

ДЛЯ РАБОТЫ В КЛАССЕ И ДОМА
ПО ЛЮБОМУ УЧЕБНИКУ

Л. Э. Генденштейн
А. А. Булатова
И. Н. Корнильев
А. В. Кошкина

ФИЗИКА

10

- ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ
- ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРЕХ УРОВНЕЙ СЛОЖНОСТИ
- ПОДРОБНЫЕ УКАЗАНИЯ К ТРУДНЫМ ЗАДАЧАМ
- ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО
БИНОМ

Л. Э. Генденштейн,
А. А. Булатова, И. Н. Корнильев, А. В. Кошкина

ФИЗИКА

10 класс

Базовый и углубленный уровни

Задачник

- ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ
- ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ТРЕХ УРОВНЕЙ СЛОЖНОСТИ
- ПОДРОБНЫЕ УКАЗАНИЯ К ТРУДНЫМ ЗАДАЧАМ
- ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

Соответствует федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования и примерной основной образовательной программе среднего общего образования



Москва
БИНОМ. Лаборатория знаний
2018

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721
Г34

Авторы:
Л. Э. Генденштейн, А. А. Булатова,
И. Н. Корнильев, А. В. Кошкина

Генденштейн Л. Э.

Г34 Физика. 10 класс. Базовый и углубленный уровни.
Задачник : учебно-методическое пособие / Л. Э. Генденштейн, А. А. Булатова и др. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2018. — 240 с. : ил.

ISBN 978-5-9963-3616-6

Пособие ориентировано на обучение решению задач и соответствует структуре учебного предмета «Физика» в 10-11 классах. Содержит также вопросы и задания трёх уровней сложности для самостоятельной работы и подробные указания к решению трудных задач.

Оно может быть использовано для базового и углублённого изучения физики в классах физико-математического, инженерно-технологического, универсального и других профилей. Используемый математический аппарат согласуется с учебным предметом «Математика».

Соответствует федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования и примерной основной образовательной программе среднего общего образования.

Предназначено для общеобразовательных организаций: школ, лицеев, гимназий, центров образования и пр.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я721

Тому, кто хочет НАУЧИТЬСЯ решать задачи по физике

Эту книгу можно использовать при изучении физики по *любому* учебнику. Она поможет Вам научиться *решать* задачи, а не заучивать готовые решения. Вы обнаружите, что решать задачи намного интересней и к тому же намного надёжней, чем вспоминать заученные решения на контрольной или на ЕГЭ по физике.

По каждому разделу программы физики 10-го класса Вы найдёте много *обучающих* вопросов и заданий. Уровень их сложности *постепенно повышается* — от самых простых до довольно сложных.

Успешно справиться с заданиями высокого уровня сложности Вам помогут предложенные здесь «ступеньки», по которым Вы будете шаг за шагом подниматься на высокий уровень (туда и правда трудно «запрыгнуть» одним прыжком).

Наши «ступеньки» — это вопросы *постепенно увеличивающейся сложности* по одной и той же ситуации, описанной в условии задачи. Их последовательность тщательно подобрана так, чтобы научить Вас *правильному (исследовательскому!)* подходу к решению задач.

Вы убедитесь на собственном опыте, что не стоит пытаться *сразу* найти ответ на поставленный в задаче вопрос — это обычно нереально. Чтобы достичь успеха, надо *исследовать* ситуацию, описанную в условии задачи, то есть *записать* все соотношения, справедливые для данной ситуации (не обращая внимания на то, какие величины заданы, какие надо найти, а о каких вообще ничего не сказано в условии).

В результате вы получите *систему уравнений*. Это — *ключ к решению задачи*: Вам останется только решить систему относительно искомой величины (или величин).

Описанный подход к решению задач мы кратко сформулировали на следующей странице в виде «*Золотого правила решения задач*».

В каждом разделе после обучающих вопросов и заданий приведены *вопросы и задания для самостоятельной работы базового, повышенного и высокого* уровней сложности. Не пропускайте простых заданий, даже если Вы уверены в себе: они помогут Вам справиться с более трудными задачами, к которым не всегда даны «ступеньки».

Ко многим заданиям (особенно обучающим) приведены советы непосредственно после условий. Они помогут Вам наметить путь решения.

К наиболее трудным задачам в конце книги приведены *подробные указания*. Они помогут Вам составить систему уравнений, открывающую путь к решению.

Тому, кто хочет НАУЧИТЬ решать задачи по физике

Эта книга поможет Вам научить школьников *решать задачи по физике* — как в классе, так и на индивидуальных занятиях.

Вы лучше других знаете, как трудно научить школьников решать задачи по физике. Эта трудность имеет простую причину: дело в том, что не существует самого по себе «умения решать задачи по физике». Это умение — «побочный продукт» *исследовательского подхода*. Тот, кто овладел этим подходом, сможет решить задачу даже высокого уровня сложности. А развить исследовательский подход у Ваших учеников как раз и поможет эта книга.

Вы найдёте в ней много *обучающих* вопросов и заданий по всем разделам школьного курса физики 10-го класса. В этих вопросах и заданиях ставится ряд постепенно усложняющихся вопросов по *одной и той же ситуации* — именно в той последовательности, которая и характеризует исследовательский подход.

В книге, в частности, исследованы указанным образом практически все ситуации, встречавшиеся на заданиях ЕГЭ по физике.

Работая с учениками, не предлагайте им сразу все вопросы по данной ситуации — сначала задавайте вопросы по одному в порядке усложнения, а потом постепенно предлагайте им *самим задавать вопросы* по рассматриваемой ситуации. Так Вы поможете своим

ученикам скорее овладеть исследовательским подходом, в результате чего они будут получать радость не только от решения задач, но и от их постановки.

Вопросы и задания для самостоятельной работы трёх уровней сложности можно использовать как для работы в классе (в том числе для проведения кратковременных самостоятельных работ), так и для заданий на дом.

Если трудная задача не поддаётся, предложите ознакомиться с подробными указаниями, приведёнными в конце книги для большинства трудных задач. Эти указания — не решения, которые можно «списать»: они помогут Вашим ученикам «сдвинуться с мёртвой точки» и справиться с задачей.

Желаем от всей души удачи всем, кто будет работать по этой книге!

