**Всемирное тяготение.**

Идея о всемирном тяготении – это великая идея. За триста лет она очень неплохо прижилась в физике. Ух, как учёные любят такие идеи - с претензиями на вселенский охват явлений! Чем идея глобальнее, тем больше её психологическая привлекательность. Ведь глобальность идеи подсознательно ассоциируется с глобальностью мышления её сторонников. Усомниться в идее о всемирном тяготении означает - ни много, ни мало - усомниться в качестве традиционного физического мышления! Вот почему эта идея обладает мощным механизмом самосохранения, который обеспечивает иммунитет даже против вопиющих фактов, которые в эту идею не укладываются. Это - присказка, а сказка будет впереди.

Перед тем, как закон всемирного тяготения был открыт, у него была ещё предыстория. Понимаете, какое дело: наука строится только на фактах. И, поскольку никакой технической документации по сотворению физического мира не отыскалось, современная наука полагает, что этот дивный мир возник и устаканился сам собой. “До того, как что-нибудь было, - говорит она, - ничего не было. Ни тебе пространства, ни времени, ни тебе полей, ни частиц. Была только мерзость запустения и одна-одинёшенька сингулярность на этой мерзости - как бы вечная и как бы бесконечная. Была она себе, была, никого не трогала…” И вдруг случился с ней казус, который по-научному называется “первотолчок”. С непривычки бабахнула сингулярность так, что из неё потекло и посыпалось всё сразу: и время, и пространство, и поля, и частицы. По мере того, как молодая и горячая Вселенная остывала на лету, расширяясь в запространственные дали, потихоньку-полегоньку утряслись сами собою физические законы, в том числе и закон всемирного тяготения. Вот теперь оставалось только открыть его…

Тик-так, тик-так!.. Долго ли, коротко ли, но - свершилось-таки! Причём, исторически сложилось так, что Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения в том же самом труде - “Математических началах натуральной философии” - в котором, несколько выше, он сформулировал свои знаменитые три закона механики. Третий закон Ньютона гласит: “Действие равно противодействию”, т.е. если тело А действует на тело В с некоторой силой, то и тело В действует на тело А с силой, такой же по величине и противоположной по направлению. Если считать, что третий закон Ньютона работает и для случая тяготения, то просто неизбежен вывод о том, что любые два кусочка вещества притягивают друг друга. Этот вывод не противоречил известным во времена Ньютона явлениям: движению планет вокруг Солнца, движению комет, движению, в первом приближении, Луны вокруг Земли, и, наконец, падению малых тел на Землю.

Проанализировав эти явления, Ньютон нашёл математическое выражение, описывающее закон всемирного тяготения: сила взаимного притяжения любых двух малых кусочков вещества прямо пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. “Малыми” считаются такие кусочки, размеры которых много меньше расстояния между ними. Например, в масштабах Солнечной системы, Солнце и планеты можно считать такими “малыми кусочками”. Если же рассматривается падение камешка на Землю, то, строго говоря, следует мысленно разбить Землю на малые кусочки и суммировать притяжение камешка к каждому из них.

Но не всё было так стройно и последовательно, как кажется на первый взгляд. Хорошо применять третий закон Ньютона, скажем, для случая столкновения двух тел: очевидно, что они ударяют друг по другу, приходя в физический контакт. Но тяготение-то действует на расстоянии! И возникает мучительный вопрос - каким же это образом тело А действует на далёкое тело В, которое, в свою очередь, из того же далёка отвечает взаимностью?

Те, кто ломали головы над этой проблемой, обычно приходили к мысли о том, что разнесённые в пространстве тела А и В притягивают друг друга не потому, что действуют друг на друга непосредственно, а потому, что работает некоторый посреднический механизм. Вот на что обратим внимание: каков бы ни был этот посредник, допущение о его существовании означает допущение нарушения третьего закона Ньютона.

Смотрите: пусть тело А сдвинется в пространстве, так что изменится расстояние между ним и телом В.

Соответствующие изменения сил, действующих на оба тела, происходили бы мгновенно при их непосредственном взаимодействии, но при наличии посредника это изменение должно происходить с некоторым запаздыванием. В течение того промежутка времени, пока не установились новые “правильные” значения сил, могут произойти разного рода пертурбации - вплоть до того, например, что тело В может быть уничтожено. Интересная возникнет ситуация: тела В уже нет, а прежняя сила на тело А всё ещё действует.

Впрочем, эта интересная ситуация не возникнет, если запаздывания ничтожны, т.е. скорость действия тяготения очень велика. Кстати, мало кто знает: в уравнениях небесной механики скорость действия тяготения тупо принимается бесконечной - и как раз такие уравнения прекрасно работают на астрономических масштабах, например, чудненько описывают движение планет вокруг Солнца! Но это всё-таки косвенное свидетельство. А известны ли какие-нибудь экспериментальные данные о скорости действия тяготения?

Конечно, известны: этим вопросом занимался ещё Лаплас в XVII веке. Он сделал вывод о скорости действия тяготения, проанализировав известные на то время данные о движении Луны и планет. Идея заключалась вот в чём. Орбиты Луны и планет не являются круговыми: расстояния между Луной и Землёй, а также между планетами и Солнцем, непрерывно изменяются. Если соответствующие изменения сил тяготения происходили бы с запаздываниями, то орбиты эволюционировали бы. Но многовековые астрономические наблюдения свидетельствовали о том, что если даже такие эволюции орбит происходят, то их результаты ничтожны. Отсюда Лаплас получил нижнее ограничение на скорость действия тяготения: это нижнее ограничение оказалось больше скорости света в вакууме на 7 (семь) порядков. Ничего себе, правда?

И это был лишь первый шажок. Современные технические средства дают ещё более впечатляющий результат! Так, Ван Фландерн говорит об эксперименте, в котором, на некотором интервале времени, принимались последовательности импульсов от пульсаров, расположенных в различных местах небесной сферы - и все эти данные обрабатывались совместно. По сдвигам частот повторения импульсов определяли текущий вектор скорости Земли. Беря производную этого вектора по времени, получали текущий вектор ускорения Земли. Оказалось, что компонента этого вектора, обусловленная притяжением к Солнцу, направлена не к центру мгновенного видимого положения Солнца, а к центру его мгновенного истинного положения. Свет испытывает боковой снос (аберрацию по Брэдли), а тяготение - нет! По результатам этого эксперимента, нижнее ограничение на скорость действия тяготения превышает скорость света в вакууме уже на 11 порядков.

Это называется “с каждым днём - всё радостнее жить!” Вышеназванные результаты, во-первых, Лапласа, и, во-вторых, специалистов по пульсарам, никто не оспорил - да и как это оспоришь? Но тогда следует отбросить, как неподходящих, тех гипотетических посредников в гравитационном взаимодействии, скорость действия которых ограничена величиной скорости света в вакууме. Речь идёт, в первую очередь, об “искривлениях пространства-времени”: считается, что локальные возмущения этих искривлений - так называемые гравитационные волны - передвигаются как раз со скоростью света. Именно в расчёте на эту скорость гравитационных волн разрабатывались их детекторы, начиная с цилиндрических болванок Вебера. Всё тщетно! А ведь наверняка идеологи этой ловли гравитационных волн читали труды Лапласа. И тогда ситуация напоминает анекдот про пьяненького гражданина, который искал рубль не на том тёмном месте, где его обронил, а под фонарным столбом - потому что “тут светлее”.

Теория - она, конечно, нам путь освещает. Но ведь и факты, как говорится - упрямая вещь. Скорость, которая на 11 порядков больше скорости света в вакууме - это нечто трудно вообразимое. Свет, двигаясь со скоростью триста тысяч километров в секунду, пробегает расстояние от Солнца до Земли за восемь с небольшим минут. Восемь минут - это представимо. За восемь минут можно много чего сделать. Но при скорости, на 11 порядков большей, речь шла бы не о восьми минутах, а о пяти наносекундах. Что можно сделать за пять наносекунд? Как может быть устроен посредник, по которому возмущение бежит с такой скоростью, что задержка во времени практически неощутима даже при астрономических расстояниях?

