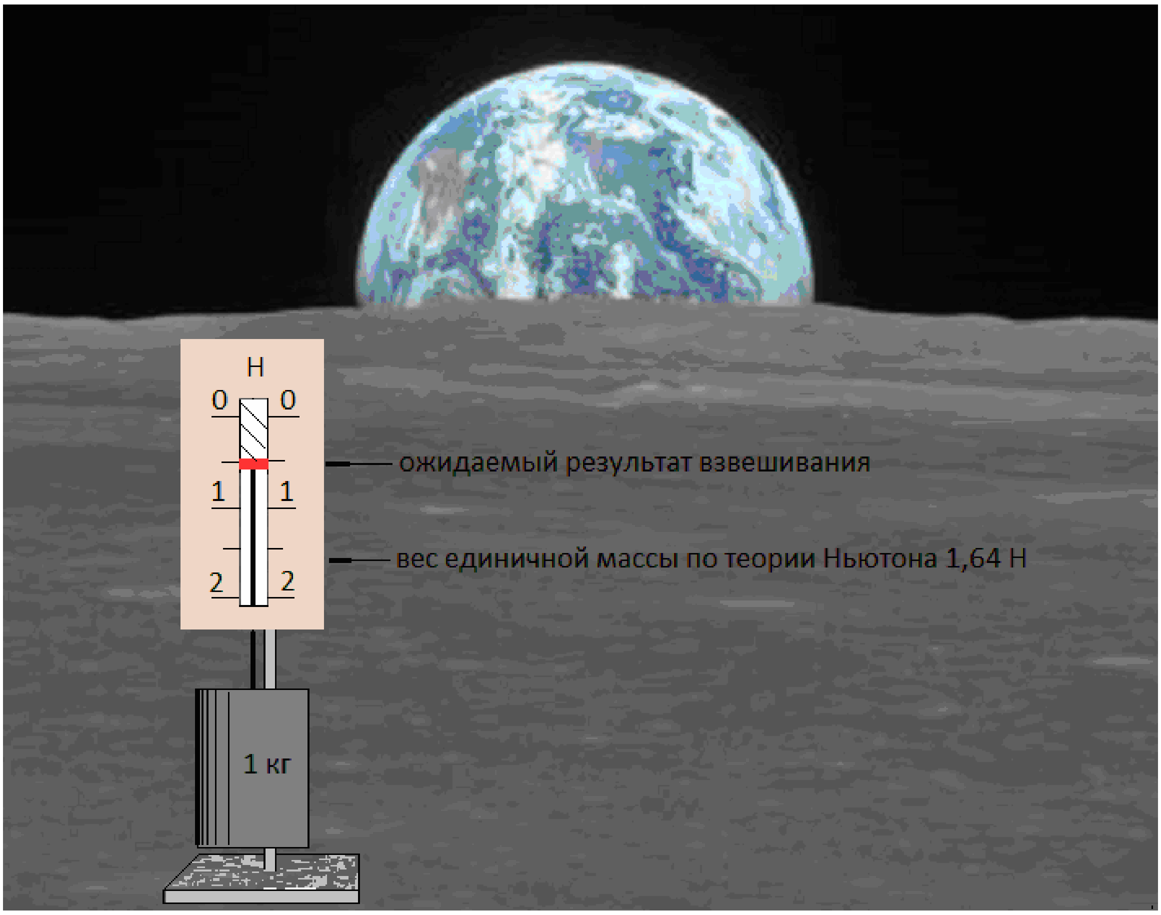
Гужеля Ю.А.

АКТУАЛЬНЫЙ ЛУННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

(проверка области действия закона Всемирного тяготения)

Аннотация

В данной статье рассмотрен Ньютоновский способ вывода формулы закона Всемирного тяготения и предложен экспериментальный способ проверки этого закона. Показано, что астрономические наблюдения за обращением планет и эмпирические законы Кеплера не могут служить подтверждением закона Всемирного тяготения. К настоящему времени экспериментально проверена сила притяжения пробных тел только на поверхности Земли и поэтому закон всемирного тяготения нуждается в опытной проверке в условиях отличных от земных, например, на Луне, см. рисунок.



Введение

Закон всемирного тяготения занимает центральное место в небесной механике Ньютона. Формула этого закона имеет следующий вид:

$$F = \gamma \frac{m \cdot M}{R^2} \qquad (1)$$

Где: F- сила притяжения масс; γ - гравитационная постоянная; m , M - массы тел; R – расстояние между центрами масс.

