

Динамика

В динамике изучается влияние взаимодействия между телами на их механическое движение. Основная задача динамики состоит в определении положения тел и их скоростей в произвольный момент времени по известным начальным положениям тел, их начальным скоростям и силам, действующим на тела.

Взаимодействие тел. Механическое действие одного тела на другое возможно как при непосредственном соприкосновении тел, так и на расстоянии. Действие одного тела на другое в механике проявляется в деформации взаимодействующих тел и в возникновении у тел ускорений.

Первый закон Ньютона. Понятие об инерциальных и неинерциальных системах отсчета. Первый закон Ньютона постулирует существование особого класса систем отсчета – *инерциальных*:

Существуют такие, инерциальные системы отсчёта, в которых тела движутся прямолинейно и равномерно, если на них не действуют другие тела, либо действия этих тел скомпенсировано.

Особое значение инерциальных систем отсчета состоит в том, что в этих системах механические явления описываются наиболее просто.

Если существует хотя бы одна инерциальная система отсчета, то существует и бесконечное множество таких систем. Действительно, если в одной системе свободное тело движется с постоянной скоростью, то в любой другой системе отсчета, движущейся относительно первой с постоянной скоростью, это тело также будет иметь постоянную скорость.

Из известных в настоящее время систем отсчета наиболее близка к инерциальной гелиоцентрическая система, связанная с центром Солнца. Для описания многих механических движений в земных условиях инерциальной можно считать систему отсчета, связанную либо с поверхностью Земли, либо с ее центром (геоцентрическая система отсчета). При этом пренебрегают ускорением этой системы, связанным с вращательным движением Земли вокруг собственной оси и вокруг Солнца.

Принцип относительности Галилея гласит: *любое механическое явление во всех инерциальных системах отсчета протекает одинаково при одинаковых начальных условиях.*

Сила. В инерциальных системах отсчета ускорение тела, а также его деформация, могут быть вызваны только его взаимодействием с другими телами. Характеристикой действия одного тела на другое является сила. *Силой* называется векторная физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на материальную точку или тело со стороны других тел или полей. Сила полностью определена, если заданы ее модуль, направление и точка приложения.

Силы в механике. Различные взаимодействия, известные в современной физике, сводятся к четырем типам: *гравитационные, электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия.* Сила как количественная характеристика позволяет оценивать лишь гравитационные и электромагнитные взаимодействия. В тех чрезвычайно малых областях пространства и в тех процессах, в которых проявляются сильные и слабые взаимодействия, такие понятия, как точка приложения, линия действия, а вместе с ними и само понятие силы теряют смысл.

Сравнение сил производится на основании следующего утверждения, являющегося определением равенства сил в механике: Две силы, независимо от их природы, считаются равными по модулю и противоположно направленными, если их одновременное действие на тело не меняет его состояния покоя или равномерного прямолинейного движения. Величина силы может быть измерена по степени деформации специального пробного тела — динамометра. Моделью динамометра обычно служит пружина.

Сложение сил, действующих на материальную точку. Если на материальную точку действует несколько сил в разных направлениях, то их действие можно заменить действием одной силы, называемой равнодействующей, величина и направление которой определяется по правилу сложения векторов (рис. 1).

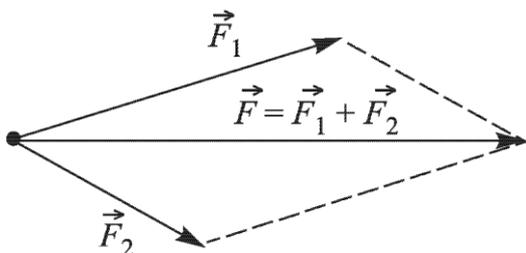


Рисунок 1. Сложение сил, действующих на материальную точку.

Инертность тел. Свойство свободного тела сохранять состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется инертностью.

Масса. Скалярная физическая величина, являющаяся мерой инертности тела, называется массой тела. Она служит количественной характеристикой отклика тела на воздействие на него других тел. Чем больше масса тела, тем меньшее ускорение приобретает это тело под действием одной и той же силы.

В механике Ньютона постулируется, что:

1. масса тела не зависит от скорости его движения;
2. масса тела равна сумме масс всех частиц (или материальных точек), из которых оно состоит;
3. при любых процессах, происходящих в замкнутой системе тел, ее полная масса остается неизменной.

Эти постулаты справедливы для макроскопических тел в случае, когда скорости их движения намного меньше, чем скорость света.