Для сравнения: было время, когда в физике считалось, что свет – это упругие волны в особой светоносной среде, которую называли световым эфиром. Лучшие физики того времени пытались построить механическую модель этой светоносной среды. Все их усилия пошли прахом - слишком противоречивы оказались свойства этой среды. В длинном списке противоречий был, между прочим, и такой пункт: никакие механические конструкции не способны обеспечить такой сумасшедшей скорости упругих волн - 300000 километров в секунду. С некоторых пор считается, что такую скорость переноса возмущений могут обеспечить лишь полевые структуры. Правда, вам не объяснят, как эти структуры устроены, и каким образом они эту скорость обеспечивают. Но будьте уверены, что обеспечивают: куда этим полевым структурам деваться, если значение скорости света - это опытный факт. И вот, спрашивается: если вам не могут толком разъяснить, как работает посредник, дающий скорость переноса в 300000 км/с, то что же вам скажут о посреднике, дающем скорость переноса на 11 порядков большую?

Между тем, проблема решается легко и кардинально, если допустить, что в посреднике, обеспечивающем тяготение, никаких явлений переноса нет. И не только потому, что этот посредник производит на каждый кусочек вещества силовое воздействие, которое зависит лишь от локальных параметров посредника - в том месте, где этот кусочек вещества находится. А ещё и потому, что этот посредник, как ни странно это звучит, порождается вовсе не массивными телами: он существует независимо от массивных тел. Кусочки вещества не порождают тяготение, они лишь испытывают предписанные “здесь и сейчас” силовые воздействия: приобретают ускорение свободного падения, если есть куда падать, или деформируются, если падать некуда. Тогда тяготение действует вообще без задержки во времени - что находится в согласии с вышеназванным нижним ограничением на скорость его действия.

Тезис о том, что тяготение порождается отнюдь не массивными телами, несовместим с идеей о том, что любые два кусочка вещества притягиваются друг к другу потому, что каждый их них порождает собственное тяготение. Но что поделаешь - мы расскажем об огромном количестве опытных данных, которые вопиют о том, что вещество не имеет никакого отношения к производству тяготения. Вещество не притягивает, оно лишь подчиняется тяготению. К чему же оно тяготеет? Такой вопрос - “К чему?” - несколько некорректен. Правильнее спросить: “В каком направлении?” Отвечаем: “Вниз по местной вертикали”. Эти-то местные вертикали посредник и создаёт! Предписывая собственной энергии (массе) каждой элементарной частицы вещества быть не постоянной, а зависеть от местоположения этой частицы в пространстве. Там, где задан “склон” для собственных энергий, малое тело испытывает силовое воздействие, направленное “вниз” - т.е. туда, где собственные энергии меньше. Например, в пределах планетарной сферы тяготения эти силовые воздействия направлены к её центру. Они не зависят от количества вещества, уже свалившегося к центру и теперь образующего планету. Казалось бы, малое тело падает на планету потому, что его притягивает вещество планеты. Отнюдь: при тех же параметрах сферы тяготения, малое тело падало бы к её центру точно так же, как если бы планеты там вообще не было. Ускорение свободного падения совершенно не зависит от массы “силового центра”: оно зависит только от крутизны “склона” для собственных энергий! Кстати, малые-то тела не имеют собственного тяготения. Всех его обладателей в Солнечной системе можно пересчитать по пальцам: это Солнце, планеты, Луна, и, возможно, Титан. Что же касается других спутников планет, а также комет и астероидов - то, несмотря на интенсивные поиски признаков их собственного тяготения, такие признаки не обнаруживаются. Наоборот, обнаруживается нечто противоположное.

Мы к этому ещё вернёмся, а пока остановимся на неотложном вопросе. Вон физики уже хохочут: “Как это - кусочки вещества не притягивают? Как это - малые тела не имеют собственного тяготения? Похоже, автор не знает про опыт Кавендиша, где обнаружилось притяжение грузиков не к планетарному силовому центру, а к лабораторным болваночкам!” Знаем мы про опыт Кавендиша. Сейчас вы, весельчаки, увидите - что там обнаружилось.

Foto3.

Кавендиш использовал крутильные весы - это горизонтальное коромысло, с двумя грузиками на концах, подвешенное за свой центр на тонкой струне и тщательно сбалансированное. Коромысло может поворачиваться в горизонтальной плоскости, закручивая упругий подвес - в ту или иную сторону - поэтому существует равновесное положение коромысла. Как пишут в популярных изданиях, Кавендиш приблизил к грузикам коромысла пару болванок - с противоположных сторон - и коромысло повернулось на небольшой угол, при котором момент сил притяжения грузиков к болванкам уравновесился упругой реакцией подвеса на кручение.

Это шутка, конечно. Если всё было так просто, то отчего бы лабораторную установку, сделанную по схеме Кавендиша, не иметь в каждой общеобразовательной школе? Пусть уже ребятишки знали бы на опыте, что камешки для рогатки притягиваются не только к Земле, но и друг к другу. Что мешает ребятишкам прикоснуться к фундаментальному эксперименту? Может, Кавендиш использовал какие-то высокотехнологические секреты? Да нет, его установка (XVII век) не мудренее, чем современные коромысловые аналитические весы, которые есть, наверное, в каждой химической лаборатории. Может, требуются технические нюансы установки Кавендиша? Тоже нет проблем: сгоняйте в Англию и посетите музей, где эта установка хранится. Вот коромыслице, вот подвешены на медных стержнях свинцовые чушки: покрутишь вон тот блок, чушки переместятся, приблизятся к грузикам - и притягивать начнут. И всё оно сделано скромненько, в деревянном корпусе. Смотрите, перенимайте! Всё лучшее - детям! А, может, иметь в каждой школе деревянный ящик с немагнитными болванками на стержнях и струнках - это слишком разорительно? Ну, хорошо, пусть бы такие ящики были хотя бы на физических факультетах вузов! Пусть студенты делали бы лабораторные работы, после которых на всю жизнь знали бы точно, что две болваночки друг друга притягивают, притягивают, притягивают!

Но нет таких полезных ящиков даже в вузах. Похоже, обнаруживать притяжение двух болваночек - это не студенческого ума дело. Студенты результат Кавендиша проверяли бы, а его подтверждать надо. Такое ответственное дело требует особых навыков, и за него непозволительно браться абы кому. А в особенности - доморощенным умельцам! Если у этих талантов-самородков зудит в одном месте, пусть на здоровье пытаются повторить опыт Майкельсона-Морли - там, действительно, свет клином сошёлся. А досточтимого сэра Кавендиша пусть не трогают!

Да почему же? А потому что тронь - и сразу выяснится, что дело-то было вовсе не в гравитационном притяжении грузиков к болванкам. Есть веские основания полагать, что “секрет успеха” Кавендиша был обусловлен микровибрациями, действие которых на механические системы потрясающее - и в прямом, и в переносном смыслах. Откуда досточтимый сэр мог знать, что его крутильные весы под воздействием микровибраций ведут себя существенно иначе, чем при отсутствии оных? Чтобы понять, в чём заключается эта разница, следует иметь в виду, что высокочувствительную колебательную систему трудно успокоить: она совершает свободные колебания, у которых период длинный, да и затухают они очень медленно. Замучаешься ждать, пока они совсем затухнут. А малейший микросейсм - чихнёт экспериментатор или пукнет - и опять всё сначала. Но Кавендиш и не ждал, когда колебания затухнут. Идея заключалась в том, что среднее положение при колебаниях должно было сместиться к болванкам после того, как их передвинут из дальней позиции в ближнюю. Но, пусть пока эти болванки находятся в дальней позиции. Смотрите внимательно, что произойдёт, если, при прохождении коромыслом среднего положения, “включить” микровибрации - например, у кронштейна, к которому прикреплён подвес коромысла. Под действием микровибраций, эффективная жёсткость подвеса уменьшается: струна как бы размягчается. И произойдёт вот что: коромысло отклонится от среднего положения на существенно большую величину, чем оно отклонялось при свободных колебаниях без микровибраций. И если это увеличенное отклонение не превысит некоторую критическую величину, то будет возможен ещё один впечатляющий эффект. А именно: если микровибрации отключатся или затухнут до того, как коромысло дойдёт до максимального отклонения, то возобновятся свободные колебания с прежней амплитудой, но с соответственно смещённым средним положением! Причём, этот эффект будет обратим: новым “включением” микровибраций - в подходящий момент - можно будет вернуть колебания к их исходному среднему положению! Таким образом, имевшее место поведение крутильных весов вполне могло быть обусловлено всего лишь подходящим добавлением микровибраций к крутильным колебаниям коромысла. Причём, судя по использованной Кавендишем методике, микровибрации он добавлял весьма подходяще.