Из названия закона следует, что область действия его не ограничена и распространяется за пределы Земли и Солнечной системы.

Принято считать, что закон этот строго согласуется с астрономическими наблюдениями за движением планет, то есть, имеет опытное подтверждение. Но это мнение не соответствует действительности.

Результаты исследования

Воспользовавшись первоисточником [1], исследуем метод Ньютона, позволивший ему сформулировать закон Всемирного тяготения.

Ньютон утверждает, что он вывел закон Всемирного тяготения из явлений. На первое место он поставил следующее явление:

«*Спутники Юпитера описывают радиусами, проведенными к его центру, площади пропорциональные временам; времена их обращений по отношению к неподвижным звёздам находятся в полукубическом отношении расстояний от того же центра. Астрономическими наблюдениями установлено, что орбиты этих спутников чувствительно не отличаются от кругов, одноцентренных с Юпитером и движение их по этим кругам представляется равномерным*»

Далее Ньютон формулирует аналогичные явления для спутников Сатурна и затем для планет Солнечной системы:

«*Пять главных планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн – охватывают своими орбитами Солнце*»

«*Звёздные времена оборотов пяти главных планет, а также и Солнца вокруг Земли или Земли вокруг Солнца, находятся в полукубическом отношении их средних расстояний от Солнца. Это найденное Кеплером отношение признаётся всеми*»

Из числа этих всех (астрономов) Ньютон упоминает: Леверрье, Гершеля, Кассини, Гюйгенса, Бонда, Борелли, Таунлея, Поунда.

Нетрудно видеть, что в содержание явлений включены законы Кеплера, выведенные им по результатам наблюдений за Венерой и Марсом, обращающихся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам с малыми эксцентриситетами (0,0068 и 0,0934).

Законы Кеплера:

1. Каждая планета Солнечной система обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце
2. Каждая планета движется в плоскости, проходящей через центр Солнца, причём за равные промежутки времени радиус-вектор, соединяющий Солнце и планету, описывает равные площади
3. Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы больших полуосей.

Очевидно, что законы Кеплера выполняются и для круговых орбит спутников Юпитера и Сатурна.

Формулируя явления, предложения и теоремы, Ньютон несколько перефразирует первые два закона Кеплера, не упоминая об авторе, и отдаёт Кеплеру приоритет лишь в отношении третьего закона, скромно называя этот закон отношением.

Такую позицию Ньютона можно объяснить тем, что точность измерений Кеплера позже была значительно улучшена астрономами, упомянутыми выше. Но со временем приоритеты изменились, и сейчас Кеплеру отдаётся должное, как первооткрывателю законов движения небесных тел.

Ньютон, по-видимому, поставил перед собой задачу самостоятельно математически вывести все три закона Кеплера и установить строгую математическую связь между ними. Эту задачу Ньютон решил в книге I «О движении тел» [1].

В предложении I, теорема I - выводится 2-й закон Кеплера:

«*Площади, описываемые радиусами, проводимыми от обращающегося тела к неподвижному центру сил, лежат в одной плоскости и пропорциональны временам описания их*»

В предложении IV, теорема IV – доказывается 3-й закон Кеплера для круговых орбит. Сначала доказывается, следующее: «*При движении тел, описывающих равномерно расположенные круги, центростремительные силы направлены к центрам этих кругов и пропорциональны квадратам, описываемых в одинаковое время дуг, разделённым на радиусы кругов*»

Отсюда делаются следствия:

«Следствие 1. Так как эти дуги пропорциональны скоростям тел, то центростремительные силы прямо пропорциональны квадратам скоростей и обратно пропорциональны радиусам кругов» Что соответствует формуле: $F = \frac{mv^2}{R}$, выведенной ранее Гюйгенсом.

«Следствие 2. Так как времена обращения пропорциональны прямо радиусам и обратно скоростям, то центростремительные силы прямо пропорциональны радиусам и обратно пропорциональны квадратам времён обращения.

«Следствие 6. Если времена обращения находятся в полукубическом отношении радиусов, то центростремительные силы обратно пропорциональны квадратам радиусов и наоборот» Здесь Ньютон, по сути, доказывает закон обратных квадратов для силы тяготения небесных тел, существование которого предсказывал Гук.

«Следствие 8. Всё сказанное выше о скоростях временах и силах относится и к тому случаю, когда тела описывают подобные части каких-либо подобных фигур около центров, расположенных в сходственных их точках. Это следует из предыдущего доказательства, распространённого на этот случай; надо лишь при этом вместо равномерного движения принимать равномерное описание площадей и вместо радиусов брать расстояния тел до центров». То есть это следствие доказывает 3-й закон Кеплера для эллиптических орбит с равными эксцентриситетами.

