



Виртуальный курс физики

МЕХАНИКА

Лекция 2. Динамика.

ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ, ПОДГОТОВКА К ЕГЭ

Уважаемые друзья!

Вы выбрали Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I и поступили, несомненно, правильно!

Наш университет основан в 1809 году. Это старейший инженерный транспортный вуз России. Это "особенный институт" - так в манифесте назвал его Император Александр I.

Для того, чтобы успешно пройти вступительные испытания и стать студентом одного из лучших технических вузов России, необходимо иметь высокую подготовку по физике.

Как правило, уровень подготовки выпускников школ не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к поступающим в высшие учебные заведения. Повысить этот уровень и качественно подготовиться к вступительным испытаниям по физике в технический университет помогут преподаватели факультета довузовской подготовки.

Факультет довузовской подготовки организует и проводит курсы по подготовке к поступлению в вуз по программам, соответствующим требованиям ЕГЭ.

Занятия проводятся по очной и заочной формам обучения. Занятия по очной форме обучения проводятся в дневное время - с 16.25 (тел. [457-84-04](tel:457-84-04)), и в вечернее время - с 18.00 (тел. [457-87-83](tel:457-87-83)). Мы с удовольствием ответим на все Ваши вопросы.

Факультет довузовской подготовки

***Курс дистанционного обучения по физике
изложен в авторской редакции доцента
Петербургского государственного университе-
та путей сообщения Императора Александра I
Кытина Юрия Александровича***

МЕХАНИКА

Лекция 2.

Тема: Динамика. Сила, масса, импульс. Законы Ньютона. Гравитационные силы. Силы трения. Силы упругости. Закон Гука.

2.1. Сила, масса, импульс

Динамикой называется раздел механики, в котором рассматривается влияние взаимодействий между телами на характер их механического движения. Поэтому при изучении движения тела необходимо рассматривать так же и тела, которые взаимодействуют с ним и влияют на характер его движения. Совокупность тел, рассматриваемых в данной задаче, называется *механической системой тел*.

Сила – векторная физическая величина, которая является количественной мерой механического воздействия на тело, других тел или силовых полей. Сила \vec{F} полностью задана, если заданы её модуль, направление и точка приложения O (рис. 2.1). Прямая $n - n$, вдоль которой направлена сила, называется линией действия силы. Перенос точки приложения силы по линии ее действия не изменяет результат действия этой силы.

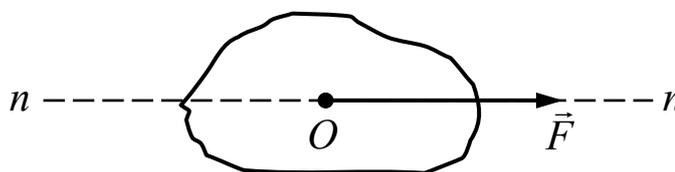


Рис. 2.1

Силы, с которыми тела механической системы взаимодействуют между собой, называются *внутренними силами*. Силы, с которыми тела, не входящие в систему, действуют на тела системы, называются *внешними силами*.

Система тел, на каждое из которых не действуют внешние силы, называется *замкнутой (или изолированной) системой*.

Если на тело действуют несколько сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$ одновременно, то их действие может быть заменено действием одной силы \vec{F} , которая называется *равнодействующей* и равна их геометрической сумме:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i.$$

Проекции равнодействующей силы на оси прямоугольной системы координат равны алгебраическим суммам соответствующих проекций всех сил:

$$F_X = \sum_{i=1}^n F_{iX}, \quad F_Y = \sum_{i=1}^n F_{iY}, \quad F_Z = \sum_{i=1}^n F_{iZ}.$$

Сила в системе СИ измеряется в ньютонах (H).

В отсутствие взаимодействия с другими телами движущееся тело, как показывает опыт, сохраняет свою скорость, а при возникновении таких взаимодействий тело изменяет ее, то есть приобретает ускорение.

Свойство тела сохранять свою скорость в отсутствие взаимодействий и приобретать ускорение при взаимодействии с другими телами называется **инертностью**.

Количественной мерой инертности материальной точки и тела при его поступательном движении является **масса** (или **инертная масса**). Единицей массы в системе СИ служит килограмм ($кг$). Масса является скалярной положительной величиной.

При поступательном движении системы материальных точек или тела их масса может считаться сосредоточенной в одной точке, которая называется **центром масс** или **центром инерции**.

Распределение массы в объеме тела характеризуется **плотностью**. Для однородного тела плотность

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

где m – масса тела, V – его объем. Плотность измеряется в $кг/м^3$.

Импульсом материальной точки называется произведение массы точки на её скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Импульсом системы n материальных точек называется геометрическая сумма импульсов всех точек, входящих в систему:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots + \vec{p}_n = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i$$

Импульсом тела называется произведение массы тела на скорость его центра масс:

$$\vec{p} = m\vec{v}_c.$$

Импульс измеряется в килограмм на метр в секунду ($кг м/с$).

2.2. Законы Ньютона

Первый закон Ньютона: материальная точка сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока внешнее воздействие не изменит этого состояния.

Система отсчета, в которой материальная точка в отсутствии внешних воздействий покоится или движется равномерно и прямолинейно называется **инерциальной системой отсчёта**, а движение точки – **движением по инерции**. Таким образом, первый закон Ньютона устанавливает факт существования инерциальных систем отсчёта.

Второй закон Ньютона: ускорение \vec{a} , приобретаемое материальной точкой в инерциальной системе отсчёта, прямо пропорционально действующей на точку силе \vec{F} , обратно пропорционально массе m точки и совпадает по направлению с вектором силы:

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

В проекциях на оси прямоугольной системы координат второй закон Ньютона выражается соотношениями:

$$a_x = \frac{F_x}{m}, \quad a_y = \frac{F_y}{m}, \quad a_z = \frac{F_z}{m}.$$

В другой, более общей формулировке, второй закон Ньютона связывает между собой силу, действующую на тело и изменение импульса тела:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t},$$

где $\Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0$ – изменение импульса точки или тела за промежуток времени Δt , в течение которого на тело действовала сила.

Произведение силы \vec{F} на длительность промежутка времени Δt её действия называется **импульсом силы**. С использованием понятия импульса силы $\vec{F}\Delta t$ второй закон Ньютона может быть сформулирован следующим образом: **импульс силы, действующий на тело в инерциальной системе отсчёта, численно равен изменению импульса точки или тела:**

$$\vec{F}\Delta t = \Delta \vec{p}.$$

Если на материальную точку или тело действуют несколько сил одновременно, то под силой \vec{F} во втором законе Ньютона следует понимать равнодействующую этих сил.

При движении материальной точки или тела по окружности ускорением \vec{a} во втором законе Ньютона является центростремительное ускорение. Равнодействующая всех сил, обеспечивающих это ускорение, направлена к центру окружности и называется **центростремительной силой**.

Третий закон Ньютона: две материальные точки в инерциальной системе отсчёта действуют друг на друга с силами, равными по модулю и противоположными по направлению:

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

где \vec{F}_{12} – сила, действующая на первую точку со стороны второй, \vec{F}_{21} – сила, действующая со стороны второй точки на первую.

2.3. Гравитационные силы

Закон всемирного тяготения: две материальные точки притягиваются друг к другу с силами, прямо пропорциональными их массам m_1 и m_2 и обратно пропорциональной квадрату расстояния r между ними:

$$F_{\text{тяг}} = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где G – гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

Сила тяжести – сила, действующая на тело вследствие его притяжения к Земле. Точка, в которой приложена сила тяжести, называется **центром тяжести тела**.

В системе отсчета, связанной с Землей, движение тела с высоты h над поверхностью Земли, совершаемое телом только под действием силы тяжести $\vec{F}_{\text{тяг}}$, происходит с **ускорением свободного падения** \vec{g} . В соответствии со вторым законом Ньютона

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_{\text{тяг}}}{m},$$

где m – масса тела.

Так как векторы $\vec{F}_{\text{тяг}}$ и \vec{g} совпадают по направлению, модуль ускорения свободного падения

$$g = \frac{F_{\text{тяг}}}{m},$$

а его зависимость от высоты h над поверхностью Земли с учетом закона всемирного тяготения выражается следующим образом:

$$g = G \frac{M_3}{(R_3 + h)^2},$$

где M_3 и R_3 – масса и радиус Земли.

Вес тела – сила, с которой тело, вследствие притяжения к Земле, действует на горизонтальную опору или вертикальный подвес, удержи-

вающие его от свободного падения. Вес тела приложен к опоре или подвесу. По модулю вес равен силе реакции опоры или силе натяжения подвеса и зависит от характера движения тела относительно Земли:

а) Тело вместе с опорой движется равномерно и прямолинейно по вертикали (рис. 2.2, а). На тело действует сила тяжести $m\vec{g}$ и реакция опоры \vec{N} . Так как движение является равномерным, его ускорение $\vec{a} = 0$ и в соответствии со вторым законом Ньютона

$$\vec{N} + m\vec{g} = 0.$$

В проекциях на ось координат OY , совпадающую с направлением движения, это уравнение запишется следующим образом:

$$N - mg = 0 \text{ или } N = mg.$$

Вес тела P приложен к опоре и равен по модулю силе реакции опоры N , поэтому

$$P = mg$$

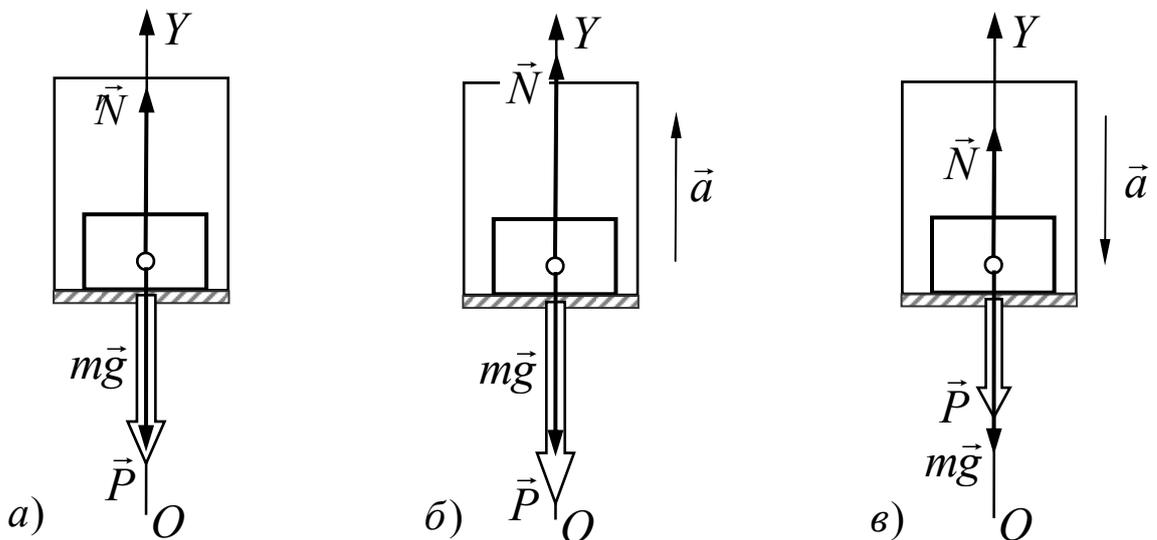


Рис. 2.2

б) Тело вместе с опорой движется по вертикали с ускорением \vec{a} , направленным вверх (рис. 2.2, б). В этом случае второй закон Ньютона в векторном виде и в проекциях на ось координат, совпадающую по направлению с вектором \vec{a} , запишется следующим образом:

$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a} \text{ или } N - mg = ma, \text{ откуда } N = m(g + a).$$

Отсюда следует, что вес тела будет равен:

$$P = m(g + a).$$

в) Тело вместе с опорой движется по вертикали с ускорением \vec{a} , направленным вниз (рис. 2.2, в). В этом случае второй закон Ньютона в векторном виде и в проекциях на ось координат, совпадающую по направлению с вектором \vec{a} , запишется так:

$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}; \quad mg - N = ma \quad \text{или} \quad N = m(g - a).$$

Следовательно, модуль веса тела

$$P = m(g - a).$$

Таким образом, при движении тела по вертикали его вес

а) равен силе тяжести ($P = mg$), если тело движется равномерно;

б) больше силы тяжести ($P > mg$), если тело движется с ускорением \vec{a} , направленным вверх, тело при этом испытывает **перегрузку**;

в) меньше силы тяжести ($P < mg$), если тело движется с ускорением \vec{a} , направленным вниз. В этом случае, если $a=g$, то $P=0$, и имеет место **состояние невесомости**, при котором на тело действует только сила тяжести.

Если телу, находящемуся на высоте h над поверхностью Земли сообщить начальную скорость \vec{v} в горизонтальном направлении, то оно вследствие того, что Земля имеет сферическую форму, одновременно с продвижением в направлении вектора скорости будет под действием силы тяжести приближаться к поверхности Земли (рис. 2.3).

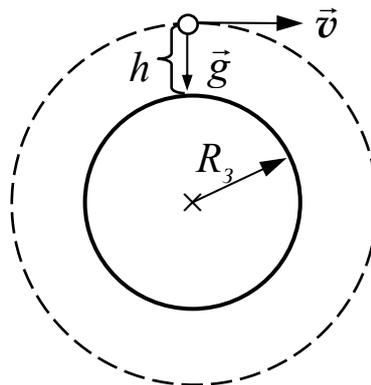


Рис. 2.3

При определенном значении скорости \vec{v} поверхность Земли, из-за ее кривизны, будет удаляться от тела как раз на столько, на сколько тело приближается к Земле благодаря притяжению к ней и тело будет двигаться на постоянном расстоянии h от поверхности Земли, т.е. по окружности радиусом $(R_3 + h)$, с центростремительным ускорением,

$$a_n = \frac{v^2}{(R_3 + h)},$$

которое сообщает телу массой m гравитационная сила

$$F_{\text{тяг}} = G \frac{mM_3}{(R_3 + h)^2}.$$

По второму закону Ньютона

$$F_{\text{тяг}} = ma_n$$

или

$$G \frac{mM_3}{(R_3 + h)^2} = m \frac{v^2}{(R_3 + h)},$$

откуда следует, что

$$v = \sqrt{G \frac{M_3}{(R_3 + h)}}.$$

Первая космическая скорость – это скорость, которую нужно сообщить телу, чтобы оно обращалось вокруг Земли как искусственный спутник.

Первая космическая скорость для спутника, движущегося по орбите на высоте $h \ll R_3$, будет равна:

$$v = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}} = \sqrt{gR_3}.$$

С использованием численных значений величин g и R_3 значение первой космической скорости получается равным $v \approx 8 \cdot 10^3 \text{ м/с}$.

2.4. Силы трения

Трением (внешним трением) называется взаимодействие между поверхностями соприкасающихся тел, которое препятствует их перемещению друг относительно друга.

Трение, при котором между поверхностями соприкасающихся тел отсутствует жидкая или газовая прослойка, называется **сухим трением**.

Трение, возникающее при отсутствии относительного перемещения соприкасающихся тел, называется **трением покоя**.

Сила $\vec{F}_{\text{тр}0}$, препятствующая возникновению относительного перемещения тел вдоль соприкасающихся поверхностей, называется **силой трения покоя**.

Сила трения покоя растет с ростом внешней силы $\vec{F}_{\text{внеш}}$, приложенной к одному из тел, от нуля до некоторого максимального значения $F_{\text{тр}0}^{\text{max}}$, после достижения которого начинается относительное перемещение тел.

Максимальная сила трения покоя $F_{\text{тр}0}^{\text{max}}$ прямо пропорциональна силе нормального давления:

$$F_{\text{тр}0}^{\text{max}} = \mu_0 P_{\text{д}},$$

где $P_{\text{д}}$ — модуль силы нормального давления, действующей со стороны тела на опору (рис. 2.4) и равной по модулю силе N реакции опоры;

μ_0 — **коэффициент трения покоя**, зависящий от материала соприкасающихся тел, степени обработки их поверхностей и внешних условий.

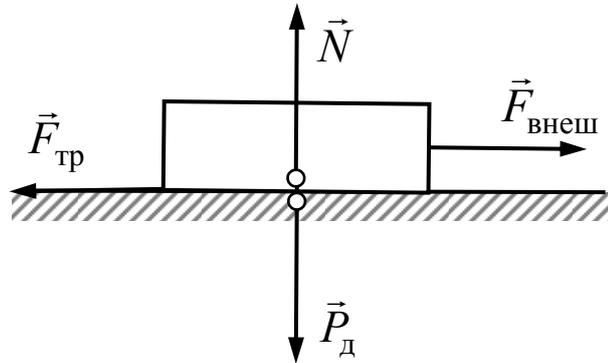


Рис. 2.4

Трение, возникающее при относительном смещении соприкасающихся тел, называется **трением скольжения**, а сила $\vec{F}_{\text{тр}}$, возникающая при этом и препятствующая относительному перемещению тел, называется **силой трения скольжения**. Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления, а так как $P_{\text{д}} = N$, то

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где μ — коэффициент трения скольжения, зависящий от тех же факторов, что и коэффициент трения покоя, а также от относительной скорости движения соприкасающихся тел. Опыт показывает, что $\mu_0 > \mu$.

2.5. Силы упругости. Закон Гука

Под воздействием внешних сил тела могут изменять свою форму и размеры. Такие изменения называются **деформациями**. При деформациях частицы тела смещаются из положений равновесия. Этому смещению препятствуют силы, с которыми частицы взаимодействуют между собой, то есть в теле возникают внутренние силы, препятствующие деформации. Эти силы называются **силами упругости**.

Деформации, которые исчезают после того, как действие внешних сил прекращается, называются **упругими деформациями**.

Деформации, которые не исчезают или исчезают частично после прекращения действия внешних сил, называются **неупругими или пластичными**.

Количественно деформации оцениваются абсолютными и относительными значениями. Так, линейные одномерные деформации (растяжение и сжатие), характеризуются **вектором удлинения (сжатия) $\Delta \vec{l}$** (рис.2.5), модуль которого $\Delta l = l - l_0$ называется **абсолютным удлинением (сжатием)**.

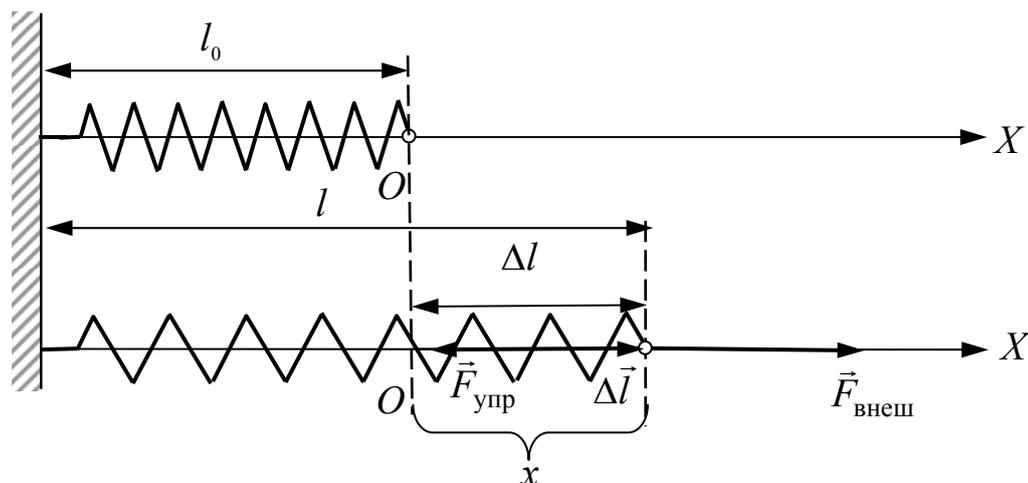


Рис. 2.5

Отношение абсолютного удлинения (сжатия) Δl к первоначальной длине l_0 называется **относительной деформацией**:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

Отношение силы упругости $F_{\text{упр}}$ к площади поперечного сечения S деформируемого тела, перпендикулярного направлению силы, называется **нормальным напряжением**:

$$\sigma_n = \frac{F_{\text{упр}}}{S}.$$

Силы упругости, возникающие при упругих линейных деформациях, подчиняются опытному **закону Гука**: *сила упругости пропорциональна вектору удлинения и противоположна ему по направлению*:

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta \vec{l},$$

где k – **коэффициент упругости**, значение которого зависит от материала, линейных размеров и формы деформируемого тела.

В проекциях на ось координат, совпадающей с осью деформируемого тела и направлением внешней силы, закон Гука записывается следующим образом:

$$F_{\text{упр}X} = -kx.$$

В другой формулировке закон Гука связывает между собой нормальное напряжение σ_n , возникающее при упругом удлинении (сжатии), и относительную деформацию ε :

$$\sigma_n = E\varepsilon,$$

где E – **модуль Юнга**, значение которого зависит от материала деформируемого тела.

Сила упругости, действующая на тело со стороны опоры или подвеса, называется **силой реакции опоры** \vec{N} или **силой натяжения подвеса** \vec{T} .

На рис. 2.6 приведены примеры приложения сил реакций опоры и сил натяжения подвесов.

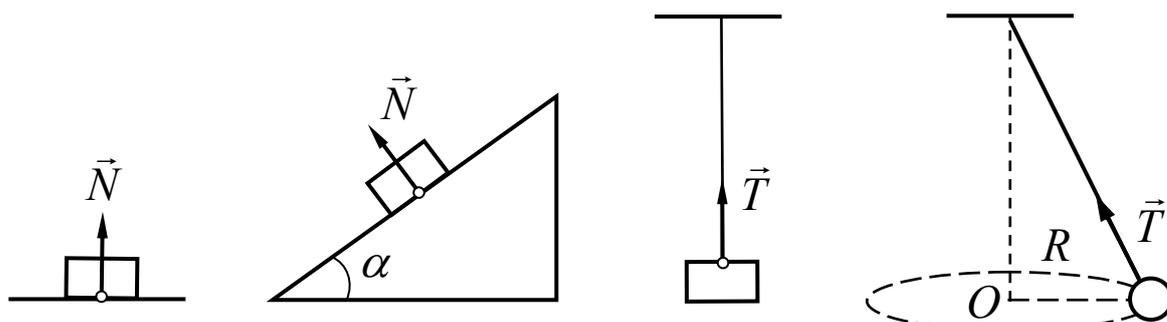


Рис. 2.6

От авторов

Возникли трудности в усвоении теоретического курса или в его применении при решении конкретных задач, тестов – записывайтесь на наши курсы и мы поможем Вам подойти к экзамену во всеоружии.

Наш адрес:

190031, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 9, ПГУПС, факультет довузовской подготовки.

Наши телефоны отдела заочной формы обучения:

8 (931) 214-51-45;

8 (812) 457-88-07 .