Надо, всё-таки, сказать, откуда же они брались. Это совсем просто. Кронштейн, к которому была подвешена чувствительная крутильная система, был приделан к боковой стене того же самого деревянного корпуса, к крыше которого крепилась поворотная подвеска двух болванок - по 158 килограммов каждая. Как ни смазывай поворотную подвеску свиным или гусиным жиром - в процессе изменения позиции болванок весь корпус будет скрипеть и подрагивать. И, соответственно, подёргивать кронштейн с крутильной системой.

Запомним: каждое перемещение болванок - это возбуждение микровибраций.

А теперь - самое интересное: когда эти болванки перемещать. Пусть вначале они находятся в дальней позиции. Если ожидается, что, в результате их перемещения в ближнюю позицию, коромысло довернётся к новому среднему положению, то спрашивается: когда следует делать смену позиций, чтобы доворот коромысла проявился в наиболее чистом виде? Правильно: когда коромысло проходит нынешнее среднее положение и движется в сторону ожидаемого доворота. Так и делалось. И - понеслось оно, вибрирующее коромысло, в нужную сторону! Можно возразить - далеко оно не уйдёт, ведь микровибрации довольно быстро затухнут. Это действительно так. Но Кавендиш не ограничивался единственной сменой позиции болванок! Вот цитата из его статьи: *“…в этом опыте притяжение грузов отклоняло коромысло с деления 11.5 до деления 25.8 [это средние положения], так что если бы не было предпринято никаких мер, то импульс, приобретённый при этом, перенёс бы коромысло к делению 40 и поэтому заставил бы шарики удариться о кожух. Чтобы предотвратить этот удар, после того, как коромысло приближалось к делению 15, я возвращал грузы в среднюю [дальнюю] позицию и оставлял их там до того момента, когда коромысло подходило близко к крайней точке своего колебания, и тогда снова сдвигал грузы в положительную [ближнюю] позицию”*. Здесь для нас важно не объяснение Кавендиша, почему он так делал (странное оно, это объяснение) - для нас важно то, что он делал. Смотрите, как здорово получалось: вскоре после начала движения коромысла к новому среднему положению, второй раз возбуждались микровибрации - возвратом болванок в дальнюю позицию.

Эти два “включения” микровибраций и давали результирующее новое среднее положение коромысла. При третьем перемещении болванок - вновь в ближнюю позицию - микровибрации пропадали впустую, поскольку это перемещение делалось при крайнем отклонении коромысла, т.е. при нулевой скорости его движения. В итоге этой нехитрой трёхходовой комбинации оказывалось, что болванки находятся в ближней позиции, а коромысло колеблется, довернувшись к ним - как будто и впрямь из-за гравитационного притяжения. Да только сторонники концепции притяжения лабораторных болваночек не объяснят вам, какая же нечистая сила несла коромысло аж три четверти пути к новому среднему положению - в то время, когда болванки находились в дальней позиции и, по логике эксперимента, “не притягивали”. А ведь смещение к новому среднему положению превышало амплитуду свободных колебаний в семь раз!

Остаётся добавить, что по совершенно аналогичной трёхходовой методе производился и возврат коромысла в прежнее среднее положение. Ловкость рук и никакого мошенничества!

“Но ведь Кавендиш получил результат измерений, и этот результат правдоподобен!” - скажут нам. Да, это верно. Но верно и то, что перед тем, как получить этот результат, Кавендиш долго переделывал и настраивал доставшуюся ему установку. Не потому ли, что поначалу на ней неправдоподобные результаты получались? А то, что Кавендиш знал заранее, какой результат правдоподобен - это никаких сомнений не вызывает. Об этом позаботился Ньютон, который дал умозрительную оценку средней плотности Земли: “так как обыкновенные верхние части Земли примерно вдвое плотнее воды, немного ниже, в рудниках, оказываются примерно втрое, вчетверо и даже в пять раз более тяжелыми, правдоподобно, что всё количество вещества Земли в пять или шесть раз более того, как если бы оно всё состояло из воды”. Вот он – первоисточник той самой “правдоподобности”. В дальнейшем экспериментаторы получали самые разные результаты, но сообщали, конечно, только о тех, которые получались “правдоподобные”. Мало-помалу это зашло так далеко, что стали поговаривать, будто Ньютон “с гениальной прозорливостью назвал, практически, современное значение средней плотности Земли”. Простите, а это современное значение - оно откуда взялось? Разве это результат беспристрастного измерения? Отнюдь: это очередной “правдоподобный” результат. Если кто-то в этом сомневается, пусть заглянет в статьи последователей Кавендиша, которые тоже выискивали признаки притяжения лабораторных болваночек. Многие из этих статей труднодоступны; но тех, до которых нам удалось добраться – особенно современных – объединяет одна характерная черта: по приведённым в них материалам невозможно проследить происхождение конечных цифр. Так что, когда нас уверяют, что исключительно важный для науки результат Кавендиша неоднократно проверялся и перепроверялся его последователями – у нас просто дух захватывает: славная компания подобралась!

Между прочим: то, что результат Кавендиша исключительно важен, сообразили лишь недавно. И теперь на каждом углу кричат, что Кавендиш был первым, кто измерил гравитационную постоянную – тот самый коэффициент пропорциональности, который входит в формулу закона всемирного тяготения. Но это, опять же, шутка. Кавендиш и слыхом не слыхивал о гравитационной постоянной, а свой опыт он называл определением средней плотности Земли (или её массы) – через отношение сил притяжения грузика к Земле и к болванке с известной массой. Причём, в те времена, без гравитационной постоянной успешно обходились даже специалисты по небесной механике: достаточно было знать отношения гравитационных сил у небесных тел. Смотрите: по закону всемирного тяготения, ускорение свободного падения малого пробного тела пропорционально произведению гравитационной постоянной на массу притягивающего тела. Для расчёта космических движений важно знать лишь эти произведения, и всё. Если, допустим, значение гравитационной постоянной было бы принято в два раза большим, а массы притягивающих тел были бы приняты в два раза меньшими – это ничуть не отразилось бы на движениях космических тел. Вот и получалось: произведение гравитационной постоянной на массу Земли знали хорошо, а чему равны эти сомножители по отдельности – было, в общем-то, не принципиально. Но ситуация резко изменилась, когда гравитационную постоянную причислили к фундаментальным физическим константам. Потому что наворотили кучу космологических и астрофизических теорий, где гравитационная постоянная играла ключевую роль. Вот тут-то значение гравитационной постоянной оказалось очень даже востребованным. На его основе можно было делать выбор между конкурирующими теориями, которые расходились по разным животрепещущим вопросам. Например: сколько длился первый этап Большого Взрыва - три микросекунды или четыре? Или: Вселенная, в её нынешнем состоянии - она уже “остывшая” или ещё “горячая”? Или: какова должна быть масса новорожденной звезды, чтобы она превратилась в чёрную дыру не раньше чем через десять миллиардов лет? Уже сама по себе возможность первичной разбраковки космологических и астрофизических теорий придавала этим теориям хоть какое-тонаукоподобие! Для начала и это было неплохо. Но далее разбраковка набрала такие обороты, что в итоге привела к полному ужасу: оказалось, что будь гравитационная постоянная хоть капельку больше или меньше - и Вселенная просто не смогла бы существовать! Подумать только, как же мы должны быть благодарны судьбе - за то, что у нас такие башковитые теоретики! А кто подарил теоретикам такую замечательную возможность - показать свою башковитость? Кто сделал первый опыт, из которого оказалось возможно выудить такое нужное значение гравитационной постоянной? А вон кто: скромняга Генри!

Да, давно мы подозревали, что с опытом Кавендиша – что-то не так. Ибо трудно поверить в то, что в лабораторных условиях удаётся обнаружить собственное тяготение у чушек в полтораста килограммов - а в полевых условиях, при проведении гравиметрических измерений, не удаётся обнаружить собственного тяготения у триллионов тонн поверхностного вещества Земли. Даже сто раз обнаруженное притяжение лабораторных болваночек померкло бы перед теми неизменно оглушительными результатами, которые даёт гравиметрия.

Вот как она это делает. Вблизи поверхности Земли сила тяготения, действующая на маленькое пробное тело, равна, как полагают, сумме сил его притяжения ко всем маленьким кусочкам, на которые мысленно разбивают Землю. Если бы Земля была однородным шаром, то результат суммирования зависел бы лишь от расстояния до центра этого шара. Но в том-то и дело, что Земля не является однородным шаром – а это и предоставляет нам возможность убедиться в том, что её поверхностное вещество не обладает притягивающим действием. И прежде всего обратим внимание на самую большую, прямо-таки глобальную, неоднородность: Земля является не шаром, а эллипсоидом, будучи сплюснута с полюсов – так что она имеет так называемую “экваториальную выпуклость”. Экваториальный радиус Земли примерно на 21 км больше полярного, и, из-за одной только этой причины, сила тяжести на экваторе должна быть несколько меньше, чем на полюсе. Если прикинуть увеличение экваториального радиуса при условии, что результирующее уменьшение силы тяжести обеспечивается только центробежными силами (из-за собственного вращения Земли), то получается почти 11 км. Причём, если шар превращается в сплюснутый эллипсоид при сохранении своего объёма, то увеличение экваториального радиуса на 11 км вызовет уменьшение полярного радиуса на те же 11 км. Результирующая разность составит 22 км - т.е., величину, близкую к фактической. Это радует; но обратим внимание, что мы не принимали в расчёт притяжение экваториальной выпуклости, которое оказывает дополнительное противодействие центробежным силам. Чем больше средняя плотность вещества в экваториальной выпуклости, тем сильнее должно быть это противодействие, и тем меньше должно быть результирующе равновесное увеличение экваториального радиуса. Расчёты показывают, что, при средней плотности в четыре тонны на кубометр, увеличение экваториального радиуса составило бы не 11 км, а всего-то 7 км. Если, конечно, экваториальная выпуклость притягивала бы. Но если это увеличение составляет лишь немногим меньше 11 км, то… не нужно иметь семь пядей во лбу, чтобы сообразить: экваториальная выпуклость не притягивает! Против фактов не попрёшь! Впрочем, находятся оригиналы, которые, несмотря ни на что, прут против. Этих весёлых ребят называют баллистиками - они учитывают влияние экваториальной выпуклости на движение искусственных спутников Земли!

Дальше – больше. Кроме глобальной неоднородности Земли, связанной с экваториальной выпуклостью, есть ведь у неё и более мелкие неоднородности - в распределении плотности вещества в поверхностном слое. Там есть залежи плотных, или, наоборот, рыхлых пород. Есть огромные горные массивы, где плотность пород составляет около трёх тонн на кубометр. Есть океаны, где плотность воды составляет одну тонну на кубометр на всей толще – даже на глубине в 11 километров. А есть лежащие ниже уровня моря долины, в объёме которых плотность вещества равна плотности воздуха. По идее о всемирном тяготении, все эти неоднородности поверхностной плотности должны сказываться на показаниях гравиметрических инструментов. Простейшим из них является отвес: он должен уклоняться в ту сторону, с которой сильнее притяжение поверхностных масс. Так, рядом с мощным горным массивом, отвес должен уклоняться к этому массиву, а на берегу океана он должен уклоняться от океана. Эти уклонения должны быть вполне заметны, например, при сравнении географической широты пункта, полученной двумя способами: астрономическим (с привязкой к отвесной линии) и геодезическим (без такой привязки). Обратите внимание: лишь по теории отвес должен уклоняться, а эти уклонения должны быть заметны… Но на практике оказывается, что никто никому не должен: вышеназванные уклонения отвеса – ни вблизи горных массивов, ни вблизи океанов, ни там и сям сразу – не обнаруживаются. Самый большой шок по этому поводу испытали англичане, которые в середине XIX века проводили изыскания уклонений отвеса южнее Гималаев, а получили шиш. Вообще-то, шиши получались везде, но южно-гималайский случай примечателен тем, что уклонения там ожидались рекордные - ведь севернее находился самый мощный горный массив, а южнее был Индийский океан - так что и шиш получился рекордный.

На эти странности с отвесами можно было бы махнуть рукой. Но у запасливых гравиметристов есть ещё приборы похитрее: гравиметры, которыми измеряют силу тяжести. В результаты этих измерений, конечно, вносят расчётные поправки на поверхностные неоднородности. Рассуждают так: если бы этих неоднородностей не было, то на уровне моря гравитационная сила была бы везде одинакова… Но, раз уж неоднородности есть, то, вооружённые законом всемирного тяготения, будем рассчитывать их вклад и вычитать его из результатов измерений… Тогда, при правильных расчётах-учётах, будем получать ту самую, везде одинаковую гравитационную силу на уровне моря!.. Представляете, сколько было бы радости, если всё получалось бы именно так?! Увы, на практике всё совершенно иначе. Если «продраться» сквозь терминологические и методологические дебри, которые специально нагромоздили для запутывания непосвящённых, то фактическая картина оказывается вот какой. После внесения, в результат измерения, поправки на поверхностные неоднородности, итоговый результат отличается от той самой величины, везде одинаковой на уровне моря, как раз на значение внесённой поправки. То есть, если поправки на поверхностные неоднородности не вносить, то чистые измерения как раз и дают ту самую гравитационную силу, везде одинаковую на уровне моря. Проще всего это объяснить так: поверхностные неоднородности, хотя и существуют, не оказывают никакого воздействия на гравиметрические инструменты!

“Но это нас не устраивает, - прикидывали теоретики, - ведь любые два кусочка вещества… притягиваются друг к другу… с силой…” - ну, и так далее. Задача поначалу казалась неподъёмной: как такое может быть, что неоднородности на приборы действуют, а приборы их не замечают? Долго ли, коротко ли, но эту задачу решили, предложив остроумную гипотезу об изостазии. На общепонятном языке термин “изостазия” означает, что под поверхностными неоднородностями распределения масс находятся неоднородности противоположного знака, которые в точности компенсируют действие первых. Причём - повсеместно. Так, под горным массивом просто обязаны находиться залежи рыхлых пород. Ошибки недопустимы. Тысяча тонн меньше - недобор! Тысяча тонн больше - перебор!.. Ну, а под океанами обязаны залегать породы очень плотные. Океаны – они, похоже, только над плотными породами разливаться и способны. И, опять же, разливаются они не абы как: чем больше глубина океана, тем мощнее компенсирующие массы. Представляете, какая концентрация масс обязана быть под Марианской впадиной, чтобы обеспечивать изостазию в её районе? Жуть!

Вы, наверное, сейчас качаете головой и думаете, что мы напраслину несём, что изостазия - это какая-то шутка. Ничуть: учёные мужи говорят об изостазии с очень серьёзным выраженьем на лице. Не сорваться на хохот им помогает учение о том, что изостазия формируется за огромные промежутки времени, сравнимые с геологическими эпохами. Считается, что на таких промежутках времени даже твёрдые породы обладают некоторой текучестью. Вот, якобы, за миллиарды лет и выдавливают они друг друга - плотные рыхлых, а рыхлые плотных - формируя изостазию. И ведь не придерёшься - кто же располагает геоморфологическими и гравиметрическими данными за миллиарды лет? Впрочем, бывают же случаи, когда весьма сильные перераспределения поверхностных масс происходят за сроки, ничтожные по геологическим меркам.

Например, это случается при катастрофических землетрясениях, когда за несколько минут ландшафт изменяется до неузнаваемости. Или при извержении подводного вулкана, когда за несколько суток наращивается подводная гора или даже новый остров. Или при разработке месторождений полезных ископаемых, когда за несколько лет из карьера выгребают и увозят миллионы тонн породы. Уж тут-то изостазия установиться не успеет, и гравиметрические инструменты, кажется, должны реагировать на эти изменения? Но - ничуть не бывало! Правда, об этом помалкивают. Кому нужны нездоровые научные сенсации? Подавай сенсации здоровые - вроде той, что астрономы пронаблюдали, как “чёрная дыра пожирает звезду”, а в качестве доказательства представили видеоклип, состряпанный средствами компьютерной анимации. Или вроде того, как сейчас лихо составляются гравиметрические карты планет и даже астероидов.

Очень это полезное дело – сплавить гравиметрические изыскания подальше от Земли. А то на Земле с ними так нахлебались, что и вспоминать стыдно. Была ведь мощная кампания по применению гравиметрических приборов - вариометров - для разведки полезных ископаемых. В некоторых случаях вариометры, действительно, указывали направление, в котором находились искомые залежи. Но эти случаи, в полном согласии с теорией вероятностей, происходили из-за того, что если прибор указывает направление совершенно случайно, то рано или поздно он укажет его правильно. Поэтому разработчики месторождений, конечно, принимали к сведению гравиметрические разведданные, а проходку-то вели по данным сейсмических и электромагнитных методов. Но, несмотря ни на что, идея оказалась невероятно живуча: до сих пор разные организации предлагают простакам услуги по гравиметрической разведке. Простаков хватает: мало кто знает, зачем понадобилась гипотеза об изостазии.

<http://pravda.tvob.ru/izobreteniya/480-sushhestvuet-li-vsemirnoe-tyagotenie>

## Закон всемирного тяготения. Движение тел под действием силы тяжести

По второму закону Ньютона причиной изменения движения, т. е. причиной ускорения тел, является сила. В механике рассматриваются силы различной физической природы. Многие механические явления и процессы определяются действием сил тяготения.

Закон всемирного тяготения был открыт И. Ньютоном в 1682 году. Еще в 1665 году 23-летний Ньютон высказал предположение, что силы, удерживающие Луну на ее орбите, той же природы, что и силы, заставляющие яблоко падать на Землю. По его гипотезе между всеми телами Вселенной действуют силы притяжения (гравитационные силы), направленные по линии, соединяющей центры масс. У тела в виде однородного шара центр масс совпадает с центром шара.

|  |
| --- |
|  |
| Foto10. http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761103-1.gif |

В последующие годы Ньютон пытался найти физическое объяснение законам движения планет, открытых астрономом И.Кеплером в начале XVII века, и дать количественное выражение для гравитационных сил. Зная, как движутся планеты, Ньютон хотел определить, какие силы на них действуют. Такой путь носит название обратной задачи механики. Если основной задачей механики является определение координат тела известной массы и его скорости в любой момент времени по известным силам, действующим на тело, и заданным начальным условиям (прямая задача механики), то при решении обратной задачи необходимо определить действующие на тело силы, если известно, как оно движется. Решение этой задачи и привело Ньютона к открытию закона всемирного тяготения.

Все тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

|  |  |
| --- | --- |
|

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761103-2.gif |

 |

Коэффициент пропорциональности G одинаков для всех тел в природе. Его называют гравитационной постоянной

|  |
| --- |
| G = 6,67·10–11 Н·м2/кг2 (СИ).  |

Многие явления в природе объясняются действием сил всемирного тяготения. Движение планет в Солнечной системе, искусственных спутников Земли, траектории полета баллистических ракет, движение тел вблизи поверхности Земли – все они находят объяснение на основе закона всемирного тяготения и законов динамики.

Одним из проявлений силы всемирного тяготения является сила тяжести. Так принято называть силу притяжения тел к Земле вблизи ее поверхности. Если M – масса Земли, RЗ – ее радиус, m – масса данного тела, то сила тяжести равна

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761133-3.gif |

где g – ускорение свободного падения у поверхности Земли:

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761143-4.gif |

Сила тяжести направлена к центру Земли. В отсутствие других сил тело свободно падает на Землю с ускорением свободного падения. Среднее значение ускорения свободного падения для различных точек поверхности Земли равно 9,81 м/с2. Зная ускорение свободного падения и радиус Земли (RЗ = 6,38·106 м), можно вычислить массу Земли М:

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761163-5.gif |

При удалении от поверхности Земли сила земного тяготения и ускорение свободного падения изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния r до центра Земли. Рис. 1.10.2 иллюстрирует изменение силы тяготения, действующей на космонавта в космическом корабле при его удалении от Земли. Сила, с которой космонавт притягивается к Земле вблизи ее поверхности, принята равной 700 Н.

|  |
| --- |
|  |
| Foto11. |

Примером системы двух взаимодействующих тел может служить система Земля–Луна. Луна находится от Земли на расстоянии rЛ = 3,84·106 м. Это расстояние приблизительно в 60 раз превышает радиус Земли RЗ. Следовательно, ускорение свободного падения aЛ, обусловленное земным притяжением, на орбите Луны составляет

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761193-6.gif |

С таким ускорением, направленным к центру Земли, Луна движется по орбите. Следовательно, это ускорение является центростремительным ускорением. Его можно рассчитать по кинематической формуле для центростремительного ускорения:

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761203-7.gif |

где T = 27,3 сут – период обращения Луны вокруг Земли. Совпадение результатов расчетов, выполненных разными способами, подтверждает предположение Ньютона о единой природе силы, удерживающей Луну на орбите, и силы тяжести.

Собственное гравитационное поле Луны определяет ускорение свободного падения gЛ на ее поверхности. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а ее радиус приблизительно в 3,7 раза меньше радиуса Земли. Поэтому ускорение gЛ определится выражением:

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761243-8.gif |

В условиях такой слабой гравитации оказались космонавты, высадившиеся на Луне. Человек в таких условиях может совершать гигантские прыжки. Например, если человек в земных условиях подпрыгивает на высоту 1 м, то на Луне он мог бы подпрыгнуть на высоту более 6 м.

Рассмотрим теперь вопрос об искусственных спутниках Земли. Искусственные спутники движутся за пределами земной атмосферы, и на них действуют только силы тяготения со стороны Земли. В зависимости от начальной скорости траектория космического тела может быть различной. Мы рассмотрим здесь только случай движения искусственного спутника по круговой околоземной орбите. Такие спутники летают на высотах порядка 200–300 км, и можно приближенно принять расстояние до центра Земли равным ее радиусу RЗ. Тогда центростремительное ускорение спутника, сообщаемое ему силами тяготения, приблизительно равно ускорению свободного падения g. Обозначим скорость спутника на околоземной орбите через υ1. Эту скорость называют первой космической скоростью. Используя кинематическую формулу для центростремительного ускорения, получим:

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761293-9.gif |

Двигаясь с такой скоростью, спутник облетал бы Землю за время 

На самом деле период обращения спутника по круговой орбите вблизи поверхности Земли несколько превышает указанное значение из-за отличия между радиусом реальной орбиты и радиусом Земли.

Движение спутника можно рассматривать как свободное падение, подобное движению снарядов или баллистических ракет. Различие заключается только в том, что скорость спутника настолько велика, что радиус кривизны его траектории равен радиусу Земли.

Для спутников, движущихся по круговым траекториям на значительном удалении от Земли, земное притяжение ослабевает обратно пропорционально квадрату радиуса r траектории. Скорость спутника υ находится из условия

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761313-11.gif |

Таким образом, на высоких орбитах скорость движения спутников меньше, чем на околоземной орбите.

Период T обращения такого спутника равен

|  |
| --- |
| http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/javagifs/63229980761323-12.gif |

Здесь T1 – период обращения спутника на околоземной орбите. Период обращения спутника растет с увеличением радиуса орбиты. Нетрудно подсчитать, что при радиусе r орбиты, равном приблизительно 6,6 RЗ, период обращения спутника окажется равным 24 часам. Спутник с таким периодом обращения, запущенный в плоскости экватора, будет неподвижно висеть над некоторой точкой земной поверхности. Такие спутники используются в системах космической радиосвязи. Орбита с радиусом r = 6,6 RЗ называется геостационарной.

|  |
| --- |
| Foto12. |
|  |

<http://www.physics.ru/courses/op25part1/content/chapter1/section/paragraph10/theory.html>

ПОСТОЯННА ЛИ ГРАВИТАЦИОННАЯ ПОСТОЯННАЯ?

В науке есть законы, на которых базируются наши представления о физической картине мира. Закон всемирного тяготения Исаака Ньютона является одним из них. Согласно этому закону, сила гравитационного взаимодействия (Fгр.) между двумя телами прямо пропорциональна произведению их масс (Mm) и обратно пропорциональна квадрату расстояния (R) между ними.

Поражает простота этого фундаментального закона, но, как справедливо говорят, все гениальное просто. На его основе с большой точностью рассчитывается движение тел в Солнечной системе, в двойных звездах и галактиках, траектории искусственных космических аппаратов, определяются массы небесных тел, периоды их обращения и т.д.

Коэффициент пропорциональности (G) в уравнении (1) назван гравитационной постоянной. Величина этой постоянной, полученная И. Ньютоном расчетным путем, составила 7,35Ч10-11 м3Чкг-1Чс-2 и считалась весьма приближенной, поскольку не была подтверждена опытными данными.

Впервые экспериментально определил величину гравитационной постоянной английский ученый Генри Кавендиш в 1797 г., то есть через 70 лет после смерти Ньютона. Следует сказать, что лорд Генри Кавендиш был выдающимся ученым-экспериментатором (рис. 1.). Он первым получил в чистом виде водород и углекислый газ, определил состав воздуха, удельную теплоемкость и плотность некоторых газов. Блистательно поставленным экспериментом он предвосхитил закон Кулона о взаимодействии точечных зарядов. Именем Кавендиша названа в 1871 г. знаменитая физическая лаборатория Кембриджского университета.

Не все знают, что эксперимент по определению величины гравитационной постоянной был выполнен Генри Кавендишем на установке, сконструированной английским физиком Джоном Митчеллом [1]. Однако он рано умер, и установка перешла к Кавендишу, который ее существенно усовершенствовал. Для определения величины G, согласно уравнению (1), необходимо измерить силу притяжения между двумя телами с известной массой, расположенными на небольшом расстоянии друг от друга. Точно измерить эту силу сложно, поскольку она очень мала. Однако Кавендиш придумал удачный способ ее измерения с помощью крутильных весов. Откалибровав кварцевую нить, он подвесил к ней легкий металлический стержень, на концах которого закрепил два небольших свинцовых шара (СВ) массой по 0,73 кг (рис. 2). Вблизи них Кавендиш поместил два больших свинцовых шара (R) массой по 158 кг. Под влиянием гравитационного взаимодействия малых и больших шаров стержень поворачивается и закручивает кварцевую нить. Чтобы исключить влияние движения воздуха на крутильные весы, Кавендиш поместил их в закрытую со всех сторон камеру. Наблюдения за отклонением стержня он вел с помощью зрительных труб (L), вставленных в стенки камеры.

Измерив угол поворота стержня и зная упругие свойства кварцевой нити, Кавендиш определил силу гравитационного взаимодействия между шарами и, подставив полученное значение в уравнение (1), вычислил величину гравитационной постоянной G. Она получилась равной 6,67\*1,е-11 м3/кг\*с\*с.

Опытное определение величины G привело к целому ряду замечательных научных достижений (вычисление массы Солнца, плотности и массы Земли, а также других планет, открытие планеты Нептун и др.).

После опыта Г. Кавендиша экспериментальное определение величины гравитационной постоянной проводилось неоднократно на установках разной конструкции. Значение G в большинстве случаев получалось близким к величине, полученной Кавендишем. В 1995 г. на конференции Американского физического общества (г. Вашингтон) были доложены результаты многолетних экспериментальных исследований по определению величины G, выполненных независимо тремя группами ученых [2]. Полученные значения гравитационной постоянной несколько различались, но в небольших пределах ( 6,6659-6,7154\*1,е-11 м3/кг\*с\*с.).

Гравитационную постоянную относят к универсальным физическим константам, наряду со скоростью света в вакууме (c), постоянной Планка (h), постоянной Больцмана (KB) и другими. Величина G используется в законе тяготения А. Эйнштейна, а также в других уравнениях теоретической физики [3, 4]. В 1906 г. выдающийся немецкий физик Макс Планк предложил естественную систему единиц, составленную им на основе таких фундаментальных физических постоянных, как G, c, h и других. По мнению М. Планка, подобная система единиц применима не только в земных условиях, но и в любых других местах и временах Вселенной [5]. Единицы длины (l pl), массы (m pl), времени (t pl), плотности ( r pl) и температуры (T pl) определяются по предложенным М. Планком соотношениям фундаментальных констант и, соответственно, равны:

Необходимо отметить очень большое значение единиц плотности и температуры в этой системе по сравнению с чрезвычайно малым значением единиц длины и времени. Подобная несоразмерность получаемых физических единиц в системе М. Планка может быть следствием того, что некоторые из констант, взятых за основу ее построения, не являются универсальными, то есть сфера их применения ограничена. Это относится, прежде всего, к величине гравитационной постоянной. Так, имеются сведения о значительном увеличении G в микромире [6]. Существует также мнение, что значение этого коэффициента должно изменяться во времени [7].

Для ответа на вопрос, сохраняется или изменяется величина G в микромире, обратимся к принципу эквивалентности, который выражает фундаментальный закон природы, подтвержденный экспериментально с очень высокой точностью [8]. Данный принцип применим для всех материальных систем, и являлся основополагающим, в частности, при разработке А.Эйнштейном общей теории относительности [3, 9].

Из принципа эквивалентности следует, что силы тяготения тождественны силам инерции:

Если это соотношение применить для любой из планет Солнечной системы, получим общепринятое значение гравитационной постоянной:

где Vi и Ri - соответственно скорость обращения и расстояние планеты до Солнца; Mo - масса Солнца.

Если же в соотношение (2) подставить значение средней скорости обращения электрона на невозмущенной орбите атома водорода (Ve), величину боровского радиуса (Re) и массу покоя протона (Mp), то:

Следовательно, применив принцип эквивалентности для атомных систем, мы получаем другую величину гравитационной постоянной, которая в 1040 раз превышает ее общепринятое значение. Это радикальное увеличение величины G свидетельствует о существенной роли гравитационных сил в ультрамалых пространствах. Отсюда напрашивается вывод о том, что гравитационное взаимодействие обладает не только дальнодействием, но и близкодействием, то есть является универсальным типом физических взаимодействий.

Попытаемся обосновать полученное значение гравитационной постоянной на следующих примерах.

1. Плотность сферы радиуса ri, обладающей массой mi, определяется по известному выражению:

Однако для сферы, радиус которой ограничен телом, обращающимся вокруг центра ее массы со скоростью Vi, среднюю плотность можно определить по выражению:

Так, плотность атома водорода (rH), рассчитанная по выражению (3), составляет:

Расчет по формуле (4), при подстановке полученной нами величины G, дает аналогичное значение плотности атома водорода:

2. Известно, что гиромагнитное отношение (ge), характеризующее соотношение магнитного (Pe) и механического (Le) орбитальных моментов электрона в атоме водорода, равно [8]:

Аналогичное значение гиромагнитного отношения электрона в атоме водорода получается, если использовать полученную нами величину гравитационной постоянной для микрочастиц:

3. Система естественных физических единиц М. Планка при использовании полученной величины G приобретает непротиворечивую и вполне приемлемую для атомных частиц соразмерность:

Необходимо отметить, что в последнее время интенсивно проводятся экспериментальные исследования гравитационного взаимодействия на субмиллиметровых расстояниях [10, 11. 12]. Однако получаемые в этих экспериментах значения гравитационных сил не соответствуют закону Ньютона. Объясняют эти отклонения воздействием дополнительных сил, которые компенсируются введением различных поправок в закон Ньютона (поправки Юкавы, Рэнделла и др.). Если подобные отклонения от ньютоновского закона гравитации объяснить не влиянием дополнительных сил, а изменением коэффициента пропорциональности G, то, используя последние экспериментальные данные [12], получим, что на расстоянии 10-7 м величина G увеличивается в 1014 раз по сравнению с общепринятым значением. Учитывая эти данные, автором был построен график, на котором отражены опытные и расчетные значения коэффициента G в зависимости от расстояния между взаимодействующими объектами (рис. 3).

Из представленного графика следует, что в микромире значение коэффициента G неуклонно повышается с уменьшением расстояния между взаимодействующими частицами. В макромире величина этого коэффициента является относительно постоянной.

Таким образом, ответ на вопрос, поставленный в названии данной статьи, напрашивается однозначный: коэффициент пропорциональности в законе тяготения Ньютона не является величиной постоянной. Это свидетельствует о разном характере проявления гравитационных сил в объектах макро- и микромира.

**Гравитационный радиус**

Чем же отличается теория тяготения Эйнштейна от теории Ньютона? Начнем с простейшего случая. Предположим, что мы находимся на поверхности сферической невращающейся планеты и измеряем силу притяжения этой планетой какого-либо тела с помощью пружинных весов. Мы знаем, что согласно закону Ньютона эта сила пропорциональна произведению массы планеты на массу тела и обратно пропорциональна квадрату радиуса планеты. Радиус планеты: можно определить, например, измеряя длину ее экватора и деля на 2π.

А что говорит о силе притяжения теория Эйнштейна? Согласно ей сила будет чуточку больше, чем вычисленная по формуле Ньютона. Мы потом уточним, что значит это “чуточку больше”.

Представим себе теперь, что мы можем постепенно уменьшать радиус планеты, сжимая ее и сохраняя при этом ее полную массу. Сила тяготения будет нарастать (ведь радиус уменьшается). По Ньютону, при сжатии вдвое сила возрастает вчетверо. По Эйнштейну, возрастание силы опять же будет происходить чуточку быстрее. Чем меньше радиус планеты, тем больше это отличие.

Если мы сожмем планету настолько, что поле тяготения станет сверхсильным, то различие между величиной силы, рассчитываемой по теории Ньютона, и истинным ее значением, даваемым теорией Эйнштейна, нарастает чрезвычайно. По Ньютону, сила тяготения стремится к бесконечности, когда мы сжимаем тело в точку (радиус близок к нулю). По Эйнштейну, вывод совсем другой: сила стремится к бесконечности, когда радиус тела становится равным так называемому гравитационному радиусу.

Этот гравитационный радиус определяется массой небесного тела. Он тем меньше, чем меньше масса. Но даже для гигантских масс он очень мал. Так, для Земли он равен всего одному сантиметру! Даже для Солнца гравитационный радиус равен только 3 километрам. Размеры небесных тел обычно много больше их гравитационных радиусов. Например, средний радиус Земли составляет 6400 километров, радиус Солнца 700 тысяч километров. Если же истинные радиусы тел много больше их гравитационных, то отличие сил, рассчитанных по теории Эйнштейна и теории Ньютона, крайне мало. Так, на поверхности Земли это отличие составляет одну миллиардную часть от величины самой силы.

Только когда радиус тела при его сжатии приближается к гравитационному радиусу, в столь сильном поле тяготения различия нарастают заметно, и, как уже гово-рилось, при радиусе тела, равном гравитационному, истинное значение силы поля тяготения становится бесконечным.

Прежде чем обсуждать, к каким следствиям это ведет, познакомимся с некоторыми другими выводами теории Эйнштейна.

Суть ее заключается в том, что она неразрывно связала геометрические свойства пространства и течение времени с силами гравитации. Эти связи сложны и многообразны. Отметим пока лишь только два важных обстоятельства.

Согласно теории Эйнштейна время в сильном поле тяготения течет медленней, чем время, измеряемое вдали от тяготеющих масс (где гравитация слаба). О том, что время может течь по-разному, современный читатель, конечно, слышал. И все же к этому факту трудно привыкнуть. Как может время течь по-разному? Ведь согласно нашим интуитивным представлениям время — это длительность, то общее, что присуще всем процессам. Оно подобно реке, текущей неизменно.

Отдельные процессы могут течь и быстрее и медленнее, мы можем на них влиять, помещая в разные условия. Например, можно нагреванием ускорить течение химической реакции или замораживанием замедлить жизнедеятельность организма, но движение электронов в атомах при этом будет протекать в прежнем темпе. Все процессы, как нам представляется, погружены в реку абсолютного времени, на течение которой, казалось бы, ничто влиять не может. Можно, по нашим представлениям, убрать из этой реки вообще все процессы, и все равно время будет течь как пустая длительность.

Так считалось в науке и во времена Аристотеля, и во времена И. Ньютона, и позже — вплоть до А. Эйнштейна. Вот что пишет Аристотель в своей книге “Физика”: “Время, протекающее в двух подобных и одновременных двиижениях, одно и то же. Если бы оба промежутка времени не протекали одновременно, они все-таки были бы одинаковы... Следовательно, движения могут быть разные и независимые друг от друга. И в том и в другом случае время абсолютно одно и то же”.

Еще выразительнее писал И. Ньютон, считая, что говорит об очевидном: “Абсолютное, истинное, математическое время, взятое само по себе, без отношения к какому-нибудь телу, протекает единообразно, соответственно своей собственной природе”

|  |
| --- |
| **Новые измерения гравитационной постоянной еще сильнее запутывают ситуацию** |

|  |
| --- |
| **Foto 18**Эксперименты по измерению гравитационной постоянной G, проведенные в последние годы несколькими группами, демонстрируют поразительное несовпадение друг с другом. Опубликованное на днях новое измерение, выполненное в Международном бюро мер и весов, отличается от всех них и только усугубляет проблему. Гравитационная постоянная остается на редкость неподатливой для точного измерения величиной.**Измерения гравитационной постоянной**Гравитационная постоянная G, она же постоянная Ньютона, — одна из самых важных фундаментальных констант природы. Это та константа, которая входит в закон всемирного тяготения Ньютона; она не зависит ни от свойств притягивающихся тел, ни от окружающих условий, а характеризует интенсивность самой силы гравитации. Естественно, что такая фундаментальная характеристика нашего мира важна для физики, и она должна быть аккуратно измерена.Однако ситуация с измерением G до сих пор остается очень необычной. В отличие от многих других фундаментальных констант, гравитационная постоянная с большим трудом поддается измерению. Дело в том, что аккуратный результат можно получить только в лабораторных экспериментах, через измерение силы притяжения двух тел известной массы. Например, в классическом опыте Генри Кавендиша (рис. 2) на тонкой нити подвешивается гантелька из двух тяжелых шаров, и когда сбоку к этим шарам пододвигают другое массивное тело, то сила гравитации стремится повернуть эту гантельку на некоторый угол, пока вращательный момент сил слегка закрученной нити не скомпенсирует гравитацию. Измеряя угол поворота гантельки и зная упругие свойства нити, можно вычислить силу гравитации, а значит, и гравитационную постоянную.Foto 15Классический эксперимент Кавендиша. Измеряя угол поворота гантельки и зная массы тел, расстояние между ними и упругие свойства нити, можно вычислить гравитационную постоянную. Изображение с сайта [en.wikipedia.org](https://en.wikipedia.org/wiki/File%3ACavendish_Torsion_Balance_Diagram.svg)Это устройство (оно называется «крутильные весы») в разных модификациях используется и в современных экспериментах. Такое измерение очень просто по сути, но трудно по исполнению, поскольку оно требует точного знания не только всех масс и всех расстояний, но и упругих свойств нити, а также обязывает минимизировать все побочные воздействия, как механические, так и температурные. Недавно, правда, появились и первые измерения гравитационной постоянной другими, [атомно-интерферометрическими методами](http://igorivanov.blogspot.com/2008/02/blog-post_23.html), которые используют квантовую природу вещества. Однако точность этих измерений пока сильно уступает механическим установкам, хотя, возможно, за ними будущее (см. подробности в новости [Гравитационная постоянная измерена новыми методами](http://elementy.ru/news/430437), «Элементы», 22.01.2007).Так или иначе, но, несмотря на более чем двухсотлетнюю историю, точность измерений остается очень скромной. Нынешнее «официальное» значение, рекомендованное американским Национальным институтом стандартизации (NIST), составляет (6,67384 ± 0,00080)·10–11 м3·кг–1·с–2. Относительная погрешность тут составляет 0,012%, или 1,2·10–4, или, в еще более привычных для физиков обозначениях, 120 ppm (миллионных долей), и это на несколько порядков хуже, чем точность измерения других столь же важных величин. Более того, вот уже несколько десятилетий измерение гравитационной постоянной не перестает быть источником головной боли для физиков-экспериментаторов. Несмотря на десятки проведенных экспериментов и усовершенствование самой измерительной техники, точность измерения так и осталась невысокой. Относительная погрешность на уровне 10–4 была достигнута еще 30 лет назад, и никакого улучшения с тех пор нет.**Ситуация по состоянию на 2010 год**В последние несколько лет ситуация стала еще более драматичной. В 2008–2010 годах три группы обнародовали новые результаты измерения G. Над каждым из них команда экспериментаторов работала годами, причем не только непосредственно измеряла величину G, но и тщательно искала и перепроверяла всевозможные источники погрешностей. Каждое из этих трех измерений обладало высокой точностью: погрешности составляли 20–30 ppm. По идее, эти три измерения должны были существенно улучшить наше знание численной величины G. Беда лишь в том, что все они отличались друг от друга аж на 200–400 ppm, то есть на целый десяток заявленных погрешностей! Эта ситуация по состоянию на 2010 год показана на рис. 3 и кратко описана в заметке [Неловкая ситуация с гравитационной постоянной](http://igorivanov.blogspot.com/2010/08/gravitational-constant.html).Foto19Измерение гравитационной постоянной по состоянию на 2010 год. Рекомендованное NIST значение (показано *зеленым*) учитывает все предыдущие измерения; три новых измерения (показаны*красным*), несмотря на высокую заявленную точность, очень сильно расходятся друг с другом. Изображение с сайта [www.schlammi.com](http://www.schlammi.com/ri_g.html)Совершенно ясно, что сама гравитационная постоянная тут не виновата; она действительно обязана быть одной и той же всегда и везде. Например, есть спутниковые данные, которые хоть и не позволяют хорошо измерить численное значение константы G, зато позволяют убедиться в ее неизменности — если бы G изменилась за год хоть на одну триллионную долю (то есть на 10–12), это уже было бы заметно. Поэтому единственный вытекающий отсюда вывод таков: в каком-то (или в каких-то) из этих трех экспериментов есть неучтенные источники погрешностей. Но вот в каком?Единственный способ попытаться разобраться, это повторять измерения на других установках, и желательно разными методами. К сожалению, особенного разнообразия методик здесь пока достичь не удается, поскольку во всех экспериментах используется то или иное механическое устройство. Но всё же разные реализации могут обладать разными инструментальными погрешностями, и сравнение их результатов позволит разобраться в ситуации.**Новое измерение**На днях в журнале *Physical Review Letters* [было опубликовано](http://prl.aps.org/abstract/PRL/v111/i10/e101102) одно такое измерение. Небольшая группа исследователей, работающих в [Международном бюро мер и весов](http://www.bipm.org/) в Париже, с нуля построила аппарат, который позволил измерить гравитационную постоянную двумя разными способами. Он представляет из себя те же крутильные весы, только не с двумя, а с четырьмя одинаковыми цилиндрами, установленными на диске, подвешенном на металлической нити (внутренняя часть установки на рис. 1). Эти четыре груза гравитационно взаимодействуют с четырьмя другими, более крупными цилиндрами, насаженными на карусель, которую можно повернуть на произвольный угол. Схема с четырьмя телами вместо двух позволяет минимизировать гравитационное взаимодействие с несимметрично расположенными предметами (например, стенками лабораторной комнаты) и сфокусироваться именно на гравитационных силах внутри установки. Сама нить имеет не круглое, а прямоугольное сечение; это, скорее, не нить, а тонкая и узкая металлическая полоска. Такой выбор позволяет ровнее передавать нагрузку по ней и минимизировать зависимость от упругих свойств вещества. Весь аппарат находится в вакууме и при определенном температурном режиме, который выдерживается с точностью до сотой доли градуса.Это устройство позволяет выполнять три типа измерения гравитационной постоянной (см. подробности в самой статье и на [страничке исследовательской группы](http://www.bipm.org/en/scientific/mass/research_mass/big_g.html)). Во-первых, это буквальное воспроизведение опыта Кавендиша: поднесли груз, весы повернулись на некоторый угол, и этот угол измеряется оптической системой. Во-вторых, его можно запустить в режиме крутильного маятника, когда внутренняя установка периодически вращается туда-сюда, а наличие дополнительных массивных тел изменяет период колебаний (этот способ, впрочем, исследователи не использовали). Наконец, их установка позволяет выполнять измерение гравитационной силы *без поворота* грузиков. Это достигается с помощью электростатического сервоконтроля: к взаимодействующим телам подводятся электрические заряды так, чтобы электростатическое отталкивание полностью компенсировало гравитационное притяжение. Такой подход позволяет избавиться от инструментальных погрешностей, связанных именно с механикой поворота. Измерения показали, что два метода, классический и электростатический, дают согласующиеся результаты.Результат нового измерения показан красной точкой на рис. 4. Видно, что это измерение не только не разрешило наболевший вопрос, но и еще сильнее усугубило проблему: оно сильно отличается от всех остальных недавних измерений. Итак, к настоящему моменту у нас имеется уже четыре (или пять, если считать неопубликованные данные [калифорнийской группы](http://www.physics.uci.edu/gravity/)) разных и при том довольно точных измерения, и **все они кардинально расходятся друг с другом!** Разница между двумя самыми крайними (и хронологически — самыми последними) значениями уже превышает **20(!) заявленных погрешностей**.Что касается нового эксперимента, тут надо добавить вот что. Эта группа исследователей [уже выполняла](http://prl.aps.org/abstract/PRL/v87/i11/e111101) аналогичный эксперимент в 2001 году. И тогда у них тоже получалось значение, близкое к нынешнему, но только чуть менее точное (см. рис. 4). Их можно было бы заподозрить в простом повторении измерений на одном и том же железе, если бы не одно «но» — тогда это была *другая* установка. От той старой установки они сейчас взяли только 11-килограммовые внешние цилиндры, но весь центральный прибор был сейчас построен заново. Если бы у них действительно был какой-то неучтенный эффект, связанный именно с материалами или изготовлением аппарата, то он вполне мог измениться и «утащить за собой» новый результат. Но результат остался примерно на том же месте, что и в 2001 году. Авторы работы видят в этом лишнее доказательство чистоты и достоверности их измерения.Ситуация, когда сразу четыре или пять результатов, полученных разными группами, *все* различаются на десяток-другой заявленных погрешностей, по-видимому, для физики беспрецедентна. Какой бы высокой ни была точность каждого измерения и как бы авторы ею ни гордились, для установления истины она сейчас не имеет никакого значения. И пока что пытаться на их основании узнать истинное значение гравитационной постоянной можно только одним способом: поставить значение где-то посередине и приписать погрешность, которая будет охватывать весь этот интервал (то есть раза в полтора-два *ухудшить* нынешнюю рекомендованную погрешность). Можно лишь надеяться, что следующие измерения будут попадать в этот интервал и постепенно будут давать предпочтение какому-то одному значению.Так или иначе, но гравитационная постоянная продолжает оставаться головоломкой измерительной физики. Через сколько лет (или десятилетий) эта ситуация действительно начнет улучшаться, сейчас предсказать трудно.**Источник:**T. Quinn, H. Parks, C. Speake, and R. Davis. [Improved Determination of G Using Two Methods](http://prl.aps.org/abstract/PRL/v111/i10/e101102) // *Phys. Rev. Lett.* 111, 101102 (2013).**См. также:**1) Милюков В. К., Сагитов М. У. Гравитационная постоянная в астрономии. Серия: Космонавтика, астрономия, М., Знание, 1985 г.2) C. Speake. [Newton's constant and the twenty-first century laboratory](http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/363/1834/2265.short) // *Phil. Trans. R. Soc. A.* 2005. V. 363. P. 2265–2287. |