Авторы

«ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

- 1. Закройте поставленный в задаче вопрос и сосредоточьтесь на ситуации, описанной в условии задачи: какие закономерности справедливы для этой ситуации?**
- 2. Запишите эти закономерности в виде системы уравнений. При этом не бойтесь использовать величины, не упомянутые в условии задачи.**
- 3. Откройте вопрос задачи и решите полученную систему уравнений относительно иско-
мых величин.**

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

КИНЕМАТИКА

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$l = \frac{|v^2 - v_0^2|}{2a}$$

$$a = \frac{v^2}{r}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$v = \frac{1}{T}$$

$$\omega = 2\pi v$$

ДИНАМИКА

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

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

$$\vec{F}_T = m\vec{g}$$

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

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

$$g = G \frac{M_{\text{зем}}}{R_{\text{зем}}^2}$$

$$v_I = \sqrt{R_{\text{зем}} g}$$

$$F = k|x|$$

$$x = l - l_0$$

$$F_{\text{тр. ск}} = \mu N$$

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N$$

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

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

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

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots = \text{const}$$

$$A = F s \cos \alpha$$

$$A_T = mg(h_H - h_K)$$

$$A_{\text{упр}} = \frac{k(x_H^2 - x_K^2)}{2}$$

$$P = \frac{A}{t} = Fv$$

$$E_p = mgh$$

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

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

$$E_{\text{мех}} = E_p + E_k$$

$$E_p + E_k = \text{const}$$

$$\Delta E_{\text{мех}} = A_{\text{тр}}$$

СТАТИКА

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots = 0$$

$$M_1 + M_2 + \dots = 0$$

$$M = Fl$$

$$p = \frac{F}{S}$$

$$p = \rho gh$$

$$F_A = \rho g V_{\text{погр}}$$

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

$$N = \nu N_A$$

$$m = \nu M$$

$$\frac{pV}{T} = \text{const} \quad \text{при } m = \text{const}$$

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT$$

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}$$

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}$$

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$$

$$\overline{v^2} = \frac{3kT}{m_0} = \frac{3RT}{M}$$

$$\varphi = \frac{p}{p_H} \cdot 100\%$$

ТЕРМОДИНАМИКА

$$Q = cm(t_K - t_H)$$

$$Q = qm$$

$$Q = \Delta U + A_r$$

$$U = \frac{3}{2} \nu RT$$

$$U = \frac{3}{2} pV$$

$$A_r = p\Delta V$$

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q_1} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%$$

$$Q = \lambda m$$

$$Q = Lm$$

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon r^2}$$

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

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$A = qU$$

$$C = \frac{q}{U}$$

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

$$W_p = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$$

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Последовательное соединение

$$I = I_2 = I_3$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

Параллельное соединение

$$I = I_1 + I_2$$

$$U = U_1 = U_2$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$Q = I^2 R t$$

$$A = I U t$$

$$P = I U$$

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

$$U = \mathcal{E} - I r$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$$

$$m = \frac{m_0 q}{e n}$$

КИНЕМАТИКА

Система отсчёта, траектория, путь и перемещение

Тело можно рассматривать как материальную точку, если:

- размеры тела малы по сравнению с расстоянием, пройденным телом.
- тело движется поступательно, то есть все его точки движутся одинаково.

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Поступательно ли движутся педали велосипеда, едущего по прямой дороге?

Совет. Тело движется поступательно, если все его точки движутся одинаково.

2. Что представляет собой траектория едущего автомобиля в системе отсчёта, связанной с этим автомобилем?

Совет. В системе отсчёта, связанной с автомобилем, сам автомобиль покоится.

3. Автомобиль проехал дважды по всему кольцевому шоссе длиной 100 км. Чему равен пройденный автомобилем путь?

Совет. Если тело проходит какой-то участок траектории n раз, то пройденный путь равен длине этого участка, умноженной на n .

4. Только один из графиков, изображённых на рисунке 1, может быть графиком зависимости пути от времени. Какой?

Совет. Путь не может быть отрицательным и не может уменьшаться со временем.

5. Какова траектория тела, если:

- модуль перемещения тела равен пройденному пути;
- перемещение тела равно нулю, но путь не равен нулю?

6. Длина минутной стрелки часов равна 10 см.

- Чему равен путь, пройденный концом стрелки за один час?
- Чему равен модуль перемещения конца стрелки за один час?
- Чему равен путь, пройденный концом стрелки за полчаса?
- Чему равен модуль перемещения конца стрелки за полчаса?

7. Самолёт взлетел на Северном полюсе, пролетел до экватора вдоль меридиана, после чего повернул на 90° и пролетел ещё 10 000 км. Во сколько раз проделанный самолётом путь больше модуля его перемещения? Считайте Землю шаром, длину экватора примите равной 40 000 км.

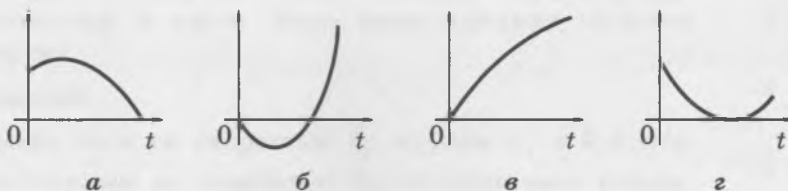


Рис. 1

Совет. Сделайте чертёж, иллюстрирующий описанную в условии ситуацию. Летя вдоль меридиана, самолёт проделал путь, равный четверти экватора, летя затем вдоль экватора, он также проделал путь, равный четверти экватора. Поэтому проделанный самолётом путь равен 20 000 км. В результате самолёт переместился с *полюса* в некоторую точку на *экваторе*. Модуль перемещения самолёта равен длине *прямолинейного* отрезка между этими точками.

8. Автомобиль проехал от пункта *A* до пункта *B* по прямой дороге и на обратном пути остановился в пункте *C*, находящемся между *A* и *B*. Известно, что $AB = 10$ км, $AC = 4$ км.

- Сделайте чертёж по описанию данной ситуации.
- Выразите пройденный автомобилем путь l через AB и AC .
- Выразите модуль перемещения автомобиля s через AC .
- Во сколько раз пройденный автомобилем путь больше модуля его перемещения?

Совет. г) Выразите отношение $\frac{l}{s}$ через AB и AC .

9. Падающий с начальной высоты мяч после удара о землю поднялся на некоторую высоту. Какую долю начальной высоты она составляет, если пройденный мячом к этому моменту путь оказался в 4 раза больше модуля его перемещения?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

10. Спортивный самолёт с пропеллером летит равномерно по горизонтали. Какова форма траектории точки на конце лопасти пропеллера в системе отсчёта, связанной:

- с кабиной пилота;
- с Землёй;
- с пропеллером?

11. Отчалив от пристани, катер проплыл 600 м на юг, затем повернул на восток и проплыл ещё 800 м. Сделайте чертёж, найдите пройденный путь и модуль перемещения катера.

Повышенный уровень

12. На рисунке 2 изображена траектория движения тела. Во сколько раз пройденный телом путь больше модуля его перемещения?

Совет. Воспользуйтесь теоремой Пифагора.

Высокий уровень

13. Турист прошёл по дороге 2 км на юг, а потом ещё 4 км — на юго-восток. Чему равны модуль перемещения туриста и угол между вектором перемещения и направлением на юг?

Совет. Сделайте в тетради схематический чертёж и воспользуйтесь теоремами косинусов и синусов.

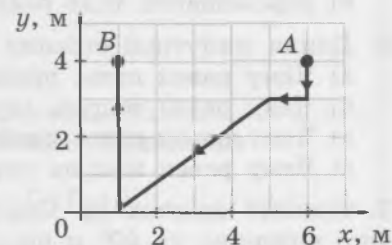
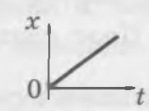


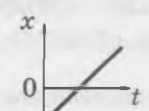
Рис. 2

Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей



$$\bar{v} = \frac{\bar{s}}{t} \quad v_x = \frac{x}{t}$$

$$x = v_x t$$

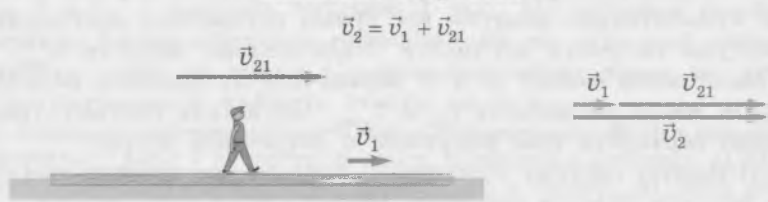


$$x = x_0 + v_x t$$

Средняя скорость на двух участках

$$v_{\text{ср}} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2}$$

Сложение скоростей

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}_{21}$$


ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

График зависимости координаты тела от времени

14. На рисунке 3 изображены графики зависимости $x(t)$ для пешехода и велосипедиста, движущихся вдоль оси x .

- а) Какой цифрой отмечен график зависимости $x(t)$ для велосипедиста?
- б) Для какого графика проекция скорости на ось x отрицательна?

Совет. а) Найдите скорости движения, соответствующие каждому графику, и оцените, с какой скоростью может двигаться *пешеход* (не бегун).

Средняя скорость

15. Автобус проезжает расстояние 40 км между двумя посёлками за 1 ч. На сколько уменьшилась его средняя скорость, когда в расписании автобуса появились три новые остановки по 5 мин каждая?

Совет. Найдите время движения автобуса после добавления остановок.

16. Женя некоторое время ехал на велосипеде со скоростью 15 км/ч, а потом велосипед сломался, и Женя ещё *столько же времени* шёл, ведя велосипед со скоростью 5 км/ч. Чему равна средняя скорость Жени на всём пути?

17. Женя некоторое расстояние проехал на велосипеде со скоростью 15 км/ч, а потом ещё *такое же расстояние* прошёл, ведя велосипед со скоростью 5 км/ч. Чему равна средняя скорость Жени на всём пути?

Сложение скоростей

18. По реке плывёт плот со скоростью \bar{v}_1 , причём $v_1 = 0,3$ м/с, а по плоту идёт человек со скоростью \bar{v}_{21} относительно *плота*, причём $v_{21} = 1$ м/с.

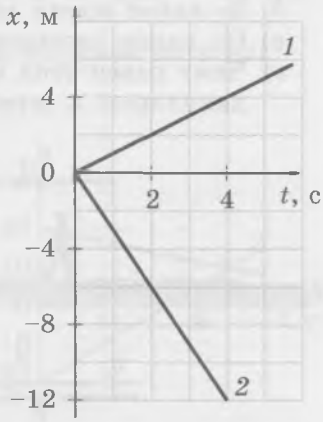


Рис. 3

- а) Чему равна и как направлена скорость \vec{v}_2 человека относительно берега, если он идёт по плоту *в направлении* течения реки (рис. 4)?
- б) Чему равна и как направлена скорость \vec{v}_2 человека относительно берега, если он идёт по плоту *противоположно* течению реки (рис. 5)?

19. От пристани *A* к пристани *B* отплыли одновременно плот и катер. Скорость катера относительно воды в 3 раза больше, чем скорость течения. Плот приплыл к пристани *B* через 1 ч после отправления.

- а) Во сколько раз скорость катера относительно берега больше скорости течения, когда он плывёт по течению? против течения?
- б) За какой промежуток времени катер проплыл от *A* до *B*? от *B* до *A*?

Совет. а) Скорость катера относительно берега является векторной суммой скорости катера относительно воды и скорости течения.

20. Вертолёт пролетел при попутном ветре от *A* до *B* за 1,5 ч. Во время обратного перелёта направление и скорость ветра оставались прежними, а перелёт длился 1 ч 50 мин. Скорость вертолёта относительно воздуха всё время оставалась постоянной.

- а) Обозначьте модуль скорости вертолёта относительно воздуха $v_{\text{вер}}$, модуль скорости ветра $v_{\text{вет}}$, а расстояние между *A* и *B* обозначьте d . Времена перелёта при попутном и при встречном ветре обозначьте $t_{\text{по}}$ и $t_{\text{прот}}$. Запишите систему уравнений, описывающих движение вертолёта при попутном и встречном ветре.
- б) Используя полученную систему уравнений, найдите, во сколько раз скорость вертолёта относительно воздуха больше скорости ветра.
- в) Сколько времени занял бы перелёт от *A* до *B* при отсутствии ветра?

Совет. б) Можно разделить одно уравнение системы на другое: левую часть первого уравнения разделить на левую часть второго, а правую часть первого — на правую часть второго. в) Запишите систему уравнений для времён движения по ветру, против ветра и без ветра. «Переверните» потом каждое из этих уравнений и составьте одно уравнение, в которое входят только указанные три промежутка времени. После сокращений вы получите одно уравнение с одним неизвестным.

21. Когда Саша спускается на эскалаторе, стоя на одной и той же ступеньке, спуск занимает 1 мин, а когда он идёт по ступенькам движущегося эскалатора, спуск занимает 45 с. Сколько времени Саша будет спускаться по тому же эскалатору, если эскалатор остановится, а Саша будет идти с той же скоростью относительно эскалатора?

Совет. Запишите систему уравнений, описывающих движение Саши в каждом случае.

22. Рыбак на моторной лодке переправляется через реку. При этом скорость лодки *относительно воды* перпендикулярна скорости течения и равна 2 м/с. Ширина реки 60 м, скорость течения 1 м/с. На рисунке 6 схематически показаны некоторые положения лодки во время переправы.

- а) Чему равен модуль скорости лодки относительно берега?
- б) За какое время рыбак переправится через реку?
- в) На какое расстояние вдоль берега снесёт лодку за время переправы?
- г) Чему равен угол между направлением скорости лодки относительно берега и перпендикуляром к берегу?

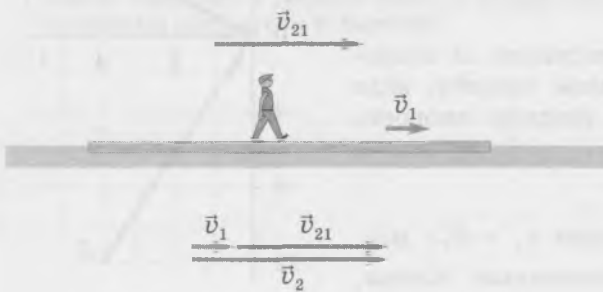


Рис. 4

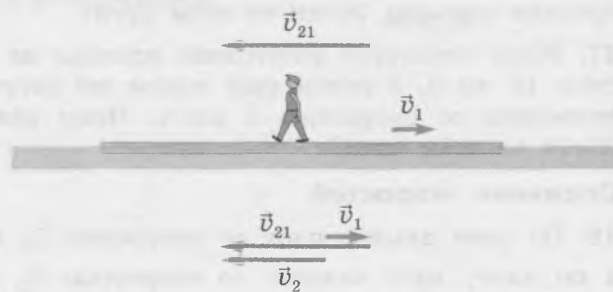


Рис. 5

д) Чему равен модуль перемещения лодки относительно берега за время переправы?

Совет. а) Согласно правилу сложения скоростей $\vec{v}_{лб} = \vec{v}_{лв} + \vec{v}_т$, где $\vec{v}_{лб}$ — скорость лодки относительно берега, $\vec{v}_{лв}$ — скорость лодки относительно воды, $\vec{v}_т$ — скорость течения (рис. 7). Воспользуйтесь теоремой Пифагора. б) Удобно перейти в систему отсчёта, связанную с плотом, плывущим по течению: в этой системе отсчёта скорость лодки направлена перпендикулярно берегу, откуда

следует, что время переправы $t = \frac{d}{v_{лв}}$, где $v_{лв}$ — скорость лодки относительно воды, d — ширина реки.

в) Поскольку скорость лодки относительно воды направлена перпендикулярно берегу, расстояние b , на которое снесёт лодку, выражается формулой $b = v_т t$, где $v_т$ — скорость течения.

г) Воспользуйтесь тем, что $\text{tg} \alpha = \frac{v_т}{v_{лв}}$.

23. Лодочнику надо переправиться на моторной лодке через реку шириной 60 м в точку Б, расположенную *точно напротив* начальной точки А (рис. 8). Скорость лодки относительно воды 2 м/с, а скорость течения 1 м/с. На рисунке показаны промежуточные положения лодки, чтобы обратить внимание на то, что для переправы в точку Б лодка должна держать курс на точку Г, расположенную *выше* по течению. Поставьте три вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Найдите с помощью чертежа скорость лодки относительно берега как векторную сумму скорости лодки относительно воды и скорости течения. Возможные вопросы: а) Какой угол составляет скорость лодки *относительно воды* с перпендикуляром к берегу? б) Чему равна скорость лодки относительно берега? в) Сколько времени займёт переправа?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

24. Найдите место и время встречи двух велосипедистов, движущихся вдоль прямой дороги, если зависимость координаты x от времени t в единицах СИ для первого и второго велосипедистов выражается формулами: $x_1 = 5t$, $x_2 = 150 - 10t$.

Совет. В момент встречи значения координаты x велосипедистов одинаковы.

25. На рисунке 9 изображены графики зависимости $x(t)$ для двух материальных точек, движущихся вдоль оси x . Поставьте по этим графикам три вопроса и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Каковы формулы, выражающие зависимость $x(t)$ для каждой материальной точки в единицах СИ? б) В какой момент времени произошла встреча этих точек и какова координата места их встречи? в) Какой путь прошла каждая материальная точка до встречи?

26. Автомобиль в течение 20 мин ехал со скоростью 72 км/ч, а затем 10 мин — со скоростью 90 км/ч. Чему равна средняя скорость автомобиля?

Совет. Найдите путь, пройденный автомобилем, на каждом участке и за всё время движения.

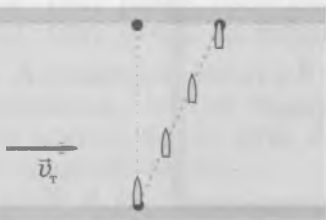


Рис. 6

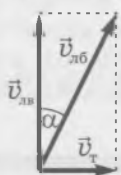


Рис. 7

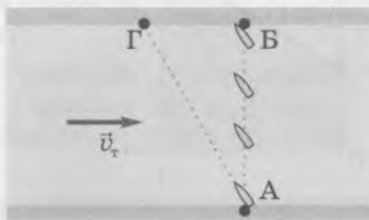


Рис. 8

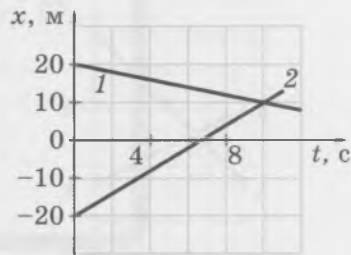


Рис. 9

Повышенный уровень

27. Обгоняя плывущий по реке плот длиной 20 м, лодка сместилась относительно берега на 30 м. Чему равно смещение плота относительно берега за это время?

Совет. Смещение лодки относительно берега равно векторной сумме смещения лодки относительно плота и смещения плота относительно берега.

28. По двум перпендикулярным шоссе едут автомобиль со скоростью 15 м/с и мотоцикл со скоростью 20 м/с. Чему равен модуль скорости мотоцикла в системе отсчёта, связанной с автомобилем?

Совет. Сделайте схематический рисунок и воспользуйтесь теоремой Пифагора.

Высокий уровень

29. Одну треть всего пути мотоциклист ехал со скоростью 50 км/ч, а оставшуюся часть пути — со скоростью 60 км/ч. Чему равна средняя скорость мотоциклиста и пройденный им путь, если на всю дорогу ему потребовалось 4 ч?

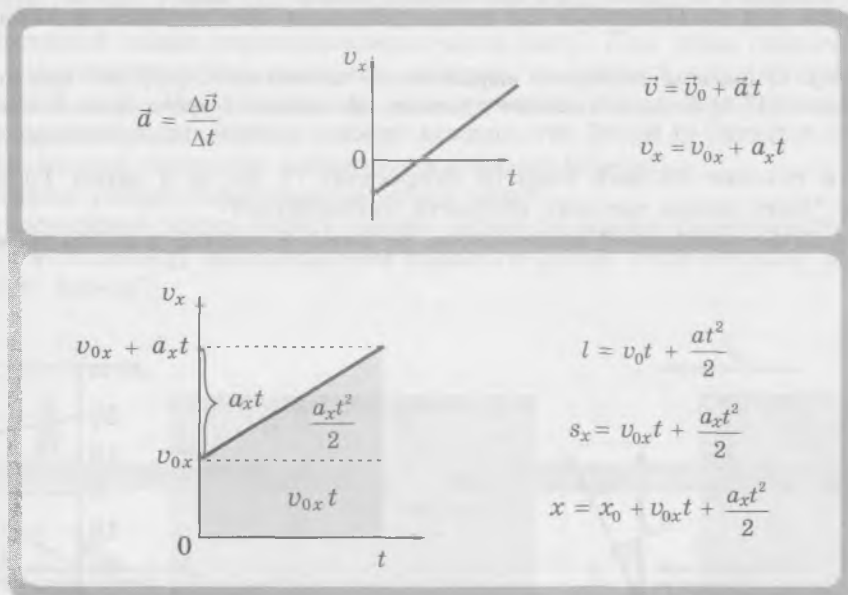
30. Сколько времени плывёт плот по реке от города М до города Н, если из М до Н теплоход плывёт 6 ч, а из Н до М — 8 ч?

Совет. Запишите систему уравнений, описывающих движение плота, а также движение теплохода по течению и против течения.

31. Аист совершает перелёт между посёлками А и Б в безветренную погоду за 1 ч. Во время следующего полёта дует ветер, направленный перпендикулярно отрезку АБ, причём модуль скорости ветра в 3 раза меньше скорости аиста относительно воздуха. Поставьте два вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них. Модуль скорости аиста относительно воздуха не изменяется.

Совет. Например: а) Сколько времени будет длиться перелёт при указанном ветре? б) Какой угол составляет скорость аиста относительно воздуха с отрезком АБ?

Прямолинейное равноускоренное движение



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Ускорение

32. Как изменяется модуль скорости тела, если:

- ускорение направлено так же, как начальная скорость;
- ускорение направлено противоположно начальной скорости?

33. Зависимость $v_x(t)$ для четырёх автомобилей, движущихся вдоль оси x , выражается следующими формулами (в единицах СИ):

- $v_x = 8 + 2t$;
- $v_x = 20 - 4t$;
- $v_x = -10 + t$;
- $v_x = -15 - 3t$.

Какие автомобили разгоняются в течение трёх секунд наблюдения, а какие — тормозят?

Совет. Модуль скорости тела увеличивается, если начальная скорость и ускорение направлены одинаково, то есть если проекции начальной скорости и ускорения имеют *одинаковый знак*.

График зависимости скорости от времени при прямолинейном равноускоренном движении

34. На рисунке 10 изображены графики зависимости проекции скорости от времени для двух автомобилей, движущихся вдоль оси x . Поставьте три вопроса по этим графикам и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Какой из автомобилей тормозит? Чему равен модуль его ускорения? б) У какого автомобиля модуль ускорения меньше? Чему он равен? в) Запишите формулы, выражающие зависимость $v_x(t)$ для каждого автомобиля в единицах СИ.

35. Зависимость проекций скорости на ось x от времени для двух тел выражается в единицах СИ формулами $v_{1x} = 6 - 3t$, $v_{2x} = 2 + t$.

- Постройте графики $v_{1x}(t)$ и $v_{2x}(t)$ на одном чертеже.
- В какой момент времени скорости тел равны?
- В какие моменты времени скорости тел равны *по модулю*?

Совет. б) Векторные величины равны, если они равны по модулю и *одинаково направлены*.

Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении

36. Тело движется из состояния покоя с ускорением 2 м/с^2 . Чему равны пути, пройденные телом: за 1 с ; 2 с ; 3 с ; 4 с ? Замечили ли вы простую закономерность?

37. Автомобиль трогается с места и движется с постоянным ускорением. За первые 4 с он проехал 20 м . Определите *устно*, какое расстояние проедет автомобиль:

- за 8 с ;
- за 16 с ?

Совет. Воспользуйтесь тем, что пройденный путь пропорционален *квадрату* времени движения: например, при увеличении времени движения в 2 раза пройденный путь увеличивается в 4 раза.

38. Зависимость координаты тела от времени выражается в единицах СИ формулой $x = 6 - 5t + t^2$.

- Чему равна начальная координата тела?
- Чему равна проекция начальной скорости?
- Чему равна проекция ускорения?

39. Автомобиль тронулся с места и, двигаясь с постоянным ускорением, достиг скорости 10 м/с , проехав 40 м . Определите *устно*, какой путь проехал автомобиль к моменту, когда его скорость равна:

- 20 м/с ;
- 40 м/с ?

Совет. При равноускоренном движении без начальной скорости пройденный путь пропорционален *квадрату* конечной скорости.

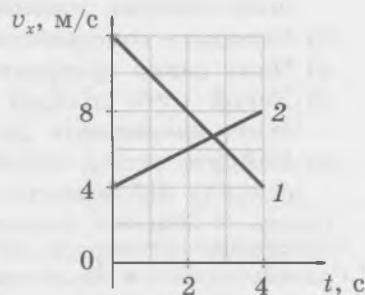


Рис. 10

40. Докажите, что если тело движется прямолинейно равноускоренно и его скорость увеличивается, то пройденный путь выражается через начальную и конечную скорости, а также модуль ускорения формулой

$$l = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

Совет. Выразите t через v , v_0 и a из формулы $v = v_0 + at$ и подставьте полученное выражение для t в формулу для пути.

41. Докажите, что если тело движется прямолинейно равноускоренно и его скорость уменьшается, то пройденный телом путь выражается формулой

$$l = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}.$$

42. Проехав 200 м, автомобиль разогнался от скорости 10 м/с до 30 м/с. Поставьте три задачи по этой ситуации и решите их.

Совет. Например: а) С каким ускорением двигался автомобиль? б) За какое время автомобиль проехал указанный путь? в) Чему равна средняя скорость автомобиля?

43. Путь, пройденный тормозящим автомобилем до остановки, называют *тормозным путём*. С помощью рисунка 11 докажите, что тормозной путь выражается формулой

$$l_{\text{т}} = \frac{v_0^2}{2a}.$$

44. При экстренном торможении ускорение автомобиля равно 5 м/с^2 . Чему равен тормозной путь автомобиля при начальной скорости 60 км/ч (максимальная разрешённая скорость в городе)?

45. Автомобиль въехал на некоторый участок прямой дороги со скоростью $v_1 = 40 \text{ км/ч}$, а съехал с него со скоростью $v_2 = 80 \text{ км/ч}$. Весь участок автомобиль проехал с постоянным ускорением за время $t = 2 \text{ мин}$.

- Выведите формулу, выражающую длину участка d через v_1 , v_2 и t .
- Чему равна длина участка?

Совет. а) Воспользуйтесь тем, что путь численно равен площади фигуры, заключённой под графиком зависимости скорости от времени, а также тем, что площадь трапеции равна произведению полусуммы её оснований на высоту.

46. Автобус отошёл от остановки и за 12 с разогнался до скорости 72 км/ч, двигаясь с постоянным ускорением. Какова средняя скорость автобуса во время разгона? Есть ли в условии лишние данные?

47. Автомобиль движется равноускоренно с некоторой начальной скоростью. За первую секунду автомобиль проехал 8 м, а за вторую — 10 м.

- Обозначьте ускорение автомобиля a , его скорость в начале первой секунды v_1 , в начале второй — v_2 , промежуток времени продолжительностью 1 с обозначьте τ , а пути, пройденные за первую и вторую секунды наблюдения, обозначьте l_1 и l_2 . Запишите систему уравнений для описанной ситуации.
- Выведите соотношение, связывающее l_1 , l_2 , a и τ .
- Чему равно ускорение автомобиля?
- Какой путь проедет автомобиль за третью секунду, если будет продолжать двигаться с тем же ускорением?
- Найдите устно, какой путь проедет автомобиль за шестую секунду наблюдения.

Совет. г) Обратите внимание, что «приращение» пути, проходимого за каждую следующую секунду, одно и то же. Это означает, что при равноускоренном движении в одном направлении пути, проходимые за последовательные равные промежутки времени, образуют арифметическую прогрессию.

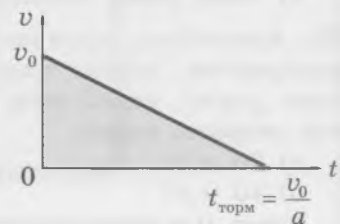


Рис. 11

48. Докажите, что пути, проходимые за равные последовательные промежутки времени при прямолинейном равноускоренном движении без начальной скорости, относятся как последовательные нечётные числа, начиная с единицы:

$$l_1 : l_2 : l_3 \dots = 1 : 3 : 5 \dots$$

Совет. См. рисунок 12.

49. Автомобиль разгоняется с места, двигаясь равноускоренно. За первую секунду он проехал 2 м. Какое расстояние он проехал за *третью* секунду? Попробуйте решить задачу *устно*.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

50. Схематически изобразите в тетради лифт, а рядом с ним — его скорость и ускорение для следующих случаев:

- лифт разгоняется, двигаясь вверх;
- лифт разгоняется, двигаясь вниз;
- лифт тормозит, двигаясь вверх;
- лифт тормозит, двигаясь вниз.

Совет. Вектор ускорения совпадает по направлению с вектором *изменения* скорости. Направление скорости значения не имеет.

51. Автомобиль за 10 с разгоняется с места до скорости 20 м/с, двигаясь прямолинейно равноускоренно.

- С каким ускорением двигался автомобиль?
- Постройте график зависимости модуля скорости автомобиля от времени.
- Чему равна скорость автомобиля через 5 с после старта?

52. Чему равен тормозной путь автомобиля, движущегося со скоростью 72 км/ч, если он остановился через 5 с после начала торможения?

Повышенный уровень

53. Рассмотрите график зависимости проекции скорости материальной точки от времени (рис. 13). Чему равна средняя скорость материальной точки?

Совет. Найдите путь, пройденный материальной точкой за всё время движения. Путь численно равен площади фигуры, заключённой под графиком зависимости $v_x(t)$.

54. На рисунке 14 изображён график зависимости от времени проекции ускорения автомобиля, движущегося вдоль оси x . В начальный момент скорость автомобиля равна нулю.

- Чему равна скорость автомобиля через 3 с?
- Какой путь пройдёт автомобиль за 5 с?

Совет. Постройте график зависимости проекции скорости на ось x от времени. Путь численно равен площади фигуры, заключённой под графиком зависимости $v_x(t)$.

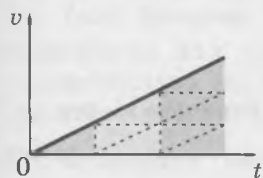


Рис. 12

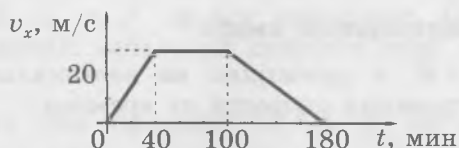


Рис. 13

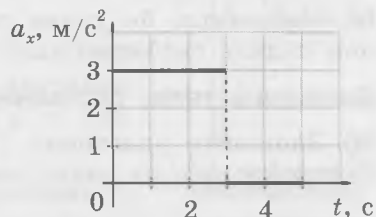


Рис. 14

55. Тело движется равноускоренно из состояния покоя. За вторую секунду оно прошло 15 см. Какой путь пройдёт тело за пятую секунду?

Совет. Пути, проходимые за равные последовательные промежутки времени при прямолинейном равноускоренном движении без начальной скорости, относятся как последовательные нечётные числа, начиная с единицы: $l_1 : l_2 : l_3 \dots = 1 : 3 : 5 \dots$

56. Автомобиль, трогаясь с места, в течение 15 с движется с постоянным ускорением 2 м/с^2 . Какой была скорость автомобиля на середине пройденного за это время пути?

Совет. Найдите скорость автомобиля в конце данного участка пути и воспользуйтесь тем, что при равноускоренном движении без начальной скорости путь пропорционален квадрату скорости

57. На участке длиной 100 м скорость автомобиля, движущегося с ускорением 2 м/с^2 , увеличилась в 3 раза. Чему была равна скорость автомобиля в начале участка?

Совет. Выразите путь, пройденный автомобилем, через v , v_0 и a .

Высокий уровень

58. В течение первой секунды наблюдения мотоциклист, движущийся с постоянным ускорением, проехал 10 м, а в течение первых двух секунд — 22 м.

а) Какое расстояние он проехал за 3 с наблюдения?

б) Чему равна его начальная скорость?

59. Шарик толкнули снизу вверх по наклонному жёлобу. У флажка, установленного на расстоянии 30 см от нижнего края жёлоба, шарик побывал через 1 с и через 3 с после толчка. Чему равен пройденный шариком путь к моменту, когда он вернулся в начальную точку? Шарик движется вверх и вниз по жёлобу с одинаковым по модулю ускорением.

Совет. Запишите систему уравнений для положения шарика в указанные моменты времени. Выразите с её помощью начальную скорость и ускорение шарика через величины, заданные в условии.

Движение с ускорением свободного падения

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Свободное падение тела без начальной скорости

60. Выразите конечную скорость v свободно падающего без начальной скорости тела через время падения t и ускорение свободного падения g .

61. Свободно падающее без начальной скорости тело упало на землю со скоростью 40 м/с. Сколько времени падало тело?

62. Выразите начальную высоту h , с которой свободно падает тело без начальной скорости, через время падения t и ускорение свободного падения.

63. Найдите пути, проходимые свободно падающим телом за первую, вторую, третью и четвёртую секунды падения. Заметите ли вы простую закономерность?

64. Найдите выражение для конечной скорости v тела, свободно падающего без начальной скорости с высоты h .

65. Чему была бы равна скорость дождевых капель, падающих с высоты 2 км, если бы они падали свободно?

Движение тела, брошенного вертикально вверх¹⁾

66. Запишите уравнение $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ в проекциях на вертикально направленную ось y . Постройте график зависимости проекции скорости от времени.

¹⁾ Далее в этом разделе мы предполагаем, что сопротивлением воздуха можно пренебречь. Если начальная высота тела не указана, предполагается, что тело брошено с поверхности земли.

67. Тело брошено вертикально вверх. Чему равна проекция скорости тела на направленную вверх ось y в момент, когда тело достигло верхней точки траектории?

68. Тело брошено вертикально вверх. Выразите время подъёма тела $t_{\text{под}}$ до верхней точки траектории через v_0 и g .

Совет. Время подъёма $t_{\text{под}}$ удовлетворяет уравнению $v_0 - gt_{\text{под}} = 0$.

69. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 30 м/с. Сколько времени тело будет двигаться *вверх*?

70. Выведите формулу, выражающую зависимость $y(t)$ для тела, брошенного вертикально вверх со скоростью v_0 . Ось y направлена вертикально вверх.

71. Тело брошено вверх со скоростью 30 м/с. На какой высоте будет находиться тело через 2 с после броска? через 4 с? Как объяснить полученные ответы?

72. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 50 м/с. Через какой промежуток времени после броска оно будет находиться на высоте 45 м?

Совет. Решить задачу — значит найти *все* возможные решения! Воспользуйтесь формулой

$$y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

73. Выведите формулу, выражающую высоту h верхней точки траектории брошенного вертикально вверх тела через v_0 и g .

Совет. Можно воспользоваться тем, что верхней точки траектории тело достигает при $t = t_{\text{под}}$.

Можно также воспользоваться тем, что путь равен площади фигуры, заключённой под графиком зависимости скорости от времени.

74. Во сколько раз увеличится высота подъёма брошенного вверх тела, если увеличить начальную скорость в 3 раза?

75. Выразите время полёта брошенного вертикально вверх тела $t_{\text{пол}}$ до его падения на землю через модуль начальной скорости v_0 и g .

76. Два тела одновременно бросили вверх. Второе тело упало на землю на 4 с позже, чем первое. Насколько начальная скорость второго тела больше, чем начальная скорость первого тела?

77. Два тела одновременно бросили вверх. Когда первое тело упало на землю, второе тело находилось в верхней точке траектории. Во сколько раз:

а) начальная скорость второго тела больше, чем начальная скорость первого тела;

б) высота подъёма второго тела больше, чем высота подъёма первого?

Совет. В данном случае время подъёма второго тела в 2 раза больше времени подъёма первого тела.

78. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 40 м/с.

а) Сколько времени длится подъём тела?

б) Сколько времени длится полёт тела до падения на землю?

в) Какой высоты достигнет тело в полёте?

Движение тела, брошенного горизонтально

При решении задач о движении тела, брошенного *горизонтально* со скоростью \vec{v}_0 с высоты h над поверхностью земли, удобно выбрать систему координат так, как показано на рисунке 15.

79. Тело брошено горизонтально с начальной скоростью v_0 . Запишите выражения для проекций \vec{v}_0 и \vec{g} на оси координат. Ось x направьте горизонтально по направлению начальной скорости тела, а ось y — вертикально вверх.

80. Используя выражения для проекций \vec{v}_0 и \vec{g} на оси координат, запишите уравнение $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ в проекциях на оси координат в виде системы двух уравнений.

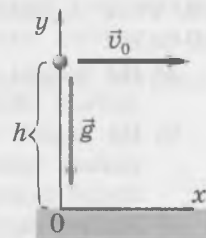


Рис. 15

81. Выведите формулы, выражающие зависимость координат x и y тела от времени.
82. Тело брошено горизонтально с начальной скоростью 20 м/с с высоты 10 м. На какой высоте будет находиться тело через 1 с после броска? Есть ли в условии лишние данные?
83. Как записать условие падения тела на землю?
84. Выведите формулу для времени $t_{\text{пол}}$ полёта тела до его падения на землю.
Совет. Время полёта $t_{\text{пол}}$ удовлетворяет уравнению $h - \frac{gt_{\text{пол}}^2}{2} = 0$.
85. Выразите дальность l полёта тела до его падения на землю через v_0 , h и g .
Совет. Дальность полёта l удовлетворяет уравнению $l = v_0 t_{\text{пол}}$. Воспользуйтесь найденным выражением для времени полёта $t_{\text{пол}}$.
86. Как изменится дальность полёта горизонтально брошенного тела, если увеличить в 4 раза:
 а) начальную скорость тела;
 б) начальную высоту тела?
87. С отвесной скалы высотой 5 м горизонтально бросают камешки с начальными скоростями 5 м/с, 10 м/с и 20 м/с. На каком расстоянии от основания скалы упадут камешки? Задачу можно решить *устно*.
Совет. Найдите время движения каждого камешка.
88. С отвесной скалы высотой 20 м горизонтально бросают камешек со скоростью 20 м/с.
 а) С какой скоростью камешек упадёт на землю?
 б) На каком расстоянии *от основания скалы* он упадёт?
 в) На каком расстоянии *от точки бросания* он упадёт?
Совет. Воспользуйтесь теоремой Пифагора.
89. Уравнение траектории брошенного горизонтально тела в единицах СИ имеет вид $y = 45 - 0,05x^2$. Поставьте как можно больше вопросов по этой ситуации и найдите ответы на них.
Совет. Например: а) С какой высоты брошено тело? б) Чему равна начальная скорость тела? в) Чему равно время полёта? г) Чему равна дальность полёта?

Движение тела, брошенного под углом к горизонту

90. Тело брошено с начальной скоростью \vec{v}_0 под углом α к горизонту (рис. 16). Запишите выражения для проекций начальной скорости \vec{v}_0 на оси координат, показанные на рисунке.
91. Запишите уравнение $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{g}t$ в проекциях на оси координат (см. рис. 16) в виде системы двух уравнений.
92. Выведите формулы, выражающие зависимость координат x и y тела от времени.
93. Тело брошено под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 20 м/с.
 а) На каком расстоянии от точки бросания (по горизонтали) будет находиться тело через 1 с после броска? через 2 с после броска?
 б) На какой высоте будет находиться тело через 1 с после броска? Через какой промежуток времени после броска координата y тела станет снова равной нулю?
 в) Какие выводы можно сделать из полученных результатов?
Совет. а) Воспользуйтесь формулой, выражающей зависимость $x(t)$. б) Воспользуйтесь формулой, выражающей зависимость $y(t)$.

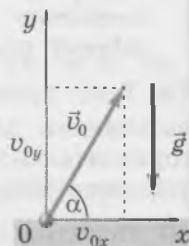


Рис. 16

94. Выразите время полёта тела (до падения на землю) через v_0 и α . Докажите, что время всего полёта в 2 раза больше времени подъёма тела до верхней точки траектории.

Совет. Воспользуйтесь формулой $y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$ и учтите, что в момент падения тела его координата $y = 0$. Время подъёма тела можно определить из условия $v_y = 0$.

95. Выразите дальность l полёта тела через v_0 и α .

Совет. Воспользуйтесь формулой $x = v_0 \cos \alpha \cdot t$ и формулой $t_{\text{пол}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$ для времени полёта тела, полученной при решении предыдущей задачи.

96. Футболист ударил по мячу, придав ему начальную скорость 20 м/с. Мяч упал на землю на расстоянии 34,6 м от начального положения.

- Под каким углом к горизонту могла быть направлена начальная скорость мяча?
- Какой вывод следует из того, что в этой задаче есть два ответа?

Совет. В данном случае $\sin 2\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$. Отсюда следует, что $2\alpha = 60^\circ$ или $2\alpha = 120^\circ$.

97. При каком угле бросания дальность полёта тела, брошенного под углом к горизонту с одной и той же по модулю начальной скоростью, максимальна?

Совет. Воспользуйтесь формулой для дальности полёта $l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$. Максимальное значение синуса угла равно 1 и достигается при угле, равном 90° .

98. Выразите высоту h подъёма тела через v_0 и α .

99. При каком угле бросания высота подъёма тела, брошенного под углом к горизонту с той же по модулю начальной скоростью, максимальна?

Совет. Вспомните, при каком угле значение синуса угла максимально.

100. Посылая ударами ноги лежащий на земле мяч в полёт с одной и той же по модулю начальной скоростью, но под разными углами к горизонту, футболист обнаружил, что мяч падает на землю не далее 40 м от его начального положения. На какую максимальную высоту мог подниматься мяч при ударах?

Совет. Найдите начальную скорость мяча, исходя из того, что максимальная дальность полёта равна 40 м. Вспомните, при каком угле бросания высота подъёма максимальна.

Последний этап падения тела

101. Тело, свободно падающее с некоторой высоты без начальной скорости, пролетело последний участок пути длиной l за промежуток времени τ .

- Что ещё известно о движении тела на последнем этапе?
- Запишите систему уравнений, справедливую для последнего этапа падения. Обозначьте v_k конечную скорость тела (непосредственно перед касанием земли), а v_1 — скорость тела в момент, когда ему осталось пролететь до земли расстояние l .
- Используя записанную систему уравнений, получите одно уравнение с одним неизвестным — конечной скоростью v_k .
- Выразите конечную скорость тела v_k через величины, данные в описании ситуации.
- Выразите начальную высоту тела h через величины, данные в описании ситуации.

102. Свободно падающее без начальной скорости тело пролетело за последнюю секунду падения 30 м.

- Чему была равна скорость тела непосредственно перед падением?
- Сколько времени падало тело?
- С какой высоты падало тело?

103. Свободно падающее без начальной скорости тело пролетело за последнюю секунду падения в 2 раза большее расстояние, чем за предпоследнюю секунду.

- а) Сколько времени падало тело?
- б) Чему была равна скорость тела непосредственно перед падением на землю?
- в) С какой высоты падало тело?

Совет. Запишите выражения для путей, пройденных телом за *одну* и *две* последние секунды. Воспользуйтесь приведённым в условии соотношением между этими путями, и вы получите одно уравнение с одним неизвестным — конечной скоростью тела.

Одинаковая дальность полёта при двух разных углах бросания

104. Как связаны углы бросания α_1 и α_2 , для которых дальность полёта тела *одинакова* при одинаковой по модулю начальной скорости?

105. Дальность l полёта двух тел, брошенных под *различными* углами к горизонту с *одинаковой* по модулю начальной скоростью, одинакова и равна 60 м. Один угол больше другого на 48° .

- а) Чему равны углы бросания?
- б) Чему равна начальная скорость тел?
- в) На какое максимальное расстояние можно бросить тело с той же по модулю начальной скоростью?
- г) На какую максимальную высоту можно бросить тело с той же по модулю начальной скоростью?

Совет. а) Воспользуйтесь тем, что сумма углов, для которых дальность полёта одинакова при той же начальной скорости, равна 90° . б) Воспользуйтесь выражением для дальности полёта тела, брошенного под углом к горизонту.

106. Дальность l полёта двух тел, брошенных под *различными* углами к горизонту с *одинаковой* по модулю начальной скоростью, оказалась одинаковой. Один угол бросания в 2 раза больше другого.

- а) Во сколько раз *минимальная* скорость одного тела во время полёта больше *минимальной* скорости другого?
- б) Во сколько раз время полёта одного тела больше, чем другого?
- в) Во сколько раз высота подъёма одного тела больше, чем другого?

Совет. Найдите, чему равны углы бросания. Скорость тела во время полёта минимальна в верхней точке траектории.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ¹⁾

Базовый уровень

107. Мяч падал без начальной скорости в течение 2 с.

- а) Найдите скорость мяча непосредственно перед ударом о землю и высоту, с которой он падал.
- б) Во сколько раз путь, пройденный мячом за первую секунду падения, меньше пути, пройденного за вторую секунду?

108. С поверхности земли вертикально вверх со скоростью 20 м/с бросили камешек.

- а) На какую высоту поднимется камешек и сколько времени длится подъём?
- б) Сколько времени камешек будет находиться в полёте?
- в) Чему равен модуль скорости камешка через 3 с после начала движения? Непосредственно перед ударом о землю?

109. Используя график зависимости от времени проекции скорости мяча, брошенного вертикально вверх (рис. 17), найдите:

- а) начальную скорость мяча;

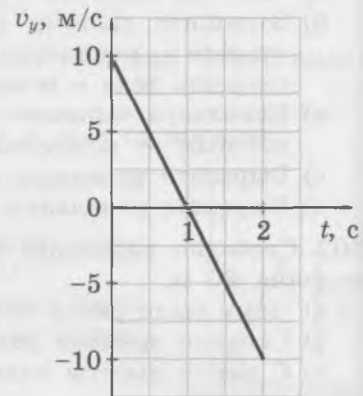


Рис. 17

¹⁾ В задачах этого раздела предполагается, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- б) в течение какого времени мяч поднимался до максимальной высоты;
 в) максимальную высоту подъёма мяча;
 г) *любые* два момента времени, в которые скорость мяча одинакова по модулю, но противоположна по направлению.

Совет. б) При достижении мячом максимальной высоты его скорость изменяет направление.

Повышенный уровень

110. Свободно падающее без начальной скорости тело за последнюю секунду падения пролетело 35 м. С какой скоростью тело упало на землю? С какой высоты и сколько времени падало тело?

111. Какой путь пройдёт брошенное вертикально вверх тело за первые 4 с полёта, если начальная скорость тела равна 30 м/с?

Совет. Определите, в каком направлении будет двигаться тело через 4 с после начала полёта.

112. С балкона, расположенного на высоте 20 м, горизонтально бросают мячик с начальной скоростью 10 м/с. Сколько времени мячик летел до земли и на каком расстоянии от стены дома упал на землю?

113. Тело брошено с начальной скоростью 20 м/с под углом 30° к горизонту (рис. 18). Чему равны проекции начальной скорости тела на оси x и y ?

114. После удара футбольный мяч пролетает над воротами, слегка касаясь горизонтальной планки в *верхней точке траектории* через 0,7 с после удара. Чему равна начальная скорость мяча, если расстояние от футболиста до ворот равно 6,4 м? Примите, что размером мяча и толщиной планки можно пренебречь.

Совет. Через указанный промежуток времени проекция скорости мяча на вертикально направленную ось y стала равной нулю. Найдите проекции начальной скорости на оси x и y и воспользуйтесь теоремой Пифагора.

Высокий уровень

115. От карниза крыши оторвались с некоторым промежутком времени две капли. Спустя 2 с после начала падения второй капли расстояние между каплями равно 20 м. Чему равен промежуток времени между отрывом капель?

116. С какой начальной скоростью надо бросить вертикально вверх камень, чтобы на высоте h он побывал с интервалом времени τ ?

117. Петя бросает Васе мяч под некоторым углом к горизонту с начальной скоростью 13 м/с. На каком расстоянии друг от друга находятся мальчики, если максимальной высоты мяч достиг через 1 с после броска?

118. Чему равна масса воды, находящейся в воздухе, если вода бьёт из брандспойта с площадью поперечного сечения 3 см^2 под углом 30° к горизонту со скоростью 10 м/с?

Совет. Масса воды, находящейся в воздухе, равна массе воды, выходящей из брандспойта за время полёта тела, брошенного с той же начальной скоростью под тем же углом.

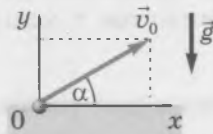
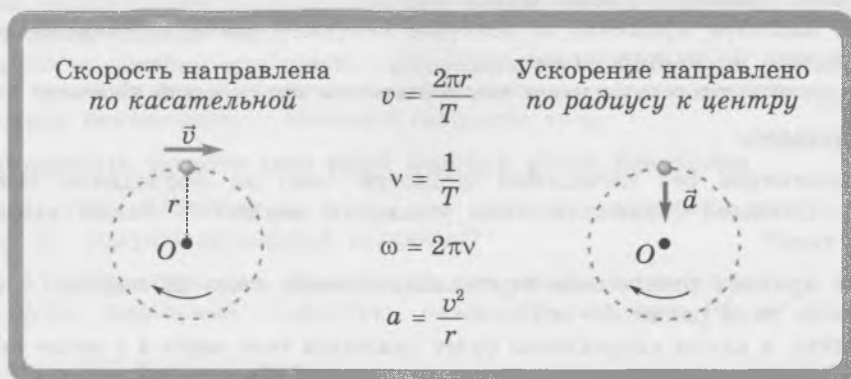


Рис. 18

Равномерное движение по окружности



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Направление скорости тела при движении по окружности

119. Тело равномерно движется по окружности и совершает один полный оборот за 4 с. В начальный момент тело находится в точке A (рис. 19). Перенесите рисунок в тетрадь и изобразите на нём скорость тела в точках A, B, C, D. На какой угол поворачивается скорость тела за *каждую* секунду? За *каждую* 0,1 с?

Совет. Угол поворота скорости пропорционален времени движения.

Ускорение тела при равномерном движении по окружности

120. Тело равномерно движется по окружности. Выразите модуль скорости тела v через радиус окружности r и период обращения T .

Совет. Воспользуйтесь тем, что за