходимо учитывать исследуя падение тела как снаружи Земли, так и внутри. Правда, внутри, пишет Гук, закон, конечно же, будет другим, так как пройденные телом слои будут тянуть его в разные стороны. Поэтому закон движения внутри будет, по-видимому, похожим на тот, что наблюдается при упругих колебаниях. Далее Гук писал, что он, исследуя эти силовые законы, пытался определить формы орбит, по которым должны были бы двигаться тела. И у него получилось, что внутри Земли орбиты будут примерно такими же, как при колебаниях маятника, а снаружи, когда есть только один притягивающий центр, тело будет двигаться по кривой, которую он назвал эксцентрическим эллиптоидом. Скорее всего, дело обстояло так. 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 при различных законах притяжения, моделируя притяжение действием поверхности на скользящий по ней груз. Проинтегрировав уравнения движения, Гук нарисовал орбиты и увидел, что они похожи на эллипсы. Отсюда и возникло слово эллиптоид. Назвать их эллипсами ему не позволила научная честность, так как доказать эллиптичность он не смог. Сделать это Гук предложил Ньютону, сказав, что он не сомневается, что Ньютон с его превосходными методами справится с этой задачей и убедится также и в том, что первый закон Кеплера тоже следует из закона обратных квадратов. Отправив Ньютону письмо с таким предложением, Гук перешел к следующим открытиям, так как времени заниматься математическими подробностями у него не было. Ньютон же замолчал и больше никогда ничего Гуку не писал, о переписке с ним нигде не упоминал и о том, что Гук поставил перед ним задачу о тяготении, никому не говорил. Но за задачу эту Ньютон взялся, исследовал закон движения, убедился, что действительно получаются эллиптические орбиты, доказал, что, и обратно, из закона Кеплера об эллиптичности орбит следует закон обратных квадратов. Для того, чтобы все это как следует оформить и изложить в доступном виде, ому потребовалось сформулировать основные принципы, относящиеся к общим понятиям, таким как масса, сила, ускорение. Так появились знаменитые «три закона Ньютона», на которые сам Ньютон, правда, не претендовал. А вот в связи с законом всемирного тяготения Ньютон повел себя весьма неаккуратно.

Principia. По инициативе астронома Галлея (1656 —1742) Ньютон написал работу с подробным изложением своих результатов под названием «Philosophiae Naturalis Principia Mathematica» («Математические начала натуральной философии») и прислал ее Королевскому обществу 28 апреля 1686 года. В рукописи Гук не был упомянут ни разу. Галлею, который был другом обоих, это не понравилось, и он убедил Ньютона вставить ссылку на Гука. Ньютон поддался на уговоры, но сделал это в весьма оригинальной форме. Он написал, что именно закон обратных квадратов соответствует третьему закону Кеплера, «как утверждали независимо Рен, Гук и Галлей». И Рен и Галлей — люди, разумеется, не случайные. Рен — архитектор, один из основателей Королевского общества, занимавшийся вместе с Гуком восстановлением Лондона после великого пожара 1666 года, — принимал активное участие в дискуссии по вопросам движения тел. Галлей, предсказавший впоследствии возвращение носящей его имя кометы, приложил много усилий к тому, чтобы заставить Ньютона написать эту книгу, а его опыты с часами па острове св. Елены послужили для экспериментального подтверждения закона тяготения. Так что, поместив Гука между ними, Ньютон не только принизил его роль, но и лишил его поддержки друзой в начавшемся вскоре приоритетном споре. Здесь уместно сказать несколько слов о материальном положении наших героев. Гук был беден и жил на жалование, которое выплачивало ему Королевское общество. Кроме того, он подрабатывал, используя свои обширные познания в области механики при проведении огромных восстановительных работ после лондонского пожара. Этот архитектурный заработок и помог ему в конце концов создать себе некоторое благополучие. Ньютон на кафедре в Кембридже получал значительно больше, и примерно такой же доход приносила ему унаследованная им ферма, которую он сдавал в аренду и где росла знаменитая яблоня. Несмотря на то, что Ньютон был довольно обеспеченным человеком, тратиться на издание книги ему не хотелось, и он прислал "Principia" в Королевское общество, которое постановило издать их на свои деньги. Но денег у Общества не было, поэтому рукопись лежала до тех пор, пока Галлей не издал ее за свой счет. Галлей взял на себя все заботы по изданию книги, он даже сам читал корректуры, и Ньютон в переписке того времени называл ее «Ваша книга»... В этой переписке с Галлеем Ньютон, отвечая на просьбу упомянуть Гука, написал замечательную фразу, раскрывающую его мнение о различии между математиками и физиками. Себя Ньютон считал математиком, а Гука считал физиком. Вот как он описывает разницу в подходах математика и физика к естествознанию. «Математики, которые все открывают, все устанавливают и все доказывают, должны довольствоваться ролью сухих вычислителей и чернорабочих. Другой же, который ничего не может доказать, а только на все претендует и все хватает на лету, уносит всю славу как своих предшественников, так и своих последователей... И вот я должен признать теперь, что я все получил от него, а что я сам всего только подсчитал, доказал и выполнил всю работу вьючного животного по изобретениям этого великого человека». Надо сказать, что все открытия, содержащиеся в Principia, Ньютон сделал, не пользуясь анализом, хотя им к тому времени владел. Все, что требовалось, он доказал при помощи более или менее эквивалентных анализу прямых геометрических элементарных рассуждений— ему это было легче.

Доказал ли Ньютон эллиптичность орбит? Можно, конечно, возразить, что Ньютон не знал этой теоремы. Действительно, он ее не формулировал в таком виде, как это сейчас сделали бы мы. Но, по существу, он ее наверняка знал, так же, как и многие другие приложения теории возмущений, —математический анализ Ньютона в значительной мере и есть далеко развитая теория возмущений. Ньютон заметил, что законы природы выражаются изобретенными им дифференциальными уравнениями. Отдельные, и норой очень важные, дифференциальные уравнения рассматривались и даже решались и раньше, но именно Ньютону они обязаны своим превращением в самостоятельный и очень мощный математический инструмент.

Источники

Книга

# Владимир Игоревич Арнольд/ Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук.