

## Содержание:

Image not found or type unknown



## Введение

Человек, изучая явления, постигает их суть и открывает законы природы. И так, тело, поднятое над Землей и предоставленное самому себе, начнет падать. Он меняет свою скорость, поэтому на него действует гравитация. Это явление наблюдается повсюду на нашей планете: Земля притягивает все тела, включая вас и меня. Только ли Земля способна воздействовать на все тела силой тяжести?

Почти все в Солнечной системе вращается вокруг Солнца. У некоторых планет есть спутники, но они, путешествуя по планете, движутся вместе с ней вокруг Солнца. Солнце имеет массу в 750 раз больше, чем все население Солнечной системы. Благодаря этому Солнце заставляет планеты и все остальное двигаться по орбитам вокруг себя. В космическом масштабе масса - главная характеристика тел, потому что все небесные тела подчиняются закону всемирного тяготения.

Исходя из законов движения планет, установленных И. Кеплером, великий английский ученый Исаак Ньютон (1643-1727), тогда еще никем не признанный, открыл закон всемирного тяготения, с помощью которого стало возможным с большой для того времени точностью вычислить движение Луны, планет и комет, объяснить приливы и отливы океана.

Эти законы человек использует не только для более глубокого познания природы (например, для определения масс небесных тел), но и для решения практических задач (космонавтика, астродинамика).

## Законы движения планет - законы Кеплера

Чтобы в полной мере оценить всю красочность открытия Закона Вселенной, давайте вернемся к его предыстории. Существует легенда, что, прогуливаясь по яблоневому саду в имении своих родителей, Ньютон увидел в дневном небе луну, и прямо на его глазах яблоко сорвалось с ветки и упало на землю. Поскольку Ньютон

в это самое время работал над законами движения, он уже знал, что яблоко упало под действием гравитационного поля Земли. Он также знал, что Луна не просто висит в небе, но вращается по орбите вокруг Земли, и, следовательно, на нее действует какая-то сила, которая не дает ей упасть с орбиты и улететь по прямой, в открытое пространство. Затем ему пришло в голову, что, возможно, это та же сила, которая заставляет яблоко упасть на землю, а Луна остается на околоземной орбите - сила тяжести, существующая между всеми телами.

Итак, когда великие предшественники Ньютона изучали равномерно ускоренное движение тел, падающих на поверхность Земли, они были уверены, что наблюдают явление чисто земной природы, существующее только у поверхности нашей планеты. Когда другие ученые, изучавшие движение небесных тел, считали, что в небесных сферах действуют совершенно иные законы движения, чем законы, управляющие движением здесь, на Земле.

Сама идея универсальной силы гравитации неоднократно высказывалась ранее: об этом думали Эпикур, Гассенди, Кеплер, Борелли, Декарт, Роберваль, Гюйгенс и другие. Декарт считал это результатом вихрей в эфире. История науки свидетельствует о том, что почти все рассуждения относительно движения небесных тел до Ньютона сводились в основном к тому, что небесные тела, будучи совершенными, движутся по круговым орбитам в силу своего совершенства, поскольку круг - это идеальная геометрическая фигура.

Таким образом, говоря современным языком, считалось, что существует два типа гравитации, и эта идея прочно закрепилась в сознании людей того времени. Все считали, что земная гравитация действует на несовершенную Землю, а небесная гравитация действует на совершенные небеса. Изучение движения планет и строения Солнечной системы привело, в конечном итоге, к созданию теории гравитации - открытию закона всемирного тяготения.

Первую попытку создать модель Вселенной сделал Птолемей (~ 140). В центре Вселенной Птолемей поместил Землю, вокруг которой планеты и звезды двигались по большим и малым кругам, как в хороводе. Геоцентрическая система Птолемея просуществовала более 14 веков, и только в середине 16 века ее сменила гелиоцентрическая система Коперника.

В начале XVII века немецкий астроном И. Кеплер на основе системы Коперника сформулировал три эмпирических закона движения планет Солнечной системы, используя результаты наблюдений за движением планет датскими астрономами.

