Министерство образования и науки Российской Федерации
Муромский институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(МИ ВлГУ)**

Отделение среднего профессионального образования

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА»

для студентов специальности 15.02.08 Технология машиностроения

Составитель: Королёва Л.Ю.

Муром 2017 г.

Данная работа содержит методические указания к практическим работам по дисциплине «Физика» и предназначена для обучающихся по специальностям среднего профессионального образования.

Цель разработки: оказание помощи обучающимся в выполнении практических работ по предмету «Физика».

Содержание

АННОТАЦИЯ

Решение задач имеет исключительно большое значение при изучении курса физики. Анализ и решение задач позволяют понять и усвоить основные физические законы, выяснить границы их применение. Задачи развивают навыки использования общих законов материального мира для решения конкретных вопросов, имеющих практическое, прикладное значение. Умение решать задачи является критерием оценки глубины изучения программного материала.

Данные методические указания содержат рекомендации к решению типовых задач по разделам «Основы термодинамики» и «Основы молекулярно-кинетической теории» и ориентированы на учащихся, желающих повысить свои умения и навыки в решении задач по физике.

В методических указаниях рассмотрены общие подходы к решению задач по физике, алгоритмические предписания, предназначенные для решения задач, относящихся к отдельным разделам и темам курса, приведены примеры решения задач, задачи для самостоятельного решения, основные законы и формулы и другие справочные материалы, относящиеся к перечисленным выше разделам курса физики.

Задачи, разобранные в методических указаниях, а также задачи, предлагаемые для самостоятельного решения, взяты, в основном, из сборника задач по физике для проведения выпускных экзаменов за курс средней школы, тестирования, вступительных экзаменов в высшие учебные заведения.

Методические указания составлены в соответствии с действующей типовой учебной программой и тематическим планированием по физике для учреждений, обеспечивающих получение профессионально-технического и среднего специального образования.

Собранные методические материалы призваны оказать помощь учащимся при подготовке к выполнению обязательных и тематических контрольных работ, а также при подготовке к сдаче экзамена по физике. Кроме того, данные методические указания могут быть использованы при проведении факультативных занятий в рамках курса «Физика: методы решения задач».

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Сущность процесса решения задач по физике заключается в нахождении физических закономерностей (законов), лежащих в основе явлений, о которых говориться в задаче, и применении этих законов к конкретной физической ситуации.

Процесс решение задачи можно разбить на следующие этапы.

I. Чтение и восприятие условия задачи.

В ходе этого этапа необходимо:

прочитать текст задачи;

определить содержание незнакомых терминов и понятий;

выделить явление, описанное в задаче;

уточнить: какие данные известны по условию задачи, а какие данные нужно определить в ходе ее решения.

II. Краткая запись условия задачи.

* Попробуйте пересказать условие задачи по его краткой записи.

III. Перевод заданных значений физических величин в Международную систему единиц (СИ).

* В некоторых случаях допускается использование внесистемных единиц.

IV. Анализ задачной ситуации.

В ходе этого этапа необходимо:

выделить объекты, описанные в задаче;

выявить, какие изменения (процессы) с ними происходят;

выявить причины этих изменений;

выявить начальные и конечные состояния объектов;

выявить постоянные и переменные параметры и др.;

выполнить поясняющий рисунком, схему, чертежом либо провести опыт, при помощи которого можно прояснить себе задачную ситуацию;

если это необходимо выбрать систему отсчета, изобразить силы, действующие на тела и т.д.;

создать идеальную физическую модель реальной задачной ситуации, т.е.

абстрагироваться от реальных условий, определить, что в данной задаче является существенным, а, что второстепенным, что можно упростить и чем можно пренебречь.

* Некоторые из таких допущений прямо оговариваются в условии задачи, другие нужно сделать самостоятельно (например: трение не учитывать; газ считать идеальным.).

Выявить ограничивающие факторы с учетом того, что физические закономерности, которые используются для решения задач, имеют определенные границы применимости (например, размерами тела пренебречь; электрические заряды считать точечными, систему отсчета, связанную с Землей, считать инерциальной и т. д.).

V. Создание математической модели решения задачи.

В ходе этого этапа необходимо:

составить план решения;

записать основные уравнения (уравнения, отражающие физические закономерности);

при необходимости записать дополнительные уравнения, отражающие специфику рассматриваемой задачной ситуации;

провести преобразование полученной системы уравнений, выразить искомую величину, т. е. решить задачу в общем виде.

VI. Вычисление искомой величины.

В ходе этого этапа необходимо:

подставить в расчетную формулу численные значения величин с единицами их измерения, либо

выполнить проверку полученного выражения искомой величины по единицам измерения, что позволит подставлять в расчетную формулу только численные значения физических величин.

VII. Проверка и анализ полученного результата.

В ходе этого этапа можно:

оценить реальность полученного результата;

выполнить проверку полученного выражения искомой величины по единицам измерения, если это не было сделано ранее;

решить задачу другим способом, если это возможно;

проверить, как изменяется результат при учете тех факторов, которыми пренебрегли при построении физической модели задачной ситуации;

проверить результат экспериментально.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Кинематика точки и твёрдого тела

Траектория - это линия, вдоль которой движется тело.

Путь - это сумма длин всех участков траектории, последовательно проходимых телом при движении. Обозначается либо *ΔS*, если речь идет об участке траектории, либо *S*, если речь идет о всей траектории наблюдаемого движения. Иногда (редко) путь обозначают и другой буквой, например, *L* (только не обозначайте его как *r*, мы уже об этом говорили). Путь в процессе движения может только увеличиваться.

Средняя скорость перемещения V_{cp} - это вектор, определяемый выражением

$$V_{cp} = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

Мгновенная скорость перемещения V - это вектор, определяемый выражением

$$V = \frac{dr}{dt}$$

Средняя скорость пути V_{cp} - это скаляр, определяемый выражением

$$V_{cp} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Мгновенная скорость пути V - это скаляр, определяемый выражением

$$V = \frac{ds}{dt}$$

Модуль мгновенной скорости перемещения и **мгновенная скорость пути** - это одно и то же, поскольку $dr = ds$.

Среднее ускорение a_{cp} - это вектор, определяемый выражением

$$a_{cp} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Мгновенное ускорение (или просто, ускорение) a - это вектор, определяемый выражением

$$a = \frac{dv}{dt}$$

Касательное (*тангенциальное*) **ускорение** a_τ (нижний индекс - это греческая строчная буква тау) - это вектор, являющийся векторной проекцией мгновенного ускорения на касательную ось.

Нормальное (*центростремительное*) **ускорение** a_n - это вектор, являющийся векторной проекцией мгновенного ускорения на ось нормали.

Модуль касательного ускорения

$$|a\tau| = \frac{dv}{dt}$$

то есть это - производная модуля мгновенной скорости по времени.

Модуль нормального ускорения

$$|a_n| = \frac{v^2}{r}$$

где r - величина радиуса кривизны траектории в точке нахождения тела.

$a\tau$ и an являются векторными проекциями полного ускорения a на касательную ось и ось нормали соответственно,

a_τ - проекция (скалярная) касательного ускорения на касательную ось,

a_n - проекция (скалярная) нормального ускорения на ось нормали,

$|a_\tau|$ - модуль вектора касательного ускорения,

$|a_n|$ - модуль вектора нормального ускорения.

Мгновенная угловая скорость (или просто, угловая скорость) ω - это вектор, определяемый выражением

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt},$$

где $d\varphi$ - бесконечно малое изменение угловой координаты ($d\varphi$ - вектор).

Мгновенное угловое ускорение (или просто, угловое ускорение) ε - это вектор, определяемый выражением

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$$

Связь между *v, ω* и *r*:

$$v = \omega \times r$$

Связь между *v, ω* и *r*:

$$v = \omega \cdot r$$

Связь между | *aτ* |, *ε* и *r*:

$$|a\tau| = \varepsilon \cdot r$$

Кинематическое уравнение равномерного и **прямолинейного** движения имеет вид:

$$r = r_0 + vt,$$

где r - радиус-вектор объекта в момент времени t, r_0 - то же в начальный момент времени t_0 (в момент начала наблюдений).

Кинематическое уравнение движения с постоянным ускорением имеет вид:

$r = r_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$, где v_0 скорость объекта в момент t_0.

Уравнение для скорости тела при движении с постоянным ускорением имеет вид:

$$v = v_0 + at$$

Кинематическое уравнение равномерного движения по окружности в полярных координатах имеет вид:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_z t,$$

где φ - угловая координата тела в данный момент времени, φ_0 - угловая координата тела в момент начала наблюдения (в начальный момент времени), ω_z - проекция угловой скорости ω на ось Z (обычно эта ось выбирается перпендикулярно плоскости вращения).

Кинематическое уравнение движения по окружности с постоянным ускорением в полярных координатах имеет вид:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_z t + \varepsilon_z \frac{t^2}{2}$$

Кинематическое уравнение гармонических колебаний вдоль оси *X* имеет вид:

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0),$$

где A - амплитуда колебаний, ω - циклическая частота, φ_0 - начальная фаза колебаний.

Проекция скорости точки, колеблющейся вдоль оси *X*, на эту ось равна:

$$v_x = -\omega A\sin(\omega t + \varphi_0)$$

Проекция ускорения точки, колеблющейся вдоль оси *X*, на эту ось равна:

$$a_x = -\omega^2 A\cos(\omega t + \varphi_0)$$

Связь между циклической частотой ω, обычной частотой *f* и периодом колебаний *T*:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$ (π = 3,14 - число пи).

Математический маятник имеет период колебаний T, определяемый выражением:

$$T = 2\cdot\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Кинематика. Формула периода математического маятника.

В числителе подкоренного выражения - длина нити маятника, в знаменателе - ускорение свободного падения

Связь между абсолютной $v_{абс}$, относительной $v_{отн}$ и переносной $v_{пер}$ скоростями:

$$v_{абс} = v_{отн} + v_{пер}$$

Примеры решения задач

Задача. Шарик, размерами которого можно пренебречь, начинает скатываться по наклонной плоскости из состояния покоя. Через 20 сек после начала движения шарик находится от исходного положения на расстоянии 6 м.

Определить ускорение шарика и его скорость в конце 10-й и 20-й сек, а также расстояние, пройденное шариком за первые 10 сек.

Дано: из условия задачи следует, что s_0=0 и v_0=0. Пройденное за t_2=20 сек расстояние s_{20}=6 м. Даны четыре величины.

Найти: требуется определить ускорение шарика (движение прямолинейное, значит определить нужно только a_t), скорости v_{10}, v_{20} и расстояние s_{10}.

Решение

Найдем скорость шарика, которую он приобретает в конце 20-й сек:
$v_{20} = 2s_{20}/t_2$ = 2*6/20 = 0,6 м/сек.

Найдем ускорение шарика, которое он имеет, двигаясь по наклонной плоскости:
$a_t = v_{20}/t_2$ = 0,6/20 = 0,03 м/сек^2.

Теперь можно найти скорость в конце 10-й сек (t_1= 10 сек):
$v_{10} = a_t*t_1$ = 0,03*10 = 0,3 м/сек.

И находим расстояние, пройденное точкой за первые 10 сек:
$s_{10} = a_t*t_1^2/2$ = 0,03*10^2/2 = 1,5 м.

Ответ: v_{20}= 0,6 м/сек; a_t= 0,03 м/сек^2; v_{10} =0,3 м/сек; s_{10}= 1,5 м.

Задача. Дисковая пила 1 имеет диаметр 600 мм. На валу пилы насажен шкив 2 диаметром 300 мм, а шкив соединен бесконечным ремнем со шкивом двигателя 3 (рис. 207) диаметром 120 мм. С какой угловой скоростью должен вращаться шкив двигателя, чтобы скорость зубьев пилы не превышала 15 м/сек?

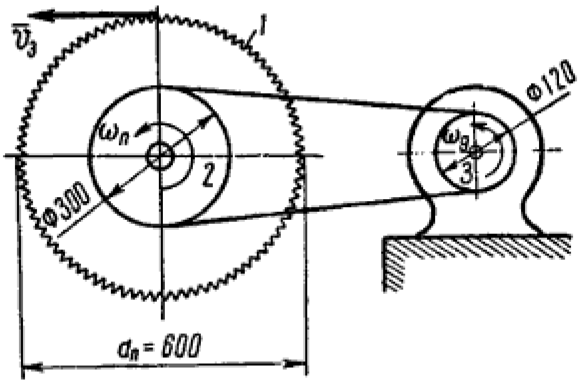


Рис. 207

Решение

1. Так как пила 1 и шкив 2 насажены на одном валу, то они имеют одну и ту же угловую скорость $\omega_п$ и скорость зубьев пилы $v_з$=15 м/сек зависит от $\omega_п$:
$v_з = \omega_п R$ или $v_з = \omega_п d_п/2$,
потому что
$R = d_п/2$.

2. Находим угловую скорость шкива 2, который обеспечивает необходимую рабочую скорость зубьев пилы:
$\omega_п = 2v_з/d_п$ = 2*15/0,6 = 50 рад/сек ($d_п$ = 600 мм = 0,6 м).

3. Теперь найдем угловую скорость $\omega_д$ шкива двигателя.

Шкивы 2 и 3 соединены бесконечным ремнем. Полагая, что ремень не растягивается и не проскальзывает на шкивах, можно считать, что все его точки движутся с одной и той же скоростью $v_р$. Это означает, что скорости точек, расположенных на поверхностях обоих шкивов, одинаковы и равны $v_р$.

Поэтому применим зависимость $v=\omega R$:
$v_р = \omega_п d_2/2 = \omega_д d_3/2$.

Отсюда
$\omega_д = \omega_п d_2/d_3$ = 50*300/120 = 125 рад/сек.

4. Если перевести эту угловую скорость в об/мин, то
$n_д = 30*\omega_д/\pi$ = 30*125/3,14 ≈ 1200 об/мин.

Таким образом, для того чтобы зубья пилы имели скорость 15 м/сек, шкив двигателя должен вращаться с угловой скоростью 125 рад/сек или 1200 об/мин.

Ответ: 1200 об/мин.

Задача. из двух пунктов А и В прямолинейного шоссе, находящихся один от другого на расстоянии 100 км, одновременно выезжают навстречу друг другу два велосипедиста и двигаются с постоянными скоростями. Велосипедист, выезжающий из А, имеет скорость v_A=40 км/ч, а велосипедист, выезжающий из В, – скорость v_B=26 $^2/_3$ км/ч. Определить, за какое время каждый из них проедет расстояние 100 км. Через сколько часов и где они встретятся?

Решение

1. Находим время, затраченное первым велосипедистом на проезд от точки А до В:
$t_{AB} = s_{AB}/v_A$ = 100/40 = 2 $^1/_2$ ч.

2. Находим время, затраченное вторым велосипедистом на проезд от точки В до А:
$t_{BA} = s_{BA}/v_B$ = 100/(26 $^2/_3$) = 3 $^3/_4$ ч.

3. Время и место встречи велосипедистов наиболее просто определить графически. Расстояние между пунктами А и В, равное 100 км, изобразим на оси ординат отрезком в 50 мм (рис. 194), т. е. в масштабе μ_s=2 км/мм (100 км=μ_s*50 мм и μ_s=100 км/50 км=2 км/мм).

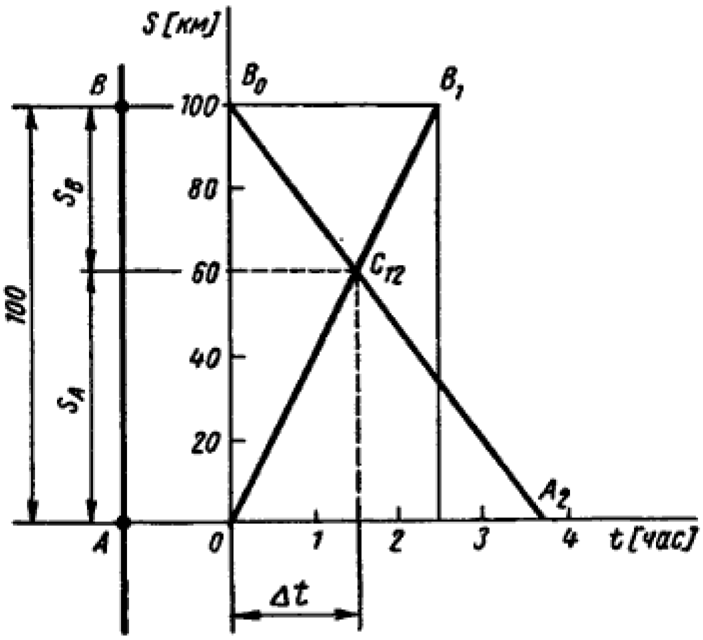


Рис. 194

По оси абсцисс отложим время в масштабе μ_t=0,1 ч/мм (4 часа изображены отрезком 40 мм, поэтому 4 ч=μ_t*40 мм и μ_t=4 ч/40 мм=0,1 ч/мм).

Первый велосипедист расстояние от А до В проезжает за 2,5 ч. Его перемещение изображается на графике прямой OB_1.

Второй велосипедист расстояние от B до A проезжает за 3 $^3/_4$ ч и его перемещение изображается на графике прямой B_0A_2.

Точка C_{12} пересечения обоих графиков указывает место и время встречи. Встреча происходит на расстоянии s_A=60 км от пункта A (или на расстоянии s_B=40 км от пункта B) через Δt=1,5 ч после начала движения велосипедистов.

Если вместо графического решения применить аналитическое, то нужно рассуждать таким образом.

Допустим, что место встречи происходит на расстоянии s от пункта A, а время встречи Δt, считая от начала движения. Тогда уравнение движения первого велосипедиста примет вид
(1) $s = v_A*\Delta t$
и уравнение движения второго велосипедиста
(2) $s = s_0 - v_B*\Delta t$,
где s_0=100 км – расстояние второго велосипедиста от пункта A в момент начала отсчета (при t=0).

Так как левые части уравнения (1) и (2) равны, то
$v_A*\Delta t = s_0 - v_B*\Delta t$.

Отсюда
$\Delta t = s_0/(v_A + v_B)$ = 100/(40 + 26 $^2/_3$) = 1,5 ч.

Из уравнения (1) определяем s:
$s = v_A*\Delta t$ = 40*1,5 = 60 км.

Ответ: встреча происходит на расстоянии s_A=60 км от пункта A, Δt=1,5 ч, s= 60 км.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Законы механики Ньютона

Первый закон Ньютона (*или закон инерции*)

Свойство тел сохранять свою скорость при отсутствии действия на него других тел называется инерцией. Поэтому первый закон Ньютона называют законом инерции.

Формулировка

Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальные точки, когда на них не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

$$V = cons, \text{ при } \sum F = 0$$

Второй закон Ньютона — дифференциальный закон движения, описывающий взаимосвязь между приложенной к материальной точке силой и получающимся от этого ускорением этой точки. Фактически, второй закон Ньютона вводит массу как меру проявления инертности материальной точки в выбранной инерциальной системе отсчёта (ИСО).

Масса материальной точки при этом полагается величиной постоянной во времени и независящей от каких-либо особенностей её движения и взаимодействия с другими телами.

Формулировка

В инерциальной системе отсчёта ускорение, которое получает материальная точка с постоянной массой, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе.

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

где $\vec{a}$ — ускорение материальной точки;
$\vec{F}$ — равнодействующая всех сил, приложенных к материальной точке;
m — масса материальной точки.

Второй закон Ньютона может быть также сформулирован в эквивалентной форме с использованием понятия импульс:

Формулировка

В инерциальной системе отсчета скорость изменения импульса материальной точки равна равнодействующей всех приложенных к ней внешних сил

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F},$$

где $\vec{p} = m\vec{v}$ — импульс точки,

$\vec{v}$ — её скорость, а t — время.

При такой формулировке, как и при предшествующей, полагают, что масса материальной точки неизменна во времени

Когда на материальную точку действуют несколько сил, с учётом принципа суперпозиции, второй закон Ньютона записывается в виде:

$$m\vec{a} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F_i}$$

или,

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^{n} \vec{F_i}$$

Второй закон Ньютона, как и вся классическая механика, справедлив только для движения тел со скоростями, много меньшими скорости света. При движении тел со скоростями, близкими к скорости света, используется релятивистское обобщение второго закона, получаемое в рамках специальной теории относительности.

Следует учитывать, что нельзя рассматривать частный случай (при $\vec{F} = 0$) второго закона как эквивалент первого, так как первый закон постулирует существование ИСО, а второй формулируется уже в ИСО.

Третий закон Ньютона описывает, как взаимодействуют две материальные точки. Возьмём для примера замкнутую систему, состоящую из двух материальных точек. Первая точка может действовать на вторую с некоторой силой $\vec{F}_{1\to2}$, а вторая — на первую с силой $\vec{F}_{2\to1}$. Как соотносятся силы? Третий закон Ньютона утверждает: сила действия $\vec{F}_{1\to2}$равна по модулю и противоположна по направлению силе противодействия $\vec{F}_{2\to1}$.

Формулировка

Материальные точки взаимодействуют друг с другом силами, имеющими одинаковую природу, направленными вдоль прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\vec{F}_{2\to 1} = -\vec{F}_{1\to 2}$$

Закон утверждает, что силы возникают лишь попарно, причём любая сила, действующая на тело, имеет источник происхождения в виде другого тела. Иначе говоря, сила всегда есть результат *взаимодействия* тел. Существование сил, возникших самостоятельно, без взаимодействующих тел, невозможно. Для силы Лоренца третий закон Ньютона не выполняется. Лишь переформулировав его как закон сохранения импульса в замкнутой системе из частиц и электромагнитного поля, можно восстановить его справедливость.

Примеры решения задач

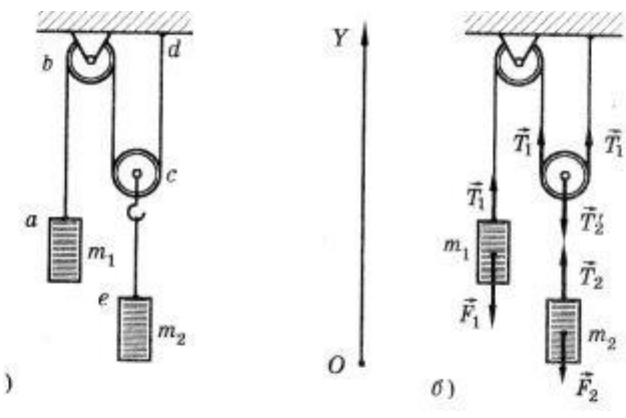
Задача. На столе в равномерно и прямолинейно движущемся поезде стоит легкий игрушечный автомобиль. При торможении поезда автомобиль без какого-либо внешнего воздействия покатился вперед. Выполняется ли закон инерции: а) в системе отсчета, связанной с поездом во время его прямолинейного равномерного движения? во время торможения? б) в системе отсчета, связанной с Землей?

Ответ

а) закон инерции выполняется в системе отсчета, связанной с поездом во время его прямолинейного движения: игрушечный автомобиль покоится относительно поезда, так как действие со стороны Земли компенсируется действием со стороны стола (реакцией опоры). При торможении закон инерции не выполняется, так как торможение – это движение с ускорением и поезд в этом случае не является инерциальной системой отсчета.

б) в системе отсчета, связанной с Землей закон инерции выполняется в обоих случаях – при равномерном движении поезда игрушечный автомобиль движется относительно Земли с постоянной скоростью (скоростью поезда); при торможении поезда автомобиль пытается сохранить свою скорость относительно Земли неизменной, а потому катится вперед.

Задача. Найдите натяжения T_1 и T_2 нитей *abcd* и *ce* в устройстве с подвижным блоком, изображенном на рисунке. Массы тел соответственно равны $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 2$ кг.



Решение

Так как массой нитей и блоков можно пренебречь, то натяжение нитей одинаково во всех сечениях. Нить *abcd,* огибающая блоки, действует на тело m_1 и на левую и правую стороны подвижного блока с одинаковой силой $\vec{T}_1$. Нить *ce*, соединяющая тело массой m_2 с подвижным блоком, действует на них с одинаковыми по модулю силами $T_2 = T_2'$.

Координатную ось Y направим вверх. Учитывая, что $T_{1y} = T_1, T_{2y} = T_2, T_{2y}' = -T_2, F_{1y} = -m_1 g, F_{2y} = -m_2 g,$ получим следующую систему уравнений:

$$m_1 a_{1y} = T_1 - m_1 g,$$
$$m_2 a_{2y} = T_2 - m_2 g,$$
$$2T_1 - T_2 = 0.$$

Последнее уравнение написано для подвижного блока с учетом того, что его масса равна нулю.

Система трех уравнений содержит четыре неизвестных: T_1, T_2, a_{1y}, a_{2y}. Необходимо добавить уравнение кинематической связи

$$a_{1y} = -2a_{2y}.$$

Мы получили систему из четырех уравнений для четырех неизвестных. На этом стадия постановки задачи заканчивается. Дальше решаем эту систему уравнений и получаем:

$$a_{2y} = \frac{g(2m_1 - m_2)}{4m_1 + m_2} \approx 2{,}8 м/с^2,$$

$$T_1 = \frac{3m_1 m_2 g}{4m_1 + m_2} = 12{,}6 H$$

Учитывая, что $T_2 = 2T_1$, получим T_2 = 25,2 Н. Так как $a_{2y} > 0$, то ускорение $\vec{a}_2$ направлено вверх.

Проекция ускорения первого тела $a_{1y} = -2a_{2y} = -6 м/с^2$. Знак минус у проекции ускорения $\vec{a}_1$ показывает, что ускорение первого тела направлено противоположно оси , т.е. вниз.

Ответ: T_2 = 25,2 Н, T_1=12.6 Н

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Силы в механике

Сила тяготения

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

Природа взаимодействия гравитационная

Является функцией расстояния между взаимодействующими телами

Прямо пропорциональна массам взаимодействующих тел

Сила направлена вдоль прямой, соединяющей взаимодействующие тела.

Сила упругости

$$F_x = -kx$$

Природа взаимодействия электромагнитная

Является функцией расстояния (зависит от деформации)

Сила не зависит от массы взаимодействующих тел

Сила направлена противоположно направлению перемещения частиц при деформации.

Сила трения

а) сухого

б) жидкого

$$F_{TP} = \mu N \qquad F_{СОПР} = \alpha v_{om} \qquad F_{СОПР} = \beta v_{om}^2$$

Природа взаимодействия электромагнитная

Является функцией скорости относительного движения

Сила не зависит от массы взаимодействующих тел

Сила направлена противоположно направлению вектора скорости

Примеры решения задач

Задача. Стационарный искусственный спутник движется по окружности в плоскости земного экватора, оставаясь все врем над одой и той же точкой земной поверхности. Определить угловую скорость *w* спутника и радиус *R* его орбиты.

Решение

Угловая скорость вращения спутника должна быть равна угловой скорости суточного вращения Земли:

$$\omega = 2\pi \frac{1}{24\cdot 60\cdot 60}\ \text{Гц} \qquad (1)$$

$$\omega = 7{,}27\cdot 10^{-5}\ \text{Гц}$$

Ускорение свободного падения на орбите определяет нормальное ускорение

$$a_n = G\cdot\frac{M_з}{R^2}$$

$$\omega^2\cdot R = G\frac{M_з}{R^2}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{GM_з}{\omega^2}} \qquad (2)$$

Полагаем $M_з = 5{,}98\cdot 10^{24}$ кг

$$R = 4{,}22\cdot 10^{7}\ \text{м}$$

Ответ: $\omega = 7{,}27\cdot 10^{-5}$ Гц; $R = 4{,}22\cdot 10^{7}$ м

Задача. Тело массой *m*=1кг находится на поверхности Земли. Определить изменение ΔP силы тяжести при подъеме тела на высоту *h*=5 км и при опускании тела в шахту на глубину *h*=5 км. Землю считать однородным шаром радиусом *R*=6.37 Мм и плотностью *p*=5,5 г/см^3

Дано: m=1 кг, h=5.10^3 м, R=6,37*10^6 м, $\rho = 5.5\cdot\frac{10^{-3}}{(10^{-2})^{3}}$ кг/м^3

Найти: $\Delta P_{1,2} - ?$

Решение:

Сила тяжести на поверхности Земли

$$P = G\frac{M_З \cdot m}{R^2}$$

Масса Земли

$$M_З = \frac{4}{3}\cdot\pi R^3\cdot\rho$$

$$M_З = 5.954\cdot 10^{24}$$ кг

Изменение силы тяжести

$$\Delta P_1 = G\frac{M_З m}{(R+h)^2} - G\frac{M_З m}{R^2}$$

ΔP_1 = -0.015354 Н

$$\Delta P_2 = G\frac{M_З m}{(R-h)^2} - G\frac{M_З m}{R^2}$$

ΔP_2 = 0.015391 Н

Ответ: ΔP_1 = -0.015354 Н, ΔP_2 = 0.015391 Н

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Закон сохранения импульса

Импульсом тела $\vec{p}$ называется произведение массы тела m на его скорость $\vec{v}$:

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

Через импульс второй закон Ньютона может быть записан в виде

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

где $\vec{F}$ — сила, действующая на тело за время Δt,

$\Delta\vec{p}$ — изменение импульса тела

Отсюда следует, что если на тело или систему тел не действуют внешние силы, то импульс этого тела или системы тел сохраняется. Это утверждение называется **законом сохранения импульса**.

Закон сохранения импульса — векторная сумма импульсов двух тел до взаимодействия равна векторной сумме их импульсов после взаимодействия

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

или

$$p_1 + p_2 = p_1' + p_2'$$

Необходимым условием применимости **закона сохранения импульса** к системе взаимодействующих тел является использование инерциальной системы отсчета.

Примеры решения задач

Задача. Неподвижная пылинка массой $m = 0,1$мг освещается импульсом лазерного света с длиной волны $\lambda = 0,63 \cdot 10^{-6}$м. Определите число Nпоглощённых пылинкой фотонов, если она в результате действия света приобрела скорость $V = 1$мм/с. Постоянная Планка $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$Дж•с.

Решение.

В квантовой физике энергия фотона (кванта) $E = h\nu = h\dfrac{c}{\lambda}$, здесь ν– частота, λ– длина волны электромагнитного излучения. Импульс фотона $p = \dfrac{E}{c} = \dfrac{h}{\lambda}$.

В рассматриваемой задаче импульс $N\dfrac{h}{\lambda}$ фотонов по закону сохранения импульса равен импульсу mVпылинки $N\dfrac{h}{\lambda} = mV$, отсюда $N = \dfrac{mV\lambda}{h} \approx 9,5 \cdot 10^{16}$.

Ответ: N=9,5*10^{16}

Задача. Частица массой mс кинетической энергией Kсталкивается с неподвижной частицей массой M. Найдите приращение Q внутренней энергии системы частиц в результате абсолютно неупругого столкновения.

Решение.

Рассмотрим абсолютно неупругий удар двух тел в ЛСО. Налетающая частица движется до столкновения в положительном направлении оси ОХ со скоростью $\vec{V}$, кинетическая энергия частицы $K = \frac{mV^2}{2}$. В результате абсолютно неупругого удара (слипания) частицы движутся с одинаковой скоростью $\vec{u}$. По закону сохранения импульса $mV = (m+M)u$,по закону сохранения энергии $\frac{mV^2}{2} = \frac{(m+M)u^2}{2} + Q$. Из приведённых соотношений находим $Q = \frac{M}{m+M}K$.

Отметим, что в предельных случаях $Q = K, m << M; Q = \frac{M}{m}K << K, m >> M$.

Как видим, при неупругом столкновении лёгкой частицы с массивной? например, электрона с атомом, происходит полная передача её кинетической энергии атому: атом возбуждается, а затем испускает фотон.

При равенстве масс $(m = M)$; $Q = \frac{K}{2}$.

Ответ: $Q = \frac{K}{2}$.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Закон сохранения энергии

Закон сохранения энергии — один из наиболее важных законов, согласно которому физическая величина — энергия сохраняется в изолированной системе. Этому закону подчиняются все без исключения известные процессы в природе. В изолированной системе энергия может только превращаться из одной формы в другую, но ее количество остается постоянным.

$$W = W_k + W_p = \frac{mv^2}{2} + mgh,$$

где

W — Полная энергия тела

W_p — Потенциальная энергия тела

W_k — Кинетическая энергия тела

m — Масса тела

g — Ускорение свободного падения

h — Высота на которой находится тело

v — Скорость тела

Сила и импульс:

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \Delta(m\vec{v})$$

Механическая работа:

$$A = Fs \cos \alpha$$

Мощность:

$$N = \frac{A}{t}$$

Кинетическая энергия:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Теорема о кинетической энергии:

$$A = E_{k_2} - E_{k_1}$$

Потенциальная энергия:

$$E_p = mgh;\ E_p = -G\frac{Mm}{r};\ E_p = \frac{kx^2}{2}$$

Закон сохранения энергии в механических процессах:

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}.$$

Примеры решения задач

Задача. Цепочка длиной l лежит на гладком горизонтальном столе, свешиваясь ровно наполовину. Цепочку без толчка отпускают. Найдите скорость цепочки в момент, когда ее верхний конец соскользнет со стола.

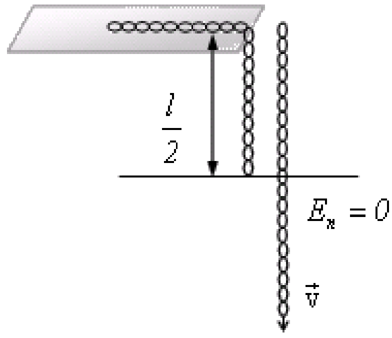


Рис. 1

Решение

Поскольку при движении цепочки сила трения отсутствует, то полная механическая энергия системы будет сохраняться. В качестве начального состояния выбираем цепочку в начальный момент времени, конечного – в момент, когда ее верхний конец соскользнет со стола. Будем считать потенциальную энергию цепочки в конечном состоянии равной нулю (рис. 1). Величина потенциальной энергии определяется положением центра массы тела. Поэтому в начальном состоянии полная механическая энергия системы

$$E_1 = \frac{m}{2}g\frac{l}{2} + \frac{m}{2}g\frac{l}{4} = \frac{3}{8}mgl.$$

В конечном состоянии полная механическая энергия $E_2 = \frac{mv^2}{2}$, так как $E_1 = E_2$, то $v = \sqrt{\frac{3gl}{4}}$.

Ответ: $v = \sqrt{\frac{3gl}{4}}$.

Задача. Человек массы *m* переходит с одного конца лодки массой *M* на другой. Длина лодки равна l. Найдите перемещение лодки. Сопротивлением воды движению лодки пренебречь.

Решение

Поскольку система «лодка–человек» является замкнутой, то для решения задачи можно использовать закон сохранения импульса. В качестве тела отсчета выберем Землю. В начальный момент времени импульс системы «лодка–человек» равен нулю, следовательно, он будет таковым и во все последующие моменты времени:

$$m\vec{v}_ч + M\vec{v}_л = 0 \quad (1)$$

где $\vec{v}_ч$ – скорость человека относительно берега, а $\vec{v}_л$ – скорость лодки.

Согласно закону сложения скоростей $\vec{v}_ч = \vec{v}'_ч + \vec{v}_л$, где $\vec{v}'_ч$ – скорость движения человека относительно лодки. Подставим $\vec{v}_ч$ в (1):

$$m\left(\vec{v}'_ч + \vec{v}_л\right) + M\vec{v}_л = 0.$$

Из последнего выражения

$$\vec{v}_л = -\frac{m}{M+m}\vec{v}'_ч.$$

Обозначим время движения человека через *t*, тогда перемещение лодки относительно берега будет равно

$$\vec{L} = \vec{v}_л \cdot t = -\frac{m}{M+m}\vec{v}'_ч \cdot t = -\frac{m}{M+m}\vec{l},$$

где $\vec{l}$ – перемещение человека вдоль лодки.

Ответ: $\vec{L} = \vec{v}_л \cdot t = -\frac{m}{M+m}\vec{v}'_ч \cdot t = -\frac{m}{M+m}\vec{l}$.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Динамика вращательного движения абсолютно твёрдого тела

Второй закон Ньютона для вращательного движения

$$\vec{M} = J\vec{\varepsilon}$$

По определению угловое ускорение $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$, тогда это уравнение можно переписать следующим образом

$$M = \frac{d(J\vec{\omega})}{dt}$$

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

или

$$\vec{M}dt = d\vec{L}$$

Это выражение носит название **основного уравнения динамики вращательного движения** и формулируется следующим образом: изменение момента количества движения твердого тела $d\vec{L}$, равно импульсу момента $\vec{M}\,dt$ всех внешних сил, действующих на это тело.

Моментом импульса относительно неподвижной оси Z называется скалярная величина L_Z, равная проекции на эту ось вектора момента импульса, определенного относительно произвольной точки 0 данной оси. Значение момента импульса L_Z не зависит от положения точки 0 на оси Z

Вращательным называется движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной и той же прямой, называемой осью вращения.

Момент инерции тела относительно оси вращения – это физическая величина, равная сумме произведений масс n материальных точек тела на квадраты их расстояний до рассматриваемой оси:

$$J_z = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$$

При вращении абсолютно твердого тела вокруг неподвижной оси z его кинетическая энергия равна половине произведения момента инерции относительно оси вращения на квадрат угловой скорости:

$$E_{квр} = \frac{J_z \omega^2}{2}$$

Работа вращения тела идет на увеличение его кинетической энергии и определяется выражением $dA = M_z d\varphi$, где M_z – момент сил относительно оси вращения Z.

Уравнение динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси Z (аналог второго закона Ньютона) имеет вид:

$$M_Z = J_Z \varepsilon = \frac{dL_Z}{dt}$$

где L_Z – момент импульса твердого тела относительно оси Z.

В замкнутой механической системе момент внешних сил относительно неподвижной оси $M_z = 0$ и $dL_z / dt = 0$, откуда $L_z = \mathrm{const}$ – **закон сохранения момента импульса**. Он является следствием изотропности пространства: инвариантность физических законов относительно выбора направления осей координат системы отсчета.

Примеры решения задач

Задача. Шар радиусом 10 см и массой 5 кг вращается вокруг оси симметрии по закону φ = A + Bt2 + Ct3, где B = 2 рад/с2, C = -0,5 рад/с3. Определить момент сил относительно оси вращения для момента времени t = 3 с.
Дано: R = 0,1 м; m = 5 кг; φ = A + Bt2 + Ct3 рад; B = 2 рад/с2; C = -0,5 рад/с3; t = 3 с.
Найти: Mz.
Решение
Согласно уравнению динамики вращательного движения твердого тела относительно неподвижной оси

$M_z = J_z \varepsilon$, где $J_z = \frac{2}{5} mR^2$ - момент инерции шара;

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt},\ \omega = \frac{d\varphi}{dt} = 2Bt + 3Ct^2,\ \varepsilon = 2B + 6Ct;$$

$$M_z = \frac{2}{5} mR^2 (2B + 6Ct).$$

Для t=3 с $M_z = \frac{2}{5} \cdot 5 \cdot 10^{-2} (2 \cdot 2 - 6 \cdot 0{,}5 \cdot 3) = -0{,}1\ \text{Н} \cdot \text{м}.$

Ответ: M_z = -0,1H*m

Задача. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом 20 см, момент инерции которого 0,15 кг*м^2, намотана легкая нить, к концу которой прикреплен груз массой 0,5 кг. До начала вращения барабана высота груза над полом составляла 2,3 м (рис. 4.7). Определить: а) время опускания груза до пола; б) силу натяжения нити; в) кинетическую энергию груза в момент удара о пол.
Дано: R = 0,2 м; J_z = 0,15 кг*м^2; m = 0,5 кг; h = 2,3 м.

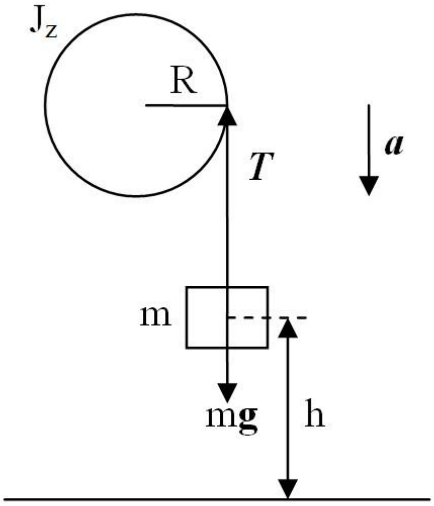


Рис. 4.7

Найти: t, T, E_k.

Решение

По закону сохранения энергии:

$$mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{J_z\omega^2}{2}, \text{ где } \omega = \frac{v}{R},\ h = \frac{at^2}{2},\ v = at;$$

$$mg\frac{at^2}{2} = \frac{a^2t^2}{2}\left(m + \frac{J_z}{R^2}\right), \text{откуда } a = \frac{mg}{m + \frac{J_z}{R^2}}.$$

Время опускания груза до пола:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{a}}.$$

Уравнение динамики вращательного движения вала

$$T \cdot R = J_z\varepsilon,$$

откуда сила натяжения нити

$$T = \frac{J_z\varepsilon}{R}, \text{ где } \varepsilon = \frac{a}{R}; \text{ тогда } T = \frac{J_z a}{R^2}.$$

Кинетическая энергия груза в момент удара о пол:

$$E_к = \frac{mv^2}{2} = \frac{ma^2t^2}{2}.$$

Ответ: t = 2 с; T = 4,31 Н; E_k = 1,32 Дж.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Равновесие абсолютно твёрдых тел

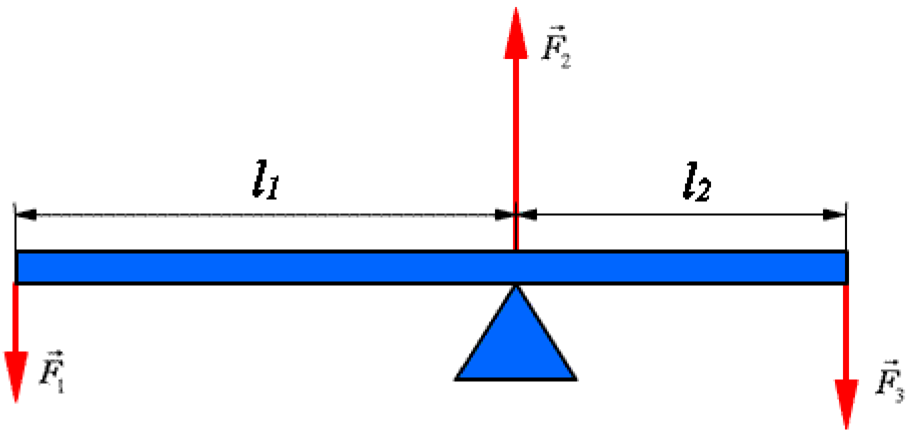
Равновесие сил.

Механическое равновесие, также известно как статическое равновесие, — состояние тела, находящегося в покое, или движущегося равномерно, в котором сумма сил и моментов, действующих на него, равна нулю

Условия равновесия твердого тела

Векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю: $\sum \vec{F_i} = 0$.
Сумма моментов всех внешних сил, действующих на тело, относительно любой оси равна нулю: $\sum M_i = 0$. Ось может быть как реальной (неподвижной), так и мысленно проведенной через любую точку пространства.

Например, условия равновесия рычага:



$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0 \qquad F_1 + F_3 = F_2$

$F_1 \cdot l_1 = F_3 \cdot l_2 \qquad F_2 \cdot l_1 = F_3 \cdot (l_2 + l_1) \qquad F_2 \cdot l_2 = F_1 \cdot (l_2 + l_1)$

Виды равновесия.

Равновесие тела устойчиво, если при любых допускаемых внешними связями малых отклонениях от положения равновесия в системе возникают силы или моменты сил, стремящиеся возвратить тело в исходное состояние.
Равновесие тела неустойчиво, если хотя бы при некоторых допускаемых

внешними связями сколько угодно малых отклонениях от положения равновесия в системе возникают силы или моменты сил, стремящиеся еще больше отклонить тело от исходного состояния равновесия.

Равновесие тела называется безразличным, если при любых допускаемых внешними связями малых отклонениях от положения равновесия в системе возникают силы или моменты сил, стремящиеся возвратить тело в исходное состояние

Центр тяжести твердого тела

Центром тяжести тела называется точка, относительно которой суммарный момент сил тяжести, действующих на систему, равен нулю. Например, в системе, состоящей из двух одинаковых масс, соединённых несгибаемым стержнем, и помещённой в неоднородное гравитационное поле (например, планеты), центр масс будет находиться в середине стержня, в то время как центр тяжести системы будет смещён к тому концу стержня, который находится ближе к планете (ибо вес массы $P = m \cdot g$ зависит от параметра гравитационного поля g), и, вообще говоря, даже расположен вне стержня.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Термодинамика

Молекулярно-кинетическая теория идеального газа

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T);$$

где α – температурный коэффициент линейного расширения, ΔT – изменение температуры.

Закон Дальтона

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots + p_n,$$

где p – давление смеси паров или газов.

Закон Бойля-Мариотта

$$p_1 V_1 = p_2 V_2,$$

при условии, что $m = const$ и $T = const;$

где p – давление идеального газа, V – объем идеального газа, T – абсолютная температура идеального газа, m – масса идеального газа.

Закон Гей-Люссака

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2},$$

при условии, что $m = const$ и $V = const;$

где p – давление идеального газа, V – объем идеального газа, T – абсолютная температура идеального газа, m – масса идеального газа.

Закон Шарля

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2},$$

при условии, что $m = const$ и $V = const;$

где p – давление идеального газа, V – объем идеального газа, T – абсолютная температура идеального газа, m – масса идеального газа.

Уравнение Клапейрона

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2};$$

при условии, что $m = const$ и $V = const;$

где p – давление идеального газа, V – объем идеального газа, T – абсолютная температура идеального газа, m – масса идеального газа.

Уравнение состояния идеального газа
(уравнение Клапейрона - Менделеева)

$$pV = \frac{m}{M} RT; \quad p = nkT,$$

где p – давление идеального газа, V – объем идеального газа, T – абсолютная температура идеального газа, m – масса идеального газа, M – молярная масса, R – универсальная газовая постоянная.

Удельная теплоемкость вещества

$$c = \frac{Q}{m\Delta T};$$

где c – удельная теплоемкость вещества, Q – количество теплоты, m – масса вещества, ΔT – изменение температуры.

Удельная теплота парообразования

$$L = \frac{Q}{m};$$

где L – удельная теплота парообразования, Q – количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости массой m, находящейся при температуре кипения.

Удельная теплота плавления

$$\lambda = \frac{Q}{m};$$

где λ – удельная теплота плавления, Q – количество теплоты, необходимое для плавления твердого тела массой m, находящейся при температуре плавления.

Уравнение теплового баланса

$$\sum Q_{отд} = \sum Q_{получ}$$

где $\Sigma Q_{отд}$ – количество теплоты, отдаваемое более нагретыми телами при теплообмене, $\Sigma Q_{получ}$ – количество теплоты, получаемому более холодными.

Работа газа при изобарном процессе

$$A = p\Delta V;$$

где A – работа газа при изобарном процессе, p – давление идеального газа, V – объем идеального газа, T – абсолютная температура идеального газа, m – масса идеального газа, M – молярная масса, R – универсальная газовая постоянная.

Первое начало термодинамики

$$Q = \Delta U + A;$$

где Q – количество теплоты, полученной системой, ΔU – изменение внутренней энергии системы, A – работа, совершенная системой.

КПД тепловой машины

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1};$$

где η – КПД тепловой машины, A – полезная работа, совершенная рабочим телом, Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное рабочим телом холодильнику.

КПД идеальной тепловой машины

$$\eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

где $\eta_{\max}$ – КПД идеальной тепловой машины, T_1 – температура нагревателя, T_2 – температура холодильника.

Удельная теплота сгорания топлива

$$q = \frac{Q}{m};$$

где q – удельная теплота сгорания топлива, Q – количество теплоты, выделившейся при сгорании топлива, m – масса топлива.

Количество вещества

$$\nu = \frac{N}{N_A}.$$

где ν – количество вещества, N – число молекул в веществе, N_A – постоянная Авогадро.

Масса молекулы вещества

$$m_0 = \frac{m}{N} = \frac{m}{\nu N_A} = \frac{M}{N_A};$$

где m_0 – масса молекулы вещества, m – масса вещества, N – число молекул в веществе, ν – количество вещества, N_A – постоянная Авогадро, M – молярная масса вещества.

Средняя квадратичная скорость молекул

$$\langle \upsilon_{кв} \rangle = \sqrt{\langle \upsilon^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \quad \langle \upsilon^2 \rangle = \frac{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \ldots + \upsilon_N^2}{N}$$

где $\langle \upsilon_{кв} \rangle$ – средняя квадратичная скорость, υ_1, υ_2, υ_3, … υ_N – скорость молекул, N – число молекул, k – постоянная Больцмана, T – температура тела, m_0 – масса молекулы, R – универсальная газовая постоянная, M – молярная масса.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle \upsilon^2 \rangle = \frac{2}{3} n \langle E_к \rangle$$

где p – давление идеального газа, n – концентрация газа, m_0 – масса молекулы, $\langle \upsilon^2 \rangle$ – средняя квадратичная скорость, $\langle E_к \rangle$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул.

Связь между средней кинетической энергией поступательного движения молекул и температурой

$$\langle E_к \rangle = \frac{3}{2} kT,$$

где $\langle E_к \rangle$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул, k – постоянная Больцмана, T – температура тела.

Связь давления идеального газа и температуры

$$p = nkT;$$

где p – давление идеального газа, n – концентрация, k – постоянная Больцмана, T – температура газа.

Относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{p}{p_0}\cdot 100\% \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{\rho}{\rho_0}\cdot 100\%;$$

где φ – относительная влажность воздуха, p – давление водяного пара, p_0 – давлению насыщенного водяного пара при данной температуре, ρ – плотность водяного пара, ρ_0 – плотность насыщенного водяного пара при данной температуре.

Коэффициент поверхностного натяжения жидкости

$$\sigma = \frac{A}{S} \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{F_{пов}}{l};$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения, A – работа, необходимая для увеличения площади свободной поверхности жидкости на величину S, $F_{пов}$ – сила поверхностного натяжения жидкости, действующей на границу раздела жидкости длиной l.

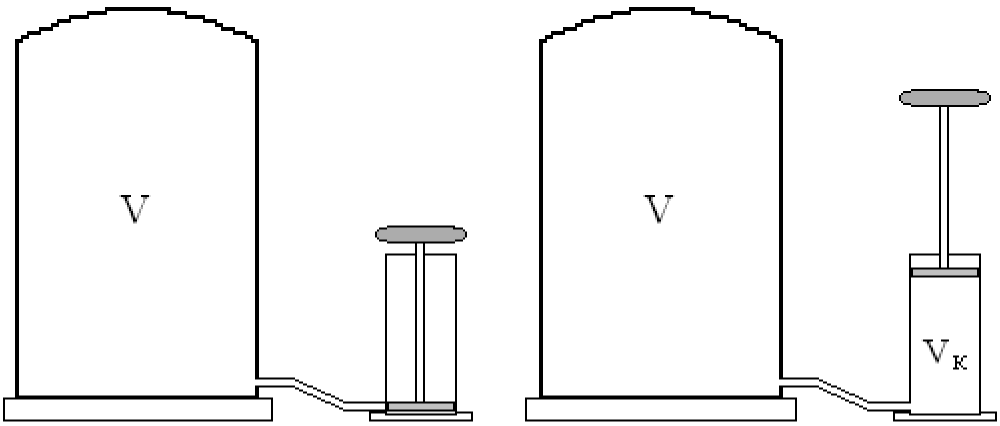
Примеры решения задач

Задача. В баллоне вместимостью $V = 3000$ см^3 находится воздух под давлением $p_0 = 100$ кПа. Сколько ходов поршневого насоса с камерой вместимостью $V_к = 200$ см^2, потребуется, чтобы откачать воздух из баллона до давления $p = 4{,}53$ кПа. Изменением температуры можно пренебречь.

Запишем краткое условие задачи

$V = 3000$ см^3
$p_0 = 100$ кПа
$V_к = 200$ см^2
$p = 4{,}53$ кПа

n - ?



В начальном состоянии, объем воздуха равен объему баллона V, а его давление p_0. При первом ходе поршня воздух заполняет камеру насоса и его объем становится равным $V + V_К$. Поскольку температура воздуха и его масса в ходе данного процесса не изменяются, то, согласно закона Бойля-Мариотта, $p_0V = p_1(V + V_К)$. Отсюда давление воздуха после первого хода поршня

$$p_1 = p_0\frac{V}{V+V_K}$$

Затем воздух из камеры насоса удаляется, и начинается второй цикл работы насоса. В этом цикле p_1 - начальное давление воздуха, конечное давление воздуха в этом цикле работы насоса обозначим p_2. Снова применив закон Бойля-Мариотта получим: $p_1V = p_2(V + V_К)$.

$$p_2 = p_1\frac{V}{V+V_K} = p_0\left(\frac{V}{V+V_K}\right)^2.$$

Соответственно давление воздуха после третьего цикла работы поршня

$$p_3 = p_2\frac{V}{V+V_K} = p_0\left(\frac{V}{V+V_K}\right)^3.$$

После n-го хода поршня давление воздуха

$$P_n = P_0\left(\frac{V}{V+V_K}\right)^n.$$

Прологарифмировав это уравнение относительно *n*, получим, что

$$n = \frac{\ln\left(p_n / p_0\right)}{\ln\frac{V}{V+V_K}}$$

Ответ: *n* = 48.

Задача. В латунный калориметр массой 0,15 кг, содержащий 0,20 кг воды при 15 ^{0}С, опустили железную гирю массой 0,26 кг при температуре 100 ^{0}С. Найти общую установившую температур. Потери тепла не учитывать.

Дано: $m_г$=0,26 кг – масса гири, T=373 К – начальная температура гири, $m_в$=0,20 кг – масса воды, T_1=288 К – начальная температура воды и калориметра, $m_к$=0,15 кг – масса калориметра, $c_г$=460 Дж/(кг·К), $c_в$=4187 Дж/(кг·К), $c_к$=380 Дж/(кг·К) – соответственно удельные теплоемкости железа, воды, латуни.

Найти: θ – окончательная температура (всех трех тел).

Решение. Составим уравнение теплового баланса. Количество тепла, отданное железной гирей:

$$Q_г=c_г m_г(T-\theta).$$

Количество тепла, полученное водой:

$$Q_в=c_в m_г(\theta-T_1).$$

Количество тепла, полученное калориметром:

$$Q_к=c_к m_к(\theta-T_1).$$

На основании закона сохранения энергии

$$Q_г=Q_в+Q_к\,,$$

или

$$c_г m_г(T-\theta)=(c_в m_в+c_к m_к)(\theta-T_1).$$

Находим из уравнения теплового баланса окончательную температуру:

$$\theta=\frac{c_г m_г T+(c_в m_в+c_к m_к)T_1}{c_г m_г+c_в m_в+c_к m_к}.$$

Подставляя числовые значения величин, получаем

[illegible]

Ответ: Окончательная температура 298 К (25ºС).

Задача. Вычислить шаг резьбы сверла, если при сверлении в медном цилиндре осевого отверстия диаметром 25 мм цилиндр нагрелся на 43 К. Вращающий момент, приложенный к воротку, равен 16,2 Н·м; 70 % затрачиваемой энергии превращается во внутреннюю энергию цилиндра.

Дано: $d=25\cdot10^{-3}$ м – диаметр отверстия, $\Delta T=43$ К – повышение температуры цилиндра, $M=16{,}2$ Н·м – вращающий момент, развиваемый при сверлении, $\kappa=70\%=0{,}70$ – часть энергии, израсходованная на нагревание цилиндра, $\rho=8900$ кг/м^3 – плотность меди, $c=380$Дж/(кг·К) – удельная теплоемкость меди.

Найти: p - шаг резьбы сверла.

Решение. Искомый шаг резьбы p можно найти, разделив высоту цилиндра h на число оборотов сверла n, которое необходимо сделать, чтобы просверлить цилиндр насквозь:

$$p=h/n.$$

При сверлении выделяется количество тепла

$$Q=cm\Delta T=cSh\rho\Delta T,$$

где $S=\pi d^2/4$

Отсюда

$$h=Q/cS\rho\,\Delta T.$$

Величина n определяется из выражения для работы A, совершенной при сверлении цилиндра:

$$A=M2\pi n, \text{ откуда } n=A/2\pi M.$$

Подставив значения h и n в выражение для p и приняв во внимание, что по условию Q/A=κ, получим

$$p=\frac{2\pi M}{\rho S\Delta T}\cdot\frac{Q}{A}=\frac{2\pi M\kappa}{\rho S\Delta T}.$$

В окончательном виде

$$p=\frac{2\pi M\kappa}{\rho(\pi d^2/4)\Delta T}=\frac{8M\kappa}{\rho d^2\Delta T}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

p= [illegible]

Ответ. Шаг резьбы сверла около 1,0мм.

Задача. На электроплитке мощностью 600 Вт за 35 мин нагрели 2,0 л воды от 293 до 373 К, причем 200 г воды обратилось в пар. Определить к.п.д. электроплитки.

Дано: $m_в = 2,0\ кг$ – масса воды, нагреваемой на плитке до кипения, $T_1 = 293\ К$, $T_2 = 373\ К$ – начальная и конечная температуры воды, m=0,20 *кг* – масса испарившейся воды, P = 600 *Вт* – мощность тока в электроплитке, t = 2100 с – время действия электроплитки, $c_в = 4{,}19 \cdot 10^3$ [illegible] - удельная теплоёмкость воды, r = 2,26$\cdot 10^6\ Дж/кг$ - удельная теплота парообразования воды.

Найти: η – к.п.д. электроплитки.

Решение: По определению к.п.д. нагревателя равен

$$\eta = Q_1/Q \cdot 100\%,$$

где $Q_1 = c_в m_в (T_2 - T_1) + rm$ - количество тепла, израсходованное на нагревание воды и на превращение части её в пар, Q = Pt – тепловая энергия, израсходованная электроплиткой.

Подставим выражения для Q_1 и Q в формулу для к.п.д.:

$$\eta = \frac{c_в m_в (T_2 - T_1) + rm}{Pt}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$\eta = [illegible]$$

Ответ: Коэффициент полезного действия электроплитки приблизительно равен 89%.

Задача. К. п. д. холодильника равен 80 %. Какое количество холодильного агента (фреона –12) должно испариться для обращения в лед 150 г воды с начальной температурой 289?

Дано: $\eta = 0{,}80$ к. п. д. холодильника, $m_в = 0{,}150$ кг – масса охлаждаемой воды, $T_1 = 289$ К – начальная температура воды, $T_2 = 273$ К – температура плавления льда, $\lambda = 3{,}3 \cdot 10^5$ Дж/кг - удельная теплота плавления льда, $r_ф = 1{,}68 \cdot 10^6$ Дж/кг - удельная теплота испарения фреона.

Найти: $m_ф$ - массу испарившегося фреона.

Решение: Задача решается с помощью уравнения теплового баланса. Количество теплоты, которое отдает вода при охлаждении и замерзании,

$Q_1 = c_в m_в (T_1 - T_2) + \lambda m_в$

Количество теплоты, затраченное на испарение фреона,

$Q_2 = r_в m_в$.

Величины Q_1 и Q_2 связаны между собой формулой

$\eta = Q_1 / Q_2$.

На основании закона сохранения энергии составляем уравнение теплового баланса:

$c_в m_в (T_1 - T_2) + \lambda m_в = \eta r_ф m_ф$

Решив это уравнение относительно $m_ф$, найдем

$$m_ф = \frac{c_в m_в (T_1 - T_2) + \lambda m_в}{r_ф \eta}.$$

Подставляя числовые значения, получаем

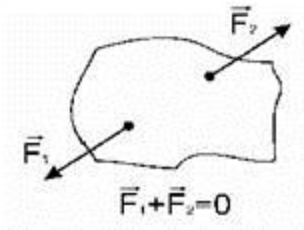
$m_ф =$ [illegible]

Ответ. Масса испарившегося фреона равна примерно 0,044 кг

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

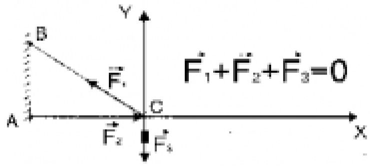
Статика

Статика - раздел механики, в котором рассматривается равновесие тел.



Равновесие тел при отсутствии вращения (линии действия сил пересекаются в одной точке): **Векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю**(алгебраическая сумма проекций всех сил на любую ось равна нулю) $\sum \vec{F} = 0$

или $\begin{cases} \sum F_X = 0 \\ \sum F_Y = 0 \\ \sum F_Z = 0 \end{cases}$



Момент силы равен произведению силы на плечо: $M = F \cdot l$

Плечо силы - расстояние от оси вращения до линии действия силы (обозначают буквами ℓ или d).

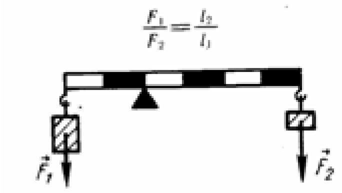
Момент силы, вращающий тело против часовой стрелки, считают положительным, по часовой стрелке - отрицательным.

Центр масс - точка, через которую должна проходить линия действия силы, чтобы под действием этой силы тело двигалось поступательно.

Центр тяжести - точка приложения силы тяжести, действующей на тело. В однородном поле тяготения центр тяжести и центр масс совпадают.

Рычаг (Архимед)

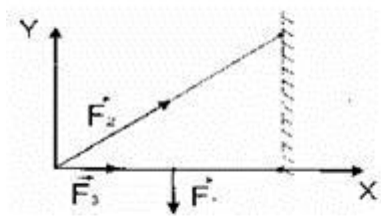
Разновидности рычага: блок, ворот.



Условие равновесия рычага: отношение сил обратно пропорционально отношению плеч этих сил.

"Золотое правило механики": выигрывая в силе проигрываешь в расстоянии.

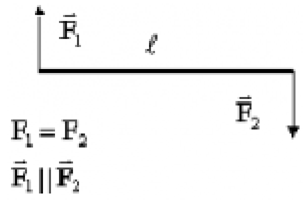
Равновесие тел при отсутствии вращения (линии действия сил не пересекаются в одной точке):



Векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю;

Алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, относительно любой точки равна нулю.

ПАРА СИЛ: Момент пары: $M = F \cdot l$



Пару нельзя уравновесить одной силой (равной величины)!

Примеры: завинчивание гайки гаечным ключом, вращение рамки с током в магнитном поле и т.д.

В положении устойчивого равновесия тело обладает минимальной потенциальной энергией. При выведении тела из этого положения его потенциальная энергия увеличивается. Если работу над телом совершает только сила тяжести, то в положении устойчивого равновесия центр тяжести тела находится на наименьшей высоте.

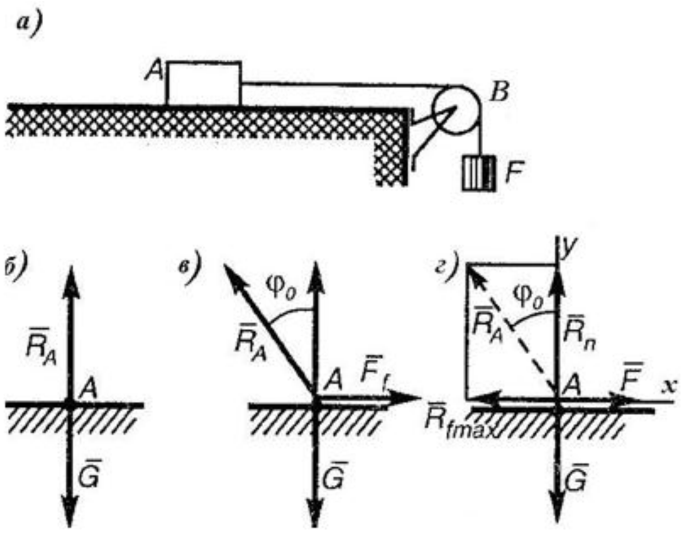
Все тела стремятся к минимуму потенциальной энергии. (Потенциальная яма).

Равновесие тел на опоре: линия действия силы тяжести проходит через площадь опоры (Пизанская башня). Чем ниже центр тяжести, тем более устойчиво равновесие.

Примеры решения задач

Задача. Тело A массой m = 8 кг поставлено на шероховатую горизонтальную поверхность стола. К телу привязана нить, перекинутая через блок B (рисунок а).

Какой груз F можно подвязать к концу нити, свешивающейся с блока, чтобы не нарушить равновесия тела A? Коэффициент трения f = 0,4; трением на блоке пренебречь.



Решение

Определим вес тела A:

$$G = mg = 8 \cdot 9{,}81 = 78{,}5 \text{ Н.}$$

Считаем, что все силы приложены к телу A. Когда тело поставлено на горизонтальную поверхность, то на него действуют только две силы: вес G и противоположно направленная реакция опоры R_A (рисунок б).

Если же приложить некоторую силу F, действующую вдоль горизонтальной поверхности, то реакция R_A, уравновешивающая силы G и F, начнет отклоняться от вертикали, но тело A будет находиться в равновесии до тех пор, пока модуль силы F не превысит максимального значения силы трения $R_{f\,max}$, соответствующей предельному значению угла φ_o (рисунок в).

Разложив реакцию R_A на две составляющие $R_{f\,max}$ и R_n, получаем систему четырех сил, приложенных к одной точке (рисунок г). Спроецировав эту систему сил на оси x и y, получим два уравнения равновесия:

$$\Sigma F_{kx} = 0, \;\; F - R_{f\,max} = 0;$$
$$\Sigma F_{ky} = 0, \;\; R_n - G = 0.$$

Решаем полученную систему уравнений: $F = R_{f\,max}$, но $R_{f\,max} = f \cdot R_n$, а $R_n = G$, поэтому

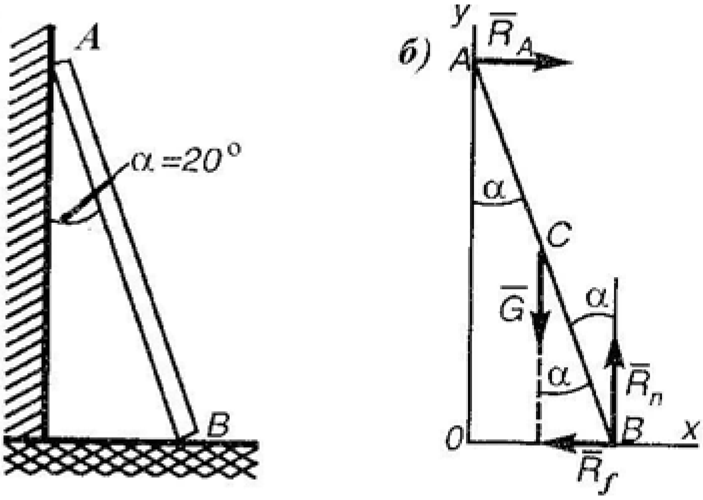
$$F = f \cdot G = 0{,}4 \cdot 78{,}5 = 31{,}4 \text{ Н.}$$

Таким образом, равновесие тела A сохраняется при условии, что к концу нити, перекинутой через блок, подвешен груз, не превышающий по весу 31,4 Н. При этом масса груза F

$$m = F/g = 31{,}4/9{,}81 = 3{,}2 \text{ кг.}$$

Ответ: m = 3,2 кг.

Задача. При каком минимальном коэффициенте трения между полом и лестницей последняя может находиться в равновесии, опираясь верхним концом о гладкую стену (рисунок а)? Вес лестницы $G = 120\ H$.



Решение

На лестницу действует только одна нагрузка – ее собственный вес, приложенный в точке C посередине длины лестницы AB. Вес лестницы уравновешен реакцией R_A гладкой стены и реакцией шероховатого пола, которую заменим двумя составляющими: R_n – нормальной составляющей и R_f – силой трения (рисунок б).

Составим три уравнения равновесия:

$$\Sigma F_{kx} = 0,\ R_A - R_f = 0;$$
$$\Sigma F_{ky} = 0,\ R_n - G = 0.$$
$$\Sigma M_B(F_k) = 0,\ G(AB/2)\sin\alpha - R_A \cdot AB\cos\alpha = 0.$$

Далее получаем:

$$R_f = R_A = (G\sin\alpha)/(2\cos\alpha) = (G/2)tg\alpha = 60 \cdot tg20^{\circ} = 21{,}8\ \text{Н}.$$

Отсюда минимальный коэффициент трения, обеспечивающий равновесие лестницы:

$$f = R_f / R_n = R_f / G = 21{,}8/120 \approx 0{,}2.$$

Таким образом, при $f \geq 0{,}2$ лестница будет находиться в равновесии.

Ответ: $f \approx 0{,}2$.

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Электростатика

Электростатика - раздел электродинамики, изучает покоящиеся электрически заряженные тела.

Элементарные частицы могут иметь электрический заряд, тогда они называются заряженными, взаимодействуют друг с другом с силами, которые зависят от расстояния между частицами, но превышают во много раз силы взаимного тяготения (это взаимодействие называется электромагнитным).

Электрический заряд – физическая величина, определяет интенсивность электромагнитных взаимодействий.

Частицы с одноименными зарядами отталкиваются, а с разноименными - притягиваются.

Протон имеет положительный заряд, электрон - отрицательный, нейтрон - электрически нейтрален.

Элементарный заряд - минимальный заряд, разделить который невозможно.

Тело заряжено, если имеет избыток зарядов какого-либо знака:

отрицательно заряжено - если избыток электронов;

положительно заряжено - если недостаток электронов.

Электризация тел - это один из способов получения заряженных тел, например, соприкосновением).

При этом оба тела заряжаются , причем заряды противоположны по знаку, но равны по модулю.

Закон сохранения электрического заряда.

$$q_1 + q_2 + \ldots + q_n = const$$

В замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной.

Замкнутая система - система частиц, в которую не входят извне и не выходят наружу заряженные частицы.

Закон Кулона - основной закон электростатики.

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$$

Сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей заряда и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Если у двух тел есть электрические заряды, то они взаимодействуют по закону Кулона.

Единица электрического заряда

1 Кл - заряд, проходящий за 1 секунду через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А.

1 Кл - очень большой заряд.

Элементарный заряд:

$$q_e = e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ Кл$$

Коэффициент пропорциональности

$$k = 9 \cdot 10^{9}\ \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$$

Принято записывать коэффициент пропорциональности в законе Кулона в вакууме в виде

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

где **электрическая постоянная**

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ \frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}$$

Закон Кулона для величины силы взаимодействия зарядов в произвольной среде (в СИ):

$$F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon R^2}$$

Диэлектрическая проницаемость среды характеризует электрические свойства среды. В вакууме

$$\varepsilon = 1$$

Таким образом, сила Кулона зависит от свойств среды между заряженными телами.

Примеры решения задач

Задача. Определить начальную скорость v0 сближения протонов, находящихся на достаточно большом расстоянии друг от друга, если минимальное расстояние r_{min}, на которое они могут сблизиться, равно 10-11 см.

Решение

Между двумя протонами действуют силы отталкивания, вследствие чего движение протонов будет замедленным. Поэтому задачу можно решить как в инерциальной системе координат (связанной с центром масс двух протонов), так и в неинерциальной (связанной с одним из ускоренно движущихся протонов). Во втором случае законы Ньютона не имеют места. Применение же принципа Даламбера затруднительно из-за того, что ускорение системы будет переменным. Поэтому удобно рассмотреть задачу в инерциальной системе отсчета.

Поместим начало координат в центр масс двух протонов. Поскольку мы имеем дело с одинаковыми частицами, то центр масс будет находиться в точке, делящей пополам отрезок, соединяющий частицы. Относительно центра масс частицы будут иметь в любой момент времени одинаковые по модулю скорости. Когда частицы находятся на достаточно большом расстоянии друг от друга, скорость v_1 каждой частицы равна половине v_0, т. е. $v_1=v_0/2$.

Для решения задачи применим закон сохранения энергии, согласно которому полная механическая энергия E изолированной системы постоянна, т. е.

$$E = T + П,$$

где T — сумма кинетических энергий обоих протонов относительно центра масс; $П$ — потенциальная энергия системы зарядов.

Выразим потенциальную энергию в начальный $П_1$ и конечный $П_2$ моменты движения.

В начальный момент, согласно условию задачи, протоны находились на большом расстоянии, поэтому потенциальной энергией можно пренебречь ($П_1=0$). Следовательно, для начального момента полная энергия будет равна кинетической энергии T_1 протонов, т. е.

$$E=T_1. \qquad (1)$$

В конечный момент, когда протоны максимально сблизятся, скорость и кинетическая энергия равны нулю, а полная энергия будет равна потенциальной энергии Π_2, т. е.

$$E=\Pi_2. \qquad (2)$$

Приравняв правые части равенств (1) и (2), получим

$$T_1=\Pi_2. \qquad (3)$$

Кинетическая энергия равна сумме кинетических энергий протонов:

$$T_1=\frac{mv_1^2}{2}+\frac{mv_1^2}{2}=mv_1^2=\frac{mv_0^2}{4}. \qquad (4)$$

Потенциальная энергия системы двух зарядов Q_1 и Q_2, находящихся в вакууме, определяется по формуле $\Pi=\frac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r}$, где r — расстояние между зарядами. Воспользовавшись этой формулой, получим

$$\Pi_2=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{\min}}. \qquad (5)$$

С учетом равенств (4) и (5) формула (3) примет вид

$$\frac{mv_0^2}{4}=\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_{\min}}, \quad \text{откуда} \quad v_0=e/\sqrt{\pi\varepsilon_0 m r_{\min}}.$$

Выполнив вычисления по полученной формуле, найдем $v_0=2{,}35$ Мм/с.

Ответ: $v_0=2{,}35$ Мм/с

Задача. Определить электрическую емкость *C* плоского конденсатора с двумя слоями диэлектриков: фарфора толщиной d_1=2 мм и эбонита толщиной d_2=1,5 мм, если площадь *S* пластин равна 100 см^2.

Решение. Емкость конденсатора, по определению, $C=Q/U$, где Q — заряд на пластинах конденсатора; U — разность потенциалов пластин. Заменив в этом равенстве общую разность потенциалов U конденсатора суммой U_1+U_2 напряжений на слоях диэлектриков, получим

$$C=Q/(U_1+U_2). \qquad (1)$$

Приняв во внимание, что $Q=\sigma S$, $U_1=E_1d_1=\frac{D}{\varepsilon_0\varepsilon_1}d_1$ и $U_2=E_2d_2=\frac{D}{\varepsilon_0\varepsilon_2}d_2$, равенство (1) можно переписать в виде

$$C=\frac{\sigma S}{\frac{D}{\varepsilon_0\varepsilon_1}d_1+\frac{D}{\varepsilon_0\varepsilon_2}d_2}, \qquad (2)$$

где σ — поверхностная плотность заряда на пластинах; E_1 и E_2 — напряженности поля в первом и втором слоях диэлектрика соответственно; D — электрическое смещение поля в диэлектриках.

Умножив числитель и знаменатель равенства (2) на ε_0 и учтя, что $D=\sigma$, окончательно получим

$$C=\frac{\varepsilon_0 S}{d_1/\varepsilon_1+d_2/\varepsilon_2}.$$

Сделав вычисления по последней формуле, найдем

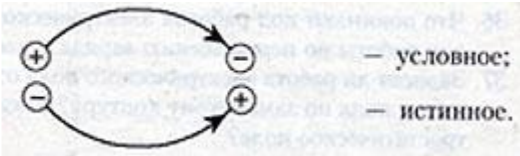
$$C=\frac{8{,}85\cdot10^{-12}\cdot100\cdot10^{-4}}{2\cdot10^{-3}/5+1{,}5\cdot10^{-3}/3}\,\Phi=9{,}83\cdot10^{-11}\Phi=98{,}3\ \text{п}\Phi.$$

Ответ: *C=98,3* пФ

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Законы постоянного тока

Электрический ток - упорядоченное движение заряженных частиц (свободных электронов или ионов).
При этом через поперечное сечение проводника переносится эл. заряд (при тепловом движении заряженных частиц суммарный перенесенный эл. заряд = 0, т.к. положительные и отрицательные заряды компенсируются).



Направление эл. тока - условно принято считать направление движения положительно заряженных частиц (от + к -).

Действия эл. тока (в проводнике):

тепловое действие тока - нагревание проводника (кроме сверхпроводников);

химическое действие тока - проявляется только у электролитов, На электродах выделяются вещества, входящие в состав электролита;

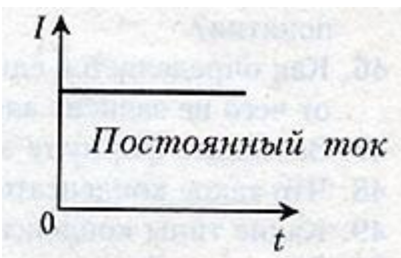
магнитное действие тока (основное) - наблюдается у всех проводников (отклонение магнитной стрелки вблизи проводника с током и силовое действие тока на соседние проводники посредством магнитного поля).

Количественная характеристика эл. тока.

$$I=\frac{\Delta q}{\Delta t}, I - екс$$

Сила тока - это отношение заряда q, перенесенного через поперечное сечение проводника за интервал времени t к этому интервалу.

Постоянный ток - эл. ток, у которого сила тока со временем не меняется.



Сила тока зависит от заряда частицы, концентрации частиц, скорости направленного движения частиц и площади поперечного сечения проводника.

$$T=\frac{20\cdot10^{3}}{30\cdot10^{3}}K$$

$$I=\frac{Q}{t}=\frac{q_e N}{t}=\frac{q_e n V}{t}=\frac{q_e n S l}{t}$$

$$I=q\cdot n\cdot S\cdot v$$

v_e –мала (мм/с); $v_{поля} = c$ = 300000 км/с

где S - площадь поперечного сечения проводника, q_o - эл. заряд частицы,

n - концентрация частиц, v - скорость упорядоченного движения электронов.

Единица измерения силы тока:

$$[I] = Кл/с = А$$

Условия, необходимые для существования электрического тока:

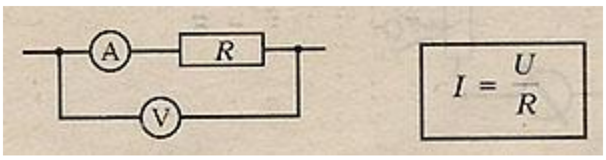
- наличие свободных электрически заряженных частиц;

- наличие внутри проводника электрического поля действующего с силой на заряженные частицы для их упорядоченного движения (свободные электроны по инерции , без действия силы, перемещаться не могут из-за тормозящего воздействия на них кристаллической решетки).

Если в проводнике существует эл. поле, то между концами проводника есть разность потенциалов.

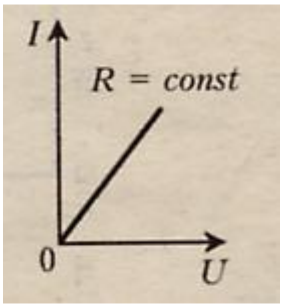
Если разность потенциалов постоянна во времени , в проводнике течет постоянный ток.

Закон ома для участка цепи



где U - напряжение на концах участка цепи, R - сопротивление участка цепи. (сам проводник тоже можно считать участком цепи).

Для каждого проводника существует своя определенная вольт-амперная характеристика.



СОПРОТИВЛЕНИЕ

- основная электрическая характеристика проводника.

- по закону Ома эта величина постоянна для данного проводника.

$$R = \frac{U}{I}$$

$$[R] = \frac{В}{А} = Ом;$$ R не зависит от U и I

1 Ом - это сопротивление проводника с разностью потенциалов на его концах в 1 В и силой тока в нем 1 А.

Сопротивление зависит только от свойств проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

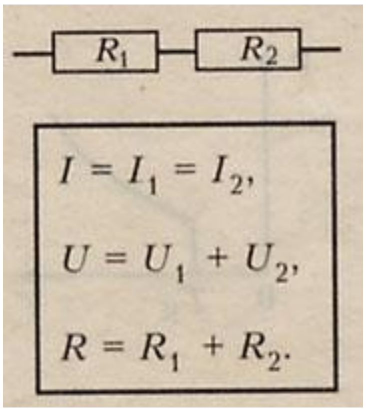
где S - площадь поперечного сечения проводника, l - длина проводника, ρ - удельное сопротивление, характеризующее свойства вещества проводника.

$$\rho = \frac{RS}{l}; \quad [\rho] = Ом \cdot м$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

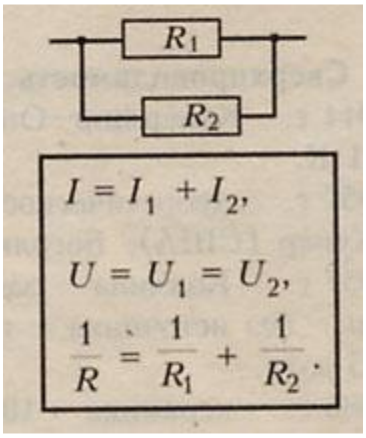
- состоят из источника, потребителя электрического тока, проводов, выключателя.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



I - сила тока в цепи
U - напряжение на концах участка цепи
R - полное сопротивление участка цепи

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



I - сила тока в неразветвленном участке цепи

U - напряжение на концах участка цепи

R - полное сопротивление участка цепи

Примеры решения задач

Задача. По медному проводу сечением S = 1 мм^2 течет ток силой I = 10 мА. Найдите среднюю скорость упорядоченного движения электронов вдоль проводника, если считать, что на каждый атом меди приходится один электрон проводимости. Молярная масса меди A = 63,6 г/моль, плотность меди ρ = 8,9 г/см^3.

Решение

Сила тока в проводнике равна заряду, протекающему за единицу времени через поперечное сечение проводника

$$I=\frac{\Delta q}{\Delta t}=nq\text{; (1)}$$

где n - концентрация электронов, q - заряд одного электрона, v - средняя скорость упорядоченного движения, S - площадь поперечного сечения проводника. Из (1) получим следующее выражение для средней скорости упорядоченного движения электронов:

$$v=\frac{I}{nqS}\text{; (2)}$$

Поскольку на каждый атом меди приходится один электрон проводимости, то концентрация электронов проводимости будет равна концентрации атомов меди.

$$n=\frac{\rho}{m}\text{;(3)}$$

где m - масса одного атома.

$$m=\frac{A}{N_A}\text{;(4)}$$

здесь N_A - число Авогадро. Подставляя (4) в (3), получим:

$$n=\frac{\rho N_A}{A}$$

Тогда скорость упорядоченного движения электронов будет иметь вид:

$$v=\frac{IA}{\rho N_A eS}=7\cdot10$$

Ответ: $V = 7 \cdot 10^{-3} \frac{сл}{с}$

Задача. В схеме, изображенной на рисунке, определите силу тока, протекающего через батарею в первый момент времени после замыкания ключа *K*; спустя большой промежуток времени. Параметры элементов схемы и внутреннее сопротивление источника *r* считать заданными.

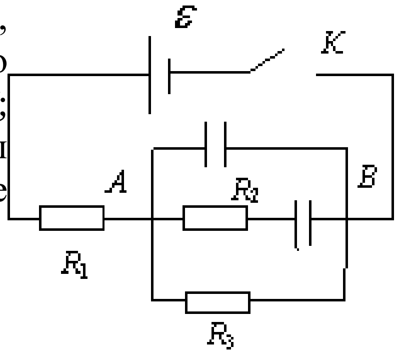


Рис. 5

Решение

В первый момент времени конденсаторы не заряжены, и ток в цепи, согласно закону Ома, будет равен

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}$$

В установившемся режиме ток течет через сопротивления R_1 и R_3, и сила тока будет равна

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_3 + r}$$

Ответ: $I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}$; $I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_3 + r}$

ОСНОВНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Электрический ток в различных средах

Сила тока в металлическом проводнике определяется по формуле:

$$I = en_0\bar{v}S$$

где I - сила тока в проводнике, **e** - модуль заряда электрона, n_0 - концентрация электронов проводимости, $\bar{v}$- средняя скорость упорядоченного движения электронов, S - площадь поперечного сечения проводника.

Плотность тока проводимости численно равна заряду, проходящему за 1с через единицу площади поверхности, перпендикулярной направлению тока.

$$j = en_0\bar{v}$$

где j - плотность тока.

У большинства металлов практически каждый атом ионизирован. А так как концентрация электронов проводимости одновалентного металла равна

$$n_0 = \frac{N_A}{A}\rho$$

где N_a - постоянная Авогадро, A - атомная масса металла, ρ - плотность металла,

то получаем что концентрация определяется в пределах 10^{28} - 10^{29} м$^{-3}$.

Закон Ома для однородного участка цепи:

$$I = \frac{U}{R}$$

где U - напряжение на участке, R - сопротивление участка.

Для однородного участка цепи:

$$R = \frac{\rho_y l}{S}$$

где $\rho_У$ - удельное сопротивление проводника, l - длина проводника, S - площадь поперечного сечения проводника.

Удельное сопротивление проводника зависит от температуры и эта зависимость выражается соотношением:

$$\rho_y = \rho_{oy}\,(1 + \alpha\,\Delta T)$$

Законы Фарадея.

1. Масса вещества, выделяемого на электроде, прямо пропорциональна электрическому заряду, прошедшему через электролит.

$$m=kq$$

где m - масса вещества, выделяющегося на электроде, k - электрохимический эквивалент, q - заряд, прошедший через электролит.

2. Электрохимический эквивалент вещества прямо пропорционален его химическому эквиваленту.

$$k=\frac{M}{Fz};F=N_Ae$$

где M - молярная масса вещества, F- постоянная Фарадея, z - валентность иона.

Постоянная Фарадея численно равна заряду, который должен пройти через электролит, чтобы выделить из него массу вещества, численно равную химическому эквиваленту.

Объединенный закон Фарадея.

$$m=\frac{M}{Fz}q=\frac{M}{N_Aez}q$$

Электрический ток в металлах. Направленное движение валентных электронов от одного атома металла к другому под действием электрического поля разности потенциалов.

Электрический ток в электролитах. Это движение ионов раствора образованных электролитической диссоциацией. Чистая дистиллированная вода очень плохо проводит электрический ток, в ней нет ионов. Электрический ток в газах переносят ионы, так же как и в электролитах.

Электрический ток в полупроводниках. Носителями электрического тока служат электроны и дырки. Это когда из молекулы полупроводника, под действием разности потенциалов (напряжения) один, или несколько электронов выпадают, а на их месте остается дырка и так по цепочке от одной молекулы к другой, соединив такой цепочкой электроды.

Электрический ток в жидкостях. В зависимости от рода жидкости могут быть разные носители. В расплавах металлов – это те же электроны, в электролитах или растворах – ионы, в расплавах полупроводников – электроны и дырки. Чистые растворители, вода, спирт, масло, бензин и т. д. плохо проводят электрический ток.

Электрический ток в вакууме. Носителями являются свободные электроны, образовавшиеся в результате термоэлектронной эмиссии, либо под действием электрического поля большой разности потенциалов, либо, как в случае с пьезоэлементом – это механическое отделение электронов. Применение электрического тока в различных средах должно происходить по правилам безопасной жизнедеятельности.

Примеры решения задач

Задача. Проводящая сфера радиусом R = 5 см помещена в электролитическую ванну, наполненную раствором медного купороса. Насколько увеличится масса сферы, если отложение меди длится t — 30 мин, а электрический заряд, поступающий на каждый квадратный сантиметр поверхности сферы за 1 с, q = 0,01 Кл? Молярная масса меди M = 0,0635 кг/моль.

Решение

Площадь поверхности сферы $S = 4\pi R2$ = 314 см^2. Следовательно, заряд, перенесённый ионами за t = 30 мин = 1800 с, равен $\Delta q = qSt$ = 0,01 Кл/(см^2 • с) • 314 см2 • 1800 с = 5652 Кл. Масса выделившейся меди равна:

$$m = \frac{M}{neN_A}\Delta q \approx 2\cdot 10^{-3}$$

Ответ: $m \approx 2\cdot 10^{-3} K$.

Задача. При электролизе, длившемся в течение одного часа, сила тока была равна 5 А. Чему равна температура выделившегося атомарного водорода, если при давлении, равном 105 Па, его объём равен 1,5 л? Электрохимическии эквивалент водорода $k=1,0*10^{-8}$Кг/Кл

Решение.

По закону Фарадея масса m выделившегося водорода:

$$m = kIt;(1)$$

Из уравнения Менделеева—Клапейрона $\frac{pV}{T}=\frac{m}{M}R$ где R — универсальная газовая постоянная (R=8,31 Дж/Моль*К), М — молярная масса атомарного водорода, определим массу водорода, полученного при электролизе:

$$m=\frac{pVM}{TR};(2)$$

Из выражений (1) и (2) определим температуру:

$$T=\frac{pVM}{RkIt}\approx 100K$$

Ответ: $T\approx 100K$

Справочные материалы

Таблица 1. Фундаментальные физические постоянные

Величина	Обозначение	Приближенное значение
Ускорение свободного падения	g	9,81 м/с^2
Нормальное атмосферное давление	p_0	$1{,}01\cdot10^5$ Па
Постоянная Авогадро	N_A	$6{,}02\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
Объем одного моля идеального газа при нормальных условиях	$V_{моль}$	$22{,}4\cdot10^{-3}$ м^3/моль
Универсальная газовая постоянная	R	8,31Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k	$1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К

Таблица 2. Точки плавления и удельные теплоты плавления твердых тел

Вещество	$T_{пл}$, К	λ, Дж/кг	Вещество	$T_{пл}$, К	λ, Дж/кг
Алюминий	932	$3{,}8\cdot10^5$	Ртуть	234	$1{,}25\cdot10^4$
Вода, лед	273	$3{,}35\cdot10^5$	Свинец	600	$2{,}5\cdot10^4$
Вода тяжелая	276,82	$3{,}16\cdot10^5$	Сера	385,8	$5{,}5\cdot10^4$
Вольфрам	3683	$2{,}6\cdot10^4$	Серебро	1233	$8{,}8\cdot10^4$
Железо	1803	$2{,}7\cdot10^5$	Сплав Вуда	-	$3{,}2\cdot10^4$
Золото	1337	$6{,}6\cdot10^4$	Сталь	1673	$2{,}1\cdot10^5$
Медь	1356	$1{,}8\cdot10^5$	Цинк	692	$1{,}18\cdot10^5$
Нафталин	353	$1{,}51\cdot10^5$	Чугун белый	1473	$1{,}3\cdot10^5$
Олово	505	$5{,}8\cdot10^4$	Чугун серый	1423	$9{,}7\cdot10^4$

Таблица 3. Точки кипения и удельные теплоты парообразования (при точках кипения)

Вещество	$T_к$, К	$t_к$, °С	r, Дж/кг
Аммиак	239,6	-33,4	$1{,}37\cdot10^6$
Ацетон	329,2	56,2	$5{,}2\cdot10^5$
Бензин	423	150	$3{,}0\cdot10^5$
Вода	373	100	$2{,}26\cdot10^6$
Вода тяжелая	374,43	101,43	$2{,}06\cdot10^6$

Воздух	81	-192	$2{,}1\cdot10^5$
Железо	3323	3050	$5{,}8\cdot10^4$
Ртуть	630	357	$2{,}85\cdot10^5$
Скипидар	433	160	$2{,}94\cdot10^5$
Спирт этиловый	351	78	$8{,}57\cdot10^5$
Фреон-12	243,2	-29,8	$1{,}68\cdot10^5$
Эфир серный	308	35	$3{,}52\cdot10^5$

Таблица 4. Удельные теплоты сгорания

Вещество	*q*, Дж/кг	Вещество	*q*, Дж/кг
Твердые топлива			
Бурый уголь	$9{,}3\cdot10^6$	Каменный уголь: марки А-I	$2{,}05\cdot10^7$
Древесный уголь	$2{,}97\cdot10^7$	марки А-II	$3{,}03\cdot10^7$
Дрова сухие, солома	$8{,}3\cdot10^6$	Кокс	$3{,}03\cdot10^7$
Древесные чурки	$1{,}5\cdot10^7$	Порох	$3{,}0\cdot10^6$
		Торф	$1{,}5\cdot10^7$
Жидкие топлива			
Бензин, нефть	$4{,}6\cdot10^7$	Лигроин	$4{,}33\cdot10^7$
Дизельное горючие	$4{,}2\cdot10^7$	Мазут	$4{,}0\cdot10^7$
Керосин	$4{,}31\cdot10^7$	Спирт этиловый	$2{,}7\cdot10^7$
Газообразные топлива (для 1 м^3 при нормальных условиях)			
Генераторный газ	$5{,}5\cdot10^6$	Природный газ	$3{,}55\cdot10^7$
Коксовый газ	$1{,}64\cdot10^7$	Светильный газ	$2{,}1\cdot10^7$

Таблица 5. Удельные теплоемкости некоторых веществ

Вещество	***c*, Дж/(кг·К)**	**Вещество**	***c*, Дж/(кг·К)**
Твердые тела			
Алюминий	880	Парафин	3200
Бетон	880	Песок	970
Дерево	2700	Платина	125

Железо, сталь	460	Свинец	120
Золото	125	Серебро	250
Кирпич	750	Стекло	840
Латунь	380	Цемент	800
Лед	2090	Цинк	400
Медь	380	Чугун	550
Нафталин	1300	Сера	712
Олово	250		
Жидкости			
Вода	**4187**	**Масло трансформаторное**	**2093**
Глицерин	2430	Ртуть	125
Железо	830	Спирт этиловый	2430
Керосин	2140	Эфир серный	2330
Машинное масло	2100		
Газы (при постоянном давлении)			
Азот	1000	Воздух	1000
Аммиак	2100	Гелий	5200
Водород	14300	Кислород	920
Водяной пар	2200	Углекислый газ	830

Таблица 6. **Плотности некоторых веществ**

Вещество	ρ, кг/м^3	Вещество	ρ, кг/м^3
Твердые вещества			
Алмаз	3500	Нихром	8300
Алюминий	2700	Олово	7300
Вольфрам	19300	Парафин	900
Германий	5320	Платина	21500
Графит	2100	Поваренная соль	2100
Железо, сталь	7800	Полоний	9280
Золото	19300	Пробка	240
Иридий	22400	Свинец	11400
Кирпич	1800	Серебро	10500

Константан	8900	Слюда	2800
Латунь	8500	Стекло	2500
Лед (0ºС)	900	Уголь каменный	1400
Манганин	8500	Уран	18700
Медь	8900	Фарфор	2300
Медный купорос	2200	Цинк	7100
Нашатырь	1500	Цинк сернистый	4040
Никелин	8800	Чугун	7400
Никель	8900	Эбонит	1200
Жидкости (при 293 К)			
Анилин	1020	Масло растительное оливковое	920
Бензин	700	Нефть	800-900
Бензол	900	Нитробензол	1200
Вода при 277К	1000	Раствор медного купороса насыщенный	1150
Вода при 373К	958	Ртуть при 0ºС	13600
Вода тяжелая при температуре наибольшей плотности 284,23К	1106	Скипидар	870
Глицерин	1200	Спирт этиловый	790
Керосин	800	Эфир серный	710
Масло минеральное	920		
Газы (при нормальных условиях)			
Азот	1,25	Криптон	3,74
Аммиак	0,77	Ксенон	5,85
Аргон	1,78	Метан	0,72
Ацетилен	1,17	Неон	0,90
Воздух	1,29	Светильный газ	0,73
Водород	0,09	Углекислый газ	1,98
Гелий	0,18	Хлор	3,21
Кислород	1,43		