Плотность. Плотностью тела ρ называется величина, равная отношению массы тела m к его объему V :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Второй закон Ньютона. Основой динамики является второй закон Ньютона, согласно которому *в инерциальной системе отсчета произведение массы тела на его ускорение равно сумме действующих на тело сил:*

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

За единицу массы в системе СИ принят килограмм (кг). За единицу силы в системе СИ принимается сила, которая телу массой 1 кг сообщает ускорение 1 м/с^2 . Эта единица называется ньютоном (Н). Приблизительно 1 Н равен силе, с которой притягивается к Земле тело массой 0,102 кг.

Третий закон Ньютона: *При любом взаимодействии двух тел сила, действующая со стороны одного тела на другое, равна по величине и противоположна по направлению силе, действующей со стороны второго тела на первое. Эти силы направлены вдоль прямой, соединяющей точки их приложения, и всегда имеют одну и ту же физическую природу.*

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Этот закон утверждает, что силы взаимодействия всегда появляются попарно. Если в инерциальной системе отсчета на какое-то тело действует сила, то обязательно есть какое-то другое тело, на которое первое действует с такой же по модулю силой, но направленной в противоположную сторону. Всегда следует помнить, что силы, появляющиеся при взаимодействии тел, приложены к разным телам и поэтому не могут уравновешивать друг друга. Уравновешиваться могут только силы, приложенные к одному телу.

Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная. Две материальные точки массами m_1 и m_2 притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния r между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

где $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ — гравитационная постоянная. Гравитационная постоянная относится к числу фундаментальных констант природы. Ее численное значение может быть определено только опытным путем.

Для протяженных тел произвольной формы задача нахождения силы тяготения является весьма сложной. Она имеет простое решение, описываемое данной формулой, в следующих случаях:

- 1) если оба тела являются однородными шарами, тогда m_1 и m_2 — их массы, r — расстояние между центрами шаров;
- 2) одно из тел является однородным шаром, второе — материальной точкой; тогда m_1 и m_2 — их массы, r — расстояние от материальной точки до центра шара;
- 3) если оба тела являются материальными точками, тогда m_1 и m_2 — их массы, r — расстояние между ними.

Сила тяжести F_T , действующая на тело со стороны Земли, равна произведению массы тела m на ускорение свободного падения g_0 . Вблизи поверхности Земли

$$F_T = mg_0 = G \frac{mM}{R^2}$$

где M — масса Земли, R — ее радиус. Отсюда ускорение свободного падения у поверхности Земли

$$g_0 = G \frac{M}{R^2}$$

Силы упругости. Понятие о деформациях. Под деформацией твердого тела понимают изменение его размеров и формы. К деформациям относятся растяжение, сжатие, сдвиг, изгиб и кручение. Поскольку твердые тела сохраняют свой объем и форму, при любой попытке их деформировать в телах возникают силы, препятствующие этому.

Тела, которые полностью восстанавливают свою форму и объем после прекращения действия внешних сил, вызывающих деформации, называются *упругими*. Соответственно, упругими называются любые деформации упругого тела, а силы, возникающие в теле из-за упругих деформаций, носят название сил упругости. Наряду с упругими телами имеются *пластичные* тела, которые после прекращения действия внешних сил, вызвавших деформацию, не восстанавливают свою форму. Хотя при деформациях пластичных тел тоже возникают силы, они не являются силами упругости, поскольку их значение зависит не от деформации, а от других факторов. Пластичные деформации в элементарных курсах физики не рассматриваются.

Силы упругости действуют между соприкасающимися слоями деформируемого упругого тела, а также в месте контакта деформируемого тела с телом, вызывающим деформацию. В элементарной физике рассматриваются одномерные (линейные) деформации растяжения или сжатия. В этих случаях силы упругости направлены вдоль линии действия внешней (деформирующей) силы, т.е. вдоль осей продольно деформируемых нитей, витых пружин, стержней и т.п., или перпендикулярно поверхности соприкасающихся тел.

Закон Гука. Закон Гука устанавливает прямую пропорциональную зависимость величины силы упругости, возникающей при деформации тела, от величины деформации. Для пружины он имеет вид

$$F = k|l - l_0|$$

где l — длина деформированной пружины, l_0 — длина свободной пружины, k — коэффициент жесткости пружины. Жесткость пружины зависит как от формы пружины, так и от упругих свойств материала, из которого она изготовлена.

Силы трения возникают при соприкосновении твердых тел, а также при движении тел в вязкой среде (жидкости или газе). Главная особенность сил трения, отличающая их от гравитационных сил и сил упругости, состоит в том, что они зависят не от координат тел, а от скорости движения тел

относительно друг друга, или от относительной скорости тела и вязкой среды.

Сухое трение: трение покоя и трение скольжения. Коэффициент трения. Трение между поверхностями соприкасающихся твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки называется сухим трением. Сухое трение подразделяется на трение покоя и трение скольжения. Силы трения, возникающие между поверхностями твердых тел, неподвижных относительно друг друга, называются силами трения покоя. Величина силы трения покоя изменяется от нуля до некоторого максимального значения. Силы трения скольжения возникают при движении одного твердого тела по поверхности другого. Сила трения скольжения направлена против скорости относительного движения трущихся поверхностей.

Законы сухого трения имеют следующий вид:

1. Величина силы трения скольжения пропорциональна величине силы нормального давления:
$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$
2. Коэффициент трения μ не зависит от площади соприкасающихся поверхностей и от скорости их относительного движения.
3. Максимальная величина силы трения покоя равна величине силы трения скольжения.

Применение законов Ньютона к поступательному движению тел.

Под действием произвольно приложенной силы твердое тело совершает в общем случае сложное движение, при котором различные его точки движутся с разными ускорениями. Поступательное движение твердого тела возможно только в том случае, когда линия действия силы, приложенной к телу, проходит через некоторую, вполне определенную точку, связанную с телом. Эта точка получила название центра масс. Положение центра масс зависит от того, как масса тела распределена по его объему. Для однородных тел простой формы центр масс совпадает с центром симметрии. В частности, центр масс тела в форме параллелепипеда лежит в точке пересечения его диагоналей. Центр масс может оказаться и в точке, в которой нет вещества, образующего тело (например, в случае однородного обруча).

Особая роль центра масс в механике заключается в том, что эта точка движется так, как будто в ней сосредоточена вся масса тела и к ней приложены все силы, действующие на тело. Если тело движется

поступательно, то это означает, что равнодействующая всех сил, приложенных к телу, проходит через его центр масс.

Частным случаем поступательного движения является свободное падение тела, не приведенного предварительно во вращение, в однородном поле тяготения. Под действием элементарных сил тяжести, действующих на все точки тела параллельно, оно движется поступательно. Следовательно, равнодействующая всех сил тяжести при любом положении тела проходит через его центр масс.

Вес тела. Невесомость. Перегрузки. Тело, находящееся в поле сил тяготения, может быть неподвижным (или двигаться равномерно и прямолинейно), только если на него действуют другие тела, например, опора или подвес, которые уравнивают силу тяжести. Сила, с которой тело в однородном поле тяготения действует на опору или подвес, удерживающие его от свободного падения, называется весом тела \vec{P} .

Вес неподвижного тела равен по величине и направлению силе тяжести: $\vec{P} = m\vec{g}$. В результате совместного действия силы тяжести и реакции подвеса (или опоры) тело, находящееся вблизи поверхности Земли, деформируется.

Если опора (подвес) движется с ускорением, направленным вверх или вниз, вес тела отличается от силы тяжести. В частности, при движении опоры (подвеса) с ускорением \vec{a} , направленным вниз, вес тела меньше силы тяжести: $\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$. Если $\vec{a} = \vec{g}$, вес тела равен нулю: опора (подвес) на него не действует. В этом случае говорят, что тело находится в состоянии невесомости. При движении тела только под действием силы тяготения деформации тела отсутствуют.

При движении опоры (подвеса) с ускорением a , направленным вверх, вес тела больше силы тяжести: $P = m(g + a)$. Такое состояние тела называется перегрузкой. При перегрузках деформации тела больше, чем в случае, когда тело покоится.

Применение законов Ньютона к движению материальной точки по окружности. Равномерное движение материальной точки по окружности происходит под действием одной или нескольких сил, векторная сумма (равнодействующая) которых $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$ в каждый момент времени перпендикулярна скорости точки и направлена к центру окружности. Эта равнодействующая сообщает точке центростремительное ускорение \vec{a}_n .

Согласно второму закону Ньютона, для равномерного движения точки массой m по окружности справедливо уравнение

$$m\vec{a}_n = \vec{F}$$

Чтобы перейти к скалярному уравнению, нужно спроектировать все векторы на неподвижную ось OX , проходящую через материальную точку и направленную по радиусу к центру окружности (т.е. по направлению ускорения \vec{a}_n). При указанном выборе оси OX $a_{nx} = a_n = \frac{V^2}{R}$, где V — скорость точки, R — радиус окружности. В итоге получаем уравнение

$$m \frac{V^2}{R} = F$$

Если точка движется неравномерно, то ее скорость изменяется не только по направлению, но и по модулю. В этом случае центростремительное ускорение a_n сообщают составляющие приложенных к точке сил, действующие вдоль радиуса, а составляющие, действующие вдоль касательной, сообщают точке касательное (тангенциальное) ускорение. Полное ускорение точки равно векторной сумме центростремительного и тангенциального ускорений.

Движение искусственных спутников. Первая космическая скорость. Чтобы тело стало искусственным спутником Земли, движущимся на расстоянии h от ее поверхности, нужно поднять это тело на высоту h и сообщить ему в направлении, перпендикулярном вертикали, такую скорость V , чтобы, согласно второму закону Ньютона и закону всемирного тяготения, выполнялось условие:

$$m \frac{V^2}{R_3 + h} = G \frac{m \cdot M_3}{(R_3 + h)^2}$$

Здесь m — масса спутника, M_3 — масса Земли, R_3 — ее радиус. Отсюда

$$V = \sqrt{\frac{G \cdot M_3}{R_3 + h}}$$

Если спутник запускается вблизи поверхности Земли ($h = 0$), ему необходимо сообщить скорость

$$V_1 = \sqrt{\frac{G \cdot M_3}{R_3}} = \sqrt{g_0 R_3}$$

где g_0 — ускорение свободного падения у поверхности Земли. Скорость такого движения называют *первой космической скоростью*.

При движении по орбите вокруг планеты тело находится в состоянии невесомости.

Указания по решению задач

При решении задач по динамике нужно прежде всего выяснить, какие силы действуют на тело, движением которого мы интересуемся. Необходимо изобразить эти силы на чертеже. При этом нужно ясно представлять, со стороны каких именно тел действуют рассматриваемые силы. Следует помнить, что силы «действия» и «противодействия», фигурирующие в третьем законе Ньютона, приложены к разным телам. Потому на данное тело может действовать только одна из этих сил, а не обе сразу.

Иногда возникают затруднения при определении направления силы трения покоя, особенно в сложных системах, состоящих из нескольких тел. В этом случае помогает следующий прием: нужно предположить, что трение исчезло, и найти направления относительных скоростей соприкасающихся тел. Направления сил трения будут противоположны направлениям относительных скоростей.

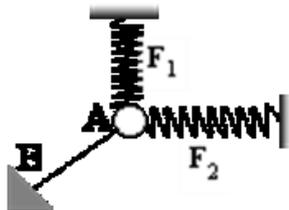
После того, как определены действующие на тело силы, следует записать уравнение движения (второй закон Ньютона). При движении по прямой $ma = F_1 + F_2 + \dots + F_n$, где a — проекция ускорения, F_1, F_2, \dots, F_n — проекции сил на прямую, вдоль которой происходит движение. Положительное направление отсчета удобно выбирать совпадающим с направлением ускорения тела. До того, как задача решена, определить направление ускорения не всегда удастся. В этом случае оно может быть выбрано произвольно. Если полученное в ответе ускорение положительно, то его направление выбрано правильно, если отрицательно — то неправильно и его нужно заменить на противоположное.

В направлении, перпендикулярном к направлению прямолинейного движения, сумма проекций сил равна нулю. Соответствующими равенствами можно пользоваться например для того, чтобы найти силу реакции опоры, определяющую силу трения.

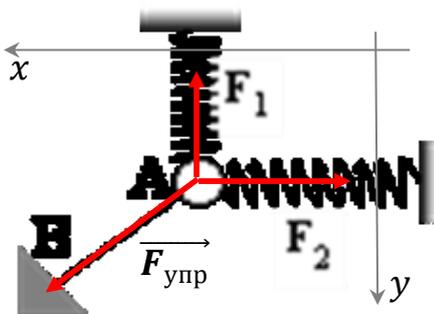
Если рассматривается движение системы тел, то уравнения движения нужно записать для каждого тела системы. Задача может быть решена лишь тогда, когда число независимых уравнений равно числу неизвестных. В число неизвестных, кроме величин, которые требуется найти по условию задачи, часто входят еще силы реакции опоры, натяжения подвеса и другие силы, возникающие при взаимодействии тел системы. Рассматривая уравнения движения совместно с кинематическими соотношениями, вытекающими из связей, накладываемых на перемещения тел, мы получаем систему уравнений, число которых совпадает с числом неизвестных.

Пример 1.

Ученик собрал на столе установку (см. рис.). Тело А под действием трех сил находится в равновесии. Чему равна сила упругости нити АВ, если силы $F_1 = 3 \text{ Н}$ и $F_2 = 4 \text{ Н}$ перпендикулярны друг другу?



Решение:



$$\vec{F}_{\text{упр}} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$$

$$Ox: F_{\text{упр},x} - F_2 = 0 \Rightarrow F_{\text{упр},x} = F_2$$

$$Oy: F_{\text{упр},y} - F_1 = 0 \Rightarrow F_{\text{упр},y} = F_1$$

$$F_{\text{упр}} = \sqrt{F_{\text{упр},x}^2 + F_{\text{упр},y}^2}$$

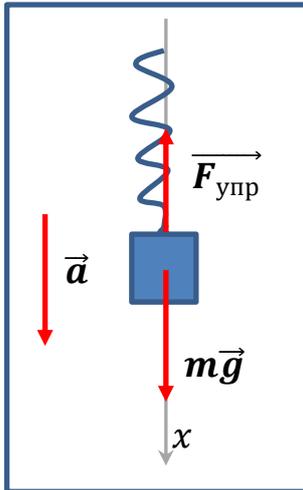
$$F_{\text{упр}} = \sqrt{F_2^2 + F_1^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Н}$$

Ответ: 5 Н.

Пример 2.

Груз массой 4 кг подвешен к укрепленному в лифте динамометру. Лифт начинает спускаться с верхнего этажа с постоянным ускорением. Показания динамометра при этом равны 36 Н. Чему равно ускорение лифта?

Решение:



$$\vec{F}_{\text{упр}} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$\text{Ox: } mg - F_{\text{упр}} = ma \Rightarrow a = g - \frac{F_{\text{упр}}}{m}$$

$$a = 10 - \frac{36}{4} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\text{Ответ: } a = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Пример 3.

Сила гравитационного притяжения между двумя шарами, находящимися на расстоянии 2 м друг от друга, равна 9 нН. Какова будет сила (нН) притяжения между ними, если расстояние увеличить до 6 м?

Решение:

$$F_1 = G \frac{m_1 \cdot m_1}{r_1^2}; F_2 = G \frac{m_1 \cdot m_1}{r_2^2}$$

$$r_1 = 2 \text{ м и } r_2 = 6 \text{ м} \Rightarrow r_2 = 3r_1$$

$$F_2 = G \frac{m_1 \cdot m_1}{(3r_1)^2} = G \frac{m_1 \cdot m_1}{9r_1^2} = \frac{F_1}{9} = \frac{9}{9} = 1 \text{ нН}$$

Ответ: $F_2 = 1 \text{ нН}$.

Пример 4.

Деревянный брусок массой 0,3 кг покоится на деревянной наклонной плоскости, образующей угол 30° с горизонтом. Какова сила трения, действующая на брусок?

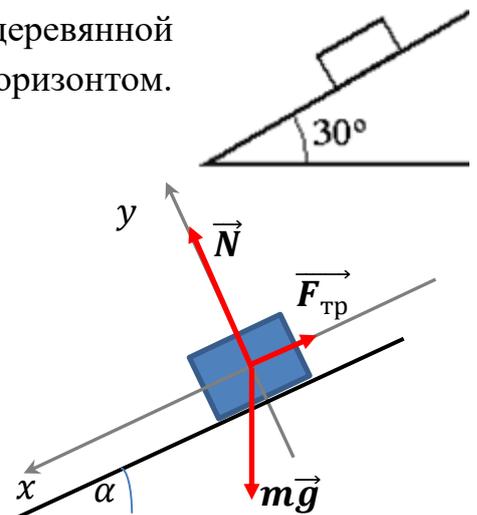
Решение:

По 2-му закону Ньютона:

$$\vec{F}_{\text{тр}} + m\vec{g} + \vec{N} = 0$$

$$\text{Ox: } mg \cdot \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0 \Rightarrow$$

$$F_{\text{тр}} = mg \cdot \sin \alpha$$



$$F_{\text{тр}} = 0,3 \cdot 10 \cdot \sin 30^\circ = 1,5 \text{ Н}$$

Ответ: $F_{\text{тр}} = 1,5 \text{ Н}$

Пример 5.

Средняя плотность планеты Плюк равна средней плотности Земли, а первая космическая скорость для Плюка в 2 раза больше, чем для Земли. Чему равно отношение периода обращения спутника, движущегося вокруг Плюка по низкой круговой орбите, к периоду обращения аналогичного спутника Земли? Объем шара пропорционален кубу радиуса ($V \sim R^3$).

Решение:

Первая космическая скорость:

$$V_{1\text{к}} = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R}}$$

Где массу планеты выразим через плотность и объём:

$$M = \rho \cdot V$$

Из условия $V \sim R^3$, то есть $V = \alpha \cdot R^3$, где α – коэффициент пропорциональности.

$$M = \rho \cdot \alpha \cdot R^3$$

$$V_{1\text{к}} = \sqrt{\frac{G \cdot \rho \cdot \alpha \cdot R^3}{R}} = R \cdot \sqrt{G \cdot \rho \cdot \alpha}$$

Найдём период обращения спутника:

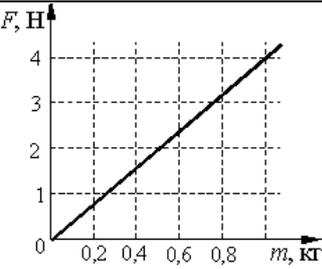
$$T = \frac{2\pi R}{V_{1\text{к}}} = \frac{2\pi R}{R \cdot \sqrt{G \cdot \rho \cdot \alpha}} = \frac{2\pi}{\sqrt{G \cdot \rho \cdot \alpha}}$$

Следовательно

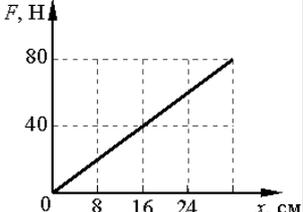
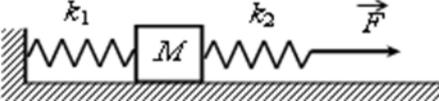
$$\frac{T_{\text{Плюка}}}{T_{\text{Земли}}} = \frac{2\pi}{\sqrt{G \cdot \rho_{\text{Плюка}} \cdot \alpha}} : \frac{2\pi}{\sqrt{G \cdot \rho_{\text{Земли}} \cdot \alpha}} = \sqrt{\frac{\rho_{\text{Земли}}}{\rho_{\text{Плюка}}}} = 1$$

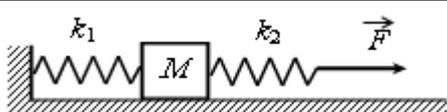
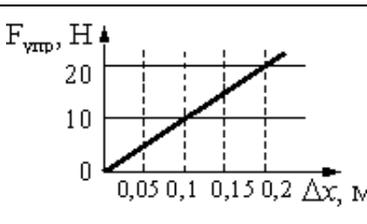
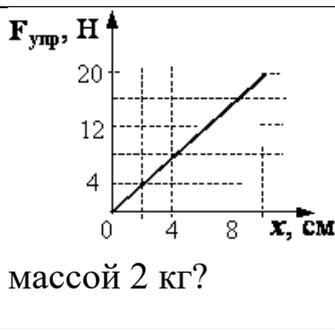
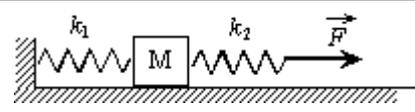
Ответ: $\frac{T_{\text{Плюка}}}{T_{\text{Земли}}} = 1$

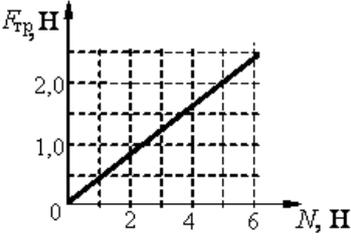
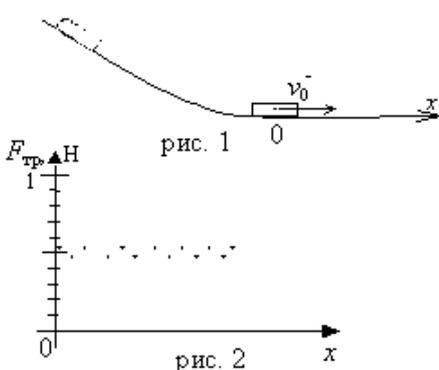
Задачи для самостоятельного решения

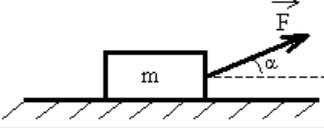
1	<p>На графике показана зависимость силы тяжести от массы тела для некоторой планеты. Ускорение свободного падения на этой планете равно</p>		4 м/с ²
2	<p>Расстояние от спутника до центра Земли равно трём радиусам Земли. Во сколько раз уменьшится сила притяжения спутника к Земле, если расстояние от него до центра Земли станет равным шести радиусам Земли?</p>	4	
3	<p>Сила притяжения Земли к Солнцу в 22,5 раза больше, чем сила притяжения Марса к Солнцу. Во сколько раз расстояние между Марсом и Солнцем больше расстояния между Землёй и Солнцем, если масса Земли в 10 раз больше массы Марса?</p>	1,5	
4	<p>У поверхности Луны на космонавта действует сила тяготения 120 Н. Какая сила тяготения действует со стороны Луны на того же космонавта в космическом корабле, движущемся по круговой орбите вокруг Луны на расстоянии трех лунных радиусов от ее центра? Ответ записать в (Н), округлив до целых.</p>	13 Н	
5	<p>Две планеты с одинаковыми массами обращаются по круговым орбитам вокруг звезды. Для первой из них сила притяжения к звезде в 4 раза больше, чем для второй. Каково отношение R_1/R_2 радиусов орбит первой и второй планет?</p>	0,5	
6	<p>Масса Марса составляет 1/10 массы Земли, а расположен он в 1,5 раза дальше от Солнца, чем Земля. Во сколько раз сила притяжения Земли к Солнцу больше силы притяжения Марса к Солнцу? (Считать, что обе планеты движутся вокруг Солнца по окружностям.)</p>	22,5	
7	<p>На каком расстоянии от центра Земли силы притяжения космического корабля к Земле и Луне уравниваются друг друга? Масса Луны в 81 раз меньше Массы Земли, а расстояние между их центрами в 60 раз больше радиуса Земли. Ответ дать в радиусах Земли, округлить до целых</p>	54	

8	Средняя плотность планеты Плюк равна средней плотности Земли, а радиус Плюка в два раза больше радиуса Земли. Во сколько раз первая космическая скорость для Плюка больше, чем для Земли?	2														
9	Искусственный спутник обращается вокруг планеты по круговой орбите радиусом 4000 км со скоростью 3,4 км/с. Ускорение свободного падения на поверхности планеты равно 4 м/с^2 . Чему равен радиус планеты? Ответ дать в километрах.	3400 км														
10	Расстояние между центрами двух шаров равно 1 м, масса каждого шара 1 кг. Сила всемирного тяготения между ними примерно равна. Ответ дать в 10^{-11} Н , округлить до десятых.	6,7														
11	Космонавт на Земле притягивается к ней с силой 700 Н. С какой приблизительно силой он будет притягиваться к Марсу, находясь на его поверхности, если радиус Марса в 2 раза, а масса – в 10 раз меньше, чем у Земли?	280 Н														
12	Космический корабль движется вокруг Земли по круговой орбите радиусом $2 \cdot 10^7 \text{ м}$. Чему равна его скорость? Радиус Земли 6400 км, ответ выразить в км/с и округлить до десятых.	4,5 км/с														
13	Во сколько раз сила притяжения Земли к Солнцу больше силы притяжения Меркурия к Солнцу? Масса Меркурия составляет $1/18$ массы Земли, а расположен он в 2,5 раза ближе к Солнцу, чем Земля. Округлить до десятых.	2,9														
14	<p>При выполнении лабораторной работы по исследованию зависимости силы упругости пружины от её удлинения ученик составил следующую таблицу.</p> <table border="1" data-bbox="311 1579 877 1736"> <tr> <td>$F, \text{ Н}$</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>$x, \text{ см}$</td> <td>0</td> <td>2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> </tr> </table> <p>Определите силу упругости пружины при удлинении $x=5 \text{ см}$.</p>	$F, \text{ Н}$	0	1	2	3	4	5	$x, \text{ см}$	0	2	4	6	8	10	2,5 Н
$F, \text{ Н}$	0	1	2	3	4	5										
$x, \text{ см}$	0	2	4	6	8	10										
15	<p>Кубик массой 1 кг покоится на гладком горизонтальном столе, сжатый с боков пружинами (см. рисунок). Первая пружина сжата на 4 см, а вторая сжата на 3 см. Жёсткость второй пружины $k_2=600 \text{ Н/м}$. Чему равна жёсткость первой пружины k_1?</p> 	450 Н/м														

	Ответ: __ Н/м	
16	<p>Кубик массой 1 кг покоится на гладком горизонтальном столе, сжатый с боков пружинами (см. рисунок). Первая пружина сжата на 4 см, а вторая сжата на 3 см. Вторая пружина действует на кубик силой 12 Н. Чему равна жёсткость первой пружины k_1? Ответ: __ Н/м</p>	 <p>300 Н/м</p>
17	<p>Первая пружина жёсткостью 200 Н/м растянута силой 8 Н. Какую силу необходимо приложить к пружине жёсткостью 400 Н/м, чтобы удлинение этих пружин стало одинаковым? Ответ: __ Н.</p>	16 Н
18	<p>На рисунке представлен график зависимости модуля силы упругости от удлинения пружины. Какова жёсткость пружины. Ответ: __ Н/м.</p>	 <p>250 Н/м</p>
19	<p>Под действием силы 4 Н, приложенной к свободному концу упругой пружины, она удлинилась на 5 см. Какую силу необходимо приложить к этой пружине, чтобы растянуть её на 6 см? Ответ: __ Н.</p>	4,8 Н
20	<p>Пружина под действием груза, подвешенного к ней, удлинилась на 2 см. Этот же груз подвесили к пружине с вдвое большей жёсткостью. Удлинение второй пружины оказалось равным __ см.</p>	1 см
21	<p>В Вашем распоряжении динамометр и линейка. Растянув пружину динамометра на 5 см, Вы обнаружили, что его показания равны 2 Н. Какова жёсткость пружины динамометра? Ответ: __ Н/м.</p>	40 Н/м
22	<p>К системе из кубика массой 1 кг и двух пружин приложена постоянная горизонтальная сила \vec{F} (см. рисунок). Между кубиком и опорой трения нет. Система покоится. Жесткости пружин равны $k_1 = 400$ Н/м и $k_2 = 200$ Н/м. Удлинение первой пружины равно 2 см. Насколько растянута вторая пружина? Ответ дать в сантиметрах.</p>	 <p>4 см</p>

23	<p>К системе из кубика массой 1 кг и двух пружин приложена постоянная горизонтальная сила величиной $F = 9$ Н (см. рисунок). Система покоится. Между кубиком и опорой трения нет. Левый край первой пружины прикреплен к стенке. Жёсткость первой пружины $k_1 = 300$ Н/м. Жёсткость второй пружины $k_2 = 600$ Н/м. Насколько растянута вторая пружина? Ответ дать в сантиметрах.</p>		1,5 см
24	<p>На рисунке представлен график зависимости силы упругости пружины от величины ее деформации. Жесткость этой пружины равна ___ Н/м.</p>		100 Н/м
25	<p>К пружине школьного динамометра длиной 5 см подвешен груз массой 0,1 кг. При этом пружина удлинилась на 2,5 см. Каким будет удлинение пружины (см) при добавлении еще двух грузов по 0,1 кг?</p>	7,5 см	
26		<p>По результатам исследования построен график зависимости модуля силы упругости пружины от ее деформации (см. рисунок). Каким будет удлинение пружины (см) при подвешивании груза массой 2 кг?</p>	10 см
27	<p>Две пружины растягиваются одинаковыми силами F. Жесткость первой пружины k_1 в 1,5 раза больше жесткости второй пружины k_2. Удлинение второй пружины равно Δl_2, а удлинение первой Δl_1. Чему равно отношение $\Delta l_2/\Delta l_1$</p>	1,5	
28	<p>Под действием груза пружина удлинилась на 1 см. Этот же груз подвесили к пружине с вдвое большей жесткостью. Удлинение пружины стало равным ___ см.</p>	0,5 см	
29	<p>К системе из кубика массой 1 кг и двух пружин приложена постоянная горизонтальная сила \vec{F} (см. рисунок). Между кубиком и опорой трения нет. Левый край первой пружины прикреплен к стенке. Система покоится. Жесткость первой пружины $k_1 = 300$ Н/м. Жесткость второй пружины</p>		6 Н

	$k_2 = 600 \text{ Н/м}$. Удлинение первой пружины равно 2 см. Модуль силы F равен	
30	Санки массой 5 кг скользят по горизонтальной дороге. Сила трения скольжения их полозьев о дорогу 6 Н. Каков коэффициент трения скольжения саночных полозьев о дорогу? Ответ округлить до сотых.	0,12
31	При исследовании зависимости силы трения скольжения $F_{\text{тр}}$ бруска от силы нормального давления получен график, представленный на рисунке. Определите коэффициент трения. Ответ округлить до сотых.	0,4
		
32	На горизонтальном полу стоит ящик массой 10 кг. Коэффициент трения между полом и ящиком равен 0,25. К ящику в горизонтальном направлении прикладывают силу 16 Н, и он остается в покое. Какова сила трения между ящиком и полом?	16 Н
33	Конькобежец массой 70 кг скользит по льду. Какова сила трения, действующая на конькобежца, если коэффициент трения скольжения коньков по льду равен 0,02?	14 Н
34	При движении по горизонтальной поверхности на тело массой 40 кг действует сила трения скольжения 10 Н. Какой станет сила трения скольжения после уменьшения массы тела в 5 раз, если коэффициент трения не изменится?	2 Н
35	После удара клюшкой шайба массой 0,15 кг скользит по ледяной площадке. Её скорость при этом меняется в соответствии с уравнением $V = 20 - 3t$. Коэффициент трения шайбы о лед равен	0,3
36	Ученик исследовал движение бруска массой 0,1 кг по столу после разгона его по наклонной плоскости (рис. 1). Перед пуском тела он измерил силу трения между бруском и столом в разных местах (рис. 2). На каком расстоянии от	30 см
		

	<p>точки О окажется брусок через 0,2 с, если его начальная скорость $v_0 = 2$ м/с? Ответ дать в сантиметрах.</p>	
37	<p>Брусок массой m движется равноускоренно по горизонтальной поверхности под действием силы \vec{F}, как показано на рисунке. Коэффициент трения скольжения равен μ. Чему равен модуль силы трения? Запишите правильный вариант.</p> <div style="text-align: right;">  </div> <p>1) $mg\cos\alpha$</p> <p>2) $F\cos\alpha$</p> <p>3) $\mu(mg - F\sin\alpha)$</p> <p>4) $\mu(mg + F\sin\alpha)$</p>	3