астроном Т. Браге.

Первый закон Кеплера (1609 г.): «Все планеты движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце».

Удлинение эллипса зависит от скорости движения планеты; с расстояния, на котором планета находится от центра эллипса. Изменение скорости небесного тела приводит к превращению эллиптической орбиты в гиперболическую, двигаясь по которой, можно покинуть пределы Солнечной системы.

Второй закон Кеплера показывает равенство площадей, описываемых радиус-вектором небесного тела за равные промежутки времени. При этом скорость тела изменяется в зависимости от расстояния до Земли (особенно это заметно, если тело движется по сильно вытянутой эллиптической орбите). Чем ближе тела к планете, тем выше скорость тела.

Третий закон Кеплера (1619 г.): «Квадраты периодов обращения планет связаны как кубы больших полуосей их орбит»: или же Третий закон Кеплера выполняется для всех планет Солнечной системы с точностью лучше 1%.

Законы Кеплера, навсегда ставшие основой теоретической астрономии, получили объяснение в механике И. Ньютона, в частности в законе всемирного тяготения.

Несмотря на то, что законы Кеплера были важнейшим этапом в понимании движения планет, они по-прежнему оставались лишь эмпирическими правилами, полученными из астрономических наблюдений; Кеплеру не удалось найти причину этих общих для всех планет закономерностей. Законы Кеплера нуждались в теоретическом обосновании.

И только Ньютон сделал частный, но очень важный вывод: должна быть связь между центростремительным ускорением Луны и ускорением свободного падения на Земле. Эту связь нужно было установить и проверить численно.

Именно в этом соображения Ньютона отличались от догадок других ученых. До Ньютона никто не мог четко и математически окончательно связать закон тяготения (сила, обратно пропорциональная квадрату расстояния) и законы движения планет (законы Кеплера).

Два величайших ученых, далеко опередившие свое время, создали науку под названием небесная механика, открыли законы движения небесных тел под действием гравитационных сил, и даже если бы их достижения ограничились этим,

они все равно вошли бы в пантеон великих мира сего.

Так получилось, что во времени они не пересеклись. Всего через тринадцать лет после смерти Кеплера родился Ньютон. Оба они были сторонниками гелиоцентрической системы Коперника.

Изучая движение Марса в течение многих лет, Кеплер экспериментально открывает три закона движения планет, более чем за пятьдесят лет до открытия Ньютоном закона всемирного тяготения. До сих пор не понимаю, почему планеты движутся именно так, а не иначе. Это было блестящее предвидение.

С другой стороны, Ньютон проверил свой закон всемирного тяготения именно по законам Кеплера. Все три закона Кеплера являются следствием закона всемирного тяготения. И Ньютон это открыл. Результаты расчетов Ньютона теперь называются законом всемирного тяготения Ньютона, который мы рассмотрим в следующей главе.

## **Закон всемирного тяготения**

### **Открытие Исаака Ньютона**

Закон всемирного тяготения был открыт И. Ньютоном в 1682 году. Согласно его гипотезе, между всеми телами Вселенной действуют силы притяжения (силы тяжести), направленные вдоль линии, соединяющей центры масс. У тела в виде однородного шара центр масс совпадает с центром шара.

В последующие годы Ньютон пытался найти физическое объяснение законов движения планет, открытых И. Кеплером в начале 17 века, и дать количественное выражение для гравитационных сил. Итак, зная, как движутся планеты, Ньютон хотел определить, какие силы действуют на них. Этот путь называется обратной задачей 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 силы, действующие на тело, если известно, как оно движется.

Решение этой проблемы 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». Как и все законы физики, он облечен в форму математического уравнения.

Коэффициент пропорциональности  $G$  одинаков для всех тел в природе. Это называется гравитационной постоянной.

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2 \text{ (СИ)}$$

В связи с этим законом следует сделать несколько важных замечаний.

Во-первых, его действие явно распространяется на все физические материальные тела во Вселенной без исключения. В частности, например, вы и книга испытываете равную по величине и противоположную по направлению силу взаимного гравитационного притяжения. Конечно, эти силы настолько малы, что их невозможно зарегистрировать даже самыми точными из современных приборов, но они действительно существуют и их можно вычислить.

Таким же образом вы испытываете взаимное притяжение с далеким квазаром, находящимся в десятках миллиардов световых лет от нас. Опять же, силы этого притяжения слишком малы, чтобы их регистрировать и измерять инструментами.

Второй момент заключается в том, что гравитационная сила Земли на ее поверхности в равной степени влияет на все материальные тела, расположенные в любой точке мира. Прямо сейчас на нас действует сила тяжести, рассчитанная по приведенной выше формуле, и мы действительно ощущаем ее как свой вес. Если мы что-то уроним под действием той же силы, оно упадет на землю с равным ускорением.

## **Движение тел под действием силы тяжести**

Действие сил тяжести в природе объясняет многие явления: движение планет в Солнечной системе, искусственные спутники Земли, траектория полета баллистических ракет, движение тел у поверхности Земли - все они объясняется на основе закона всемирного тяготения и законов динамики.

Закон всемирного тяготения объясняет механическую структуру Солнечной системы, и законы Кеплера, описывающие траектории планет, могут быть выведены из него. Для Кеплера его законы были чисто описательными - ученый просто обобщал свои наблюдения в математической форме, не давая никаких теоретических оснований формулам. В великой системе мирового порядка по Ньютону законы Кеплера становятся прямым следствием универсальных законов механики и закона всемирного тяготения. То есть мы снова наблюдаем, как эмпирические выводы, полученные на одном уровне, превращаются в строго обоснованные логические выводы при переходе к следующему этапу углубления нашего познания мира.

Ньютон был первым, кто выразил идею о том, что гравитационные силы определяют не только движение планет Солнечной системы; они действуют между любыми телами во вселенной. Одним из проявлений силы всемирного тяготения является сила тяжести - так называется сила притяжения тел к Земле у ее поверхности.

Сила тяжести направлена к центру Земли. При отсутствии других сил тело свободно падает на Землю с ускорением свободного падения.

Среднее значение ускорения свободного падения для различных точек на поверхности Земли составляет  $9,81 \text{ м / с}^2$ . Зная ускорение свободного падения и радиус Земли ( $r_g = 6,38 \times 10^6 \text{ м}$ ), можно вычислить массу Земли

Картину структуры Солнечной системы, возникающую из этих уравнений и объединяющую земную и небесную гравитацию, можно понять на простом примере. Предположим, мы стоим на краю отвесной скалы, рядом с пушкой и холмом из пушечных ядер. Если просто уронить ядро с края обрыва вертикально, оно начнет падать вертикально и равномерно. Его движение будет описываться законами Ньютона для равноускоренного движения тела с ускорением  $g$ . Если вы сейчас выстрелите пушечным ядром в направлении горизонта, оно полетит - и упадет по дуге. И в этом случае его движение будет описываться законами Ньютона, только теперь они применяются к телу, движущемуся под действием силы тяжести и имеющему определенную начальную скорость в горизонтальной плоскости. Теперь, заряжая все более тяжелую пушку и стреляя снова и снова, вы обнаружите, что по мере того, как каждая последующая пушка покидает ствол с более высокой начальной скоростью, ядра падают все дальше и дальше от основания обрыва.

А теперь представим, что мы загрузили в пушку столько пороха, что скорости пушки достаточно, чтобы облететь земной шар. Если пренебречь сопротивлением воздуха, ядро, облетев Землю, вернется в исходную точку точно с той же скоростью, с которой первоначально вылетело из пушки. Что будет дальше, понятно: ядро на этом не остановится и продолжит кружить по кругу вокруг планеты.

Другими словами, мы получим искусственный спутник, вращающийся вокруг Земли, как естественный спутник - Луну.

Итак, шаг за шагом мы перешли от описания движения тела, падающего исключительно под действием «земной» гравитации (ньютоновское яблоко), к описанию движения спутника (Луны) по его орбите, не меняя при этом характера гравитационного эффекта от «земного» до «небесного». Именно это понимание позволило Ньютону соединить вместе две силы гравитационного притяжения, которые до него считались разными по природе.

С удалением от поверхности Земли сила тяжести и ускорение свободного падения изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния  $r$  до центра Земли. Примером системы двух взаимодействующих тел является система Земля-Луна. Луна расположена от Земли на расстоянии  $r_L = 3,84 \cdot 10^6$  м. Это расстояние примерно в 60 раз больше радиуса Земли  $R_{\oplus}$ . Следовательно, гравитационное ускорение  $a_L$  за счет силы тяжести на орбите Луны равно

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

Совпадение результатов расчетов, выполненных по-разному, подтверждает предположение Ньютона о единой природе силы, удерживающей Луну на орбите, и силы тяжести.

Собственное гравитационное поле Луны определяет ускорение свободного падения  $g_L$  на ее поверхности. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а ее радиус примерно в 3,7 раза меньше земного.

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

Рассмотрим вопрос об искусственных спутниках Земли. Искусственные спутники Земли движутся за пределы земной атмосферы, и на них действуют только гравитационные силы Земли.

В зависимости от начальной скорости траектория космического тела может быть разной. Рассмотрим случай движения искусственного спутника Земли по круговой околоземной орбите. Такие спутники летают на высотах порядка 200-300 км, а расстояние до центра Земли можно приблизительно принять равным ее радиусу  $R$ . Тогда центростремительное ускорение спутника, сообщаемое ему силами тяжести, примерно равно ускорению свободного падения  $g$ . Обозначим через  $v_1$  скорость спутника на околоземной орбите - эта скорость называется первой космической скоростью.

Фактически, период обращения спутника на круговой орбите у поверхности Земли немного больше указанного значения из-за разницы между радиусом реальной орбиты и радиусом Земли. Движение спутника можно представить как свободное падение, подобное движению снарядов или баллистических ракет. Единственное отличие состоит 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, земная гравитация ослабевает обратно пропорционально квадрату радиуса  $r$  траектории. Таким образом, на высоких орбитах скорость движения спутников ниже, чем на околоземной орбите.

Орбитальный период спутника увеличивается с увеличением радиуса орбиты. Нетрудно подсчитать, что при радиусе орбиты  $r$ , равном примерно  $6,6 R$ , период обращения спутника будет равен 24 часам. Спутник с таким периодом обращения, запущенный в экваториальной плоскости, будет неподвижно висеть над некоторой точкой земной поверхности. Такие спутники используются в системах космической радиосвязи. Орбита радиусом  $r = 6,6 R$  называется геостационарной.

Вторая космическая скорость - это минимальная скорость, которая должна быть сообщена космическому кораблю у поверхности Земли, чтобы он, преодолев земное притяжение, превратился в искусственный спутник Солнца (искусственную планету). В этом случае корабль удалится от Земли по параболической траектории.



Если скорость космического корабля  $x_1 = 7,9 \cdot 10^3$  м / с и направлена параллельно поверхности Земли, то космический корабль будет двигаться по круговой орбите на малой высоте над Землей. При начальных скоростях, превышающих  $x_1$ , но менее  $x_2 = 11,2 \cdot 10^3$  м / с, орбита космического корабля будет эллиптической. При начальной скорости  $x_2$  корабль будет двигаться по параболе, а с еще большей начальной скоростью - по гиперболе.

### **Указаны скорости у поверхности Земли:**

1.  $x = x_1$  - круговая траектория;
2.  $x_1 < x < x_2$  - эллиптическая траектория;
3.  $x = 11,1 \cdot 10^3$  м / с - эллипс сильно вытянутой формы;
4.  $x = x_2$  - параболическая траектория;
5.  $x > x_2$  - гиперболическая траектория;
6. траектория луны

Таким образом, мы выяснили, что все движения в Солнечной системе подчиняются закону всемирного тяготения Ньютона.

Исходя из малой массы планет и тем более других тел Солнечной системы, можно приблизительно предположить, что движения в пространстве вокруг Солнца подчиняются законам Кеплера.

Все тела движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце. Чем ближе небесное тело к Солнцу, тем выше его орбитальная скорость (планета Плутон, самая дальняя из известных планет, движется в 6 раз медленнее Земли).

Тела также могут двигаться по открытым орбитам: параболе или гиперболе. Это происходит, если скорость тела равна или превышает значение второй космической скорости Солнца на заданном расстоянии от центральной звезды. Если мы говорим о спутнике планеты, то космическую скорость нужно рассчитывать относительно массы планеты и расстояния до ее центра.

## **Заключение**

Итак, в этой работе мы рассмотрели тему: Закон всемирного тяготения.

Закон всемирного тяготения был установлен Исааком Ньютоном, обобщая результаты, полученные ранее известными астрономами. Важную роль сыграли закономерности движения планет, открытые немецким астрономом И. Кеплером в результате обработки информации астрономических наблюдений датского астронома Тихо Браге. Кеплер сформулировал их в виде трех законов.

Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

Площади, описываемые радиусами-векторами планет за одно и то же время, равны.

Отношение квадратов периодов обращения планет вокруг Солнца равно отношению кубов больших полуосей их орбит.

Ньютон выдвинул предположение, что между любыми телами в природе существуют силы взаимного притяжения. Эти силы называются силами тяжести или силами тягости. Сила всемирного тяготения проявляется в Космосе, Солнечной системе и на Земле. Ньютон обобщил законы движения небесных тел и выяснил, что сила  $F$  равна:

**Ньютон вывел закон всемирного тяготения в своей основной работе «Математические основы естественной философии» и показал, что:**

- наблюдаемые движения планет указывают на наличие центральной силы;
- наоборот, центральная сила притяжения приводит к эллиптическим (или гиперболическим) орбитам.

В результате этот закон гласит: между любыми материальными точками существует сила взаимного притяжения, прямо пропорциональная произведению их масс и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними, действующая вдоль линии, соединяющей эти точки.

Теория Ньютона, в отличие от гипотез своих предшественников, имела ряд существенных отличий. **Ньютон опубликовал не просто предполагаемую формулу закона всемирного тяготения, но фактически предложил полную математическую модель:**

1. закон всемирного тяготения;
2. закон движения (второй закон Ньютона);
3. система методов математического исследования (математический анализ).

В совокупности этой триады достаточно для полного изучения сложнейших движений небесных тел, создавая тем самым основы небесной механики. До Эйнштейна никаких принципиальных поправок к этой модели не требовалось, хотя это оказалось необходимым для существенного развития математического аппарата.

Позже мы убедились, что законы Кеплера и закон всемирного тяготения Ньютона имеют универсальный характер, а закон всемирного тяготения является не только основным законом небесной механики, но и играет решающую роль при анализе различных космогонических и космологических процессов.

Строго говоря, теория гравитации Ньютона перестала быть гелиоцентрической. Уже в задаче о двух телах планета вращается не вокруг солнца, а вокруг общего центра тяжести, поскольку не только солнце притягивает планету, но и сама планета притягивает солнце. Наконец, стала понятна необходимость учитывать влияние планет друг на друга. Открытие закона всемирного тяготения показало способность тела «притягиваться» - притягиваться к себе и притягиваться к другим телам.

Со временем выяснилось, что закон всемирного тяготения позволяет с большой точностью объяснять и предсказывать движения небесных тел, и его стали рассматривать как фундаментальные.

## **Список литературы**

1. Громов С.В. Физика. 9 класс / С.В. Громов. - М. : Просвещение, 2004. - 158 с.
2. Касаткина И. Л. Репетитор физики / И. Л. Касаткина. - М. : Феникс, 2004. - 368 с.
3. Касьянов В.А. Физика. Учебник. 10 класс / В.А. Касьянов. - М. : Дрофа, 2004. - 416 с.
4. Мякишев Г.Я. Физика: Учебник. за 10 кл. общее образование. учреждения / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н. Сотский. - М. : Просвещение, 2005. - 399 с.