Предложение XV Теорема VII распространяет действие 3-го закона Кеплера и на эллиптические орбиты с различными эксцентриситетами:

«При тех же предположениях утверждаю, что времена оборотов по эллипсам относятся между собой, как большие полуоси в степени 3/2»

Ньютон также показал, что если тело обращается по эллипсу и центростремительная сила направлена к одному из фокусов, то эта сила изменяется по закону обратных квадратов и, тем самым, доказал 1-й закон Кеплера, см. предложение XI задача VI.

Таким образом Ньютон математически строго доказал все три эмпирических закона Кеплера и вывел закон обратных квадратов для силы тяготения небесных тел, что и позволило ему сформулировать закон Всемирного тяготения.

Ньютон проводил все доказательства геометрическим методом, довольно трудным для понимания.

Поэтому, проанализируем связь между законом Всемирного тяготения и 3-м законом Кеплера, современным методом.

Прежде всего, обратим внимание на то, что выражение: $\gamma\frac{M}{R^2}$, в формуле (1), имеет размерность $м/c^2$ и представляет собой ускорение массы m под действием силы гравитационного притяжения со стороны массы M. То есть, можно записать: $a_m = \gamma\frac{M}{R^2}$ (2)

Для планет, с массами: m_1 и m_2, обращающихся по круговым орбитам вокруг Солнца, с массой M, выражение (2) запишется в виде:

$a_{m1} = \gamma\frac{M}{R_1^2}$ (3) $\qquad$ $a_{m2} = \gamma\frac{M}{R_2^2}$ (4)

Где: a_{m1}, a_{m2} - ускорения планет в направлении Солнца;

γ - гравитационная постоянная; M - масса Солнца; R_1, R_2 - орбитальные радиусы планет.

Используя известную формулу центростремительного ускорения тела, движущегося по кругу: $a = \frac{v^2}{R}$ (5), из выражений: (3), (4), (5), для планет обращающихся по круговым орбитам, можно вывести 3-й закон Кеплера для круговых орбит:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3} \qquad (6)$$

Где: T_1, T_2 - периоды обращения планет; R_1, R_2 - орбитальные радиусы планет.

Вывод формулы (6) выполняется следующим образом:

Длина орбиты, радиуса R_1, равна: $2\pi \cdot R_1$

Период обращения первой планеты T_1, найдётся из выражения:

$$T_1 = \frac{2\pi \cdot R_1}{v_1} \qquad (7)$$

Где: v_1 - окружная скорость первой планеты.

Возведём в квадрат обе части этого выражения, получим:

$$T_1^2 = \frac{(2\pi)^2 \cdot R_1^2}{v_1^2} \qquad (8)$$

v_1^2 - определится из выражения центростремительного ускорения для первой планеты, движущейся по окружности:

$$a_{m1} = \frac{v_1^2}{R_1} \qquad (9) \qquad \text{Откуда,} \qquad v_1^2 = a_{m1} \cdot R_1 \quad (10)$$

Подставляя (10) в (8), получим:

$$T_1^2 = \frac{(2\pi)^2 \cdot R_1}{a_{m1}} \qquad (11)$$

Подставляя значение a_{m1} из формулы (3), получим:

$$T_1^2 = \frac{(2\pi)^2 \cdot R_1^3}{\gamma \cdot M} \qquad (12)$$

Для планеты m_2, обращающейся по радиусу R_2, можно по аналогии записать:

$$T_2^2 = \frac{(2\pi)^2 \cdot R_2^3}{\gamma \cdot M} \qquad (13)$$

Разделив почленно выражения (12) и (13), получим формулу 3-го закона Кеплера (6), для круговых орбит.

Очевидно, что, проведя выкладки в обратном порядке, из третьего закона Кеплера для круговых орбит, можно вывести формулы обратных квадратов (3) и (4), для центростремительных ускорений планет, движущихся по круговым орбитам.

3-й закон Кеплера для эллиптических орбит выглядит также как и закон для круговых орбит за тем исключением, что величины: R_1, R_2 - представляют здесь большие полуоси планетных орбит:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3} \qquad (6^{/})$$

Таким образом, мы получили почти те же результаты, что и Ньютон. Но разница есть, и она состоит в том, что мы получили соответствие формул обратных квадратов для ускорений: (2), (3), (4) - формуле 3-го закона Кеплера ($6^{/}$), которая подтверждается астрономическими наблюдениями. Ньютон же везде говорит о силах. И его закон Всемирного тяготения (формула 1) сформулирован именно для сил. Поэтому 3-й закон Кеплера не может быть обоснованием закона Всемирного тяготения Ньютона. Прямые же эксперименты по измерению силы притяжения небесных тел не проводились. Лишь результаты взвешивания пробных тел на поверхности Земли согласуются с формулой закона Всемирного тяготения (1), но для закона, претендующего на звание всемирного, этого явно не достаточно. Поэтому закон Всемирного тяготения Ньютона нуждается в опытной проверке, в условиях отличных от земных. Без такой проверки закон Ньютона остаётся гипотезой.

На протяжении трёх столетий проверка закона Всемирного тяготения, в условиях отличных от земных, была невозможна. С началом космической эры ситуация поменялась и сейчас можно проверить Ньютонову гипотезу Всемирного тяготения, например, на поверхности Луны. Сущность этой проверки заключается во взвешивании известной массы на пружинных весах, установленных на поверхности Луны, см. рисунок, на котором изображены пружинные весы, шкала которых градуирована в Ньютонах.

По результатам облётов Луны искусственными спутниками установлено, что ускорение свободного падения на поверхности Луны, примерно, в 6 раз меньше земного и составляет 1,64 $м/с^2$. По формуле Ньютона (1) вес единичной массы на поверхности Луны также должен быть в 6 раз меньше, чем на поверхности Земли и равен 1,64 Н. Но следует ожидать, что вес тела на поверхности Луны будет существенно меньше, чем предсказывает теория Ньютона, см. рисунок.

Ожидание такого эффекта от Лунного эксперимента связано с известным законом механики о равенстве сил действия и противодействия. Первоначально этот закон был сформулирован для статики, но затем Даламбер распространил действие этого закона и на динамические процессы.

Согласно принципу Даламбера, при ускоренном движении тела массой m, в вакууме, действующая сила уравновешивается противоположно направленной силой инерции, равной произведению массы m на ускорение. Если предположить, что сила сопротивления (сила инерции) связана с плотностью или напряжённостью гравитационного поля и учесть, что плотность гравитационного поля на поверхности Луны в несколько раз меньше чем на Земле. То следует ожидать, что сила сопротивления (сила инерции) на Луне будет равна произведению массы на ускорение, от действия какой-либо силы, и умножена на понижающий коэффициент, учитывающий относительную слабость гравитационного поля Луны, по сравнению с полем Земли. Отсюда можно предположить, что сила тяготения также должна быть равна силе инерции, которая в данном случае определяется произведением массы на ускорение свободного падения и на понижающий коэффициент. И следует ожидать, что сила тяготения и вес тела на Луне будут существенно меньше, чем следует из закона Всемирного тяготения (1)

Выводы

Формулы 3-го закона Кеплера для круговых орбит (6), а также для эллиптических орбит ($6^{/}$) - не являются обоснованием для закона Всемирного тяготения: (1) поскольку формулы 3-го закона Кеплера соответствуют формуле центростремительного ускорения: (2), но не формуле центростремительной силы: (1)

При выводе формулы закона всемирного тяготения (1) Ньютон умножил массу тела на его центростремительное ускорение без достаточных оснований, не приняв во внимание связь между силой притяжения тела и силой сопротивления (силой инерции) со стороны окружающего гравитационного поля. Это некорректное математическое действие Ньютона является существенным недостатком его теории.

Предлагаемый Лунный эксперимент позволит проверить закон Всемирного тяготения (1) в условиях отличных от земных.

Если эксперимент покажет ограниченность области действия закона Всемирного тяготения, то это побудит исследователей к проведению подобных экспериментов на поверхности других небесных тел различной массы.

Лунный эксперимент предлагался к проведению ещё в конце прошлого века [Л 2], но, по-видимому, предложение не было замечено. Остаётся надеяться, что в текущем столетии эксперимент этот, всё же, будет проведён.

Литература

1. Исаак Ньютон «Математические начала натуральной философии» Перевод с латинского и комментарии А.Н. Крылова. Предисловие Л.С. Полака. Москва «Наука» 1989.
2. Гужеля Ю.А. «Неизвестная механика» журнал «Русская мысль» №1-6 1994.
3. Гужеля Ю.А. «Неизвестная механика» (вторая редакция) сайт «new-idea. kulichki. net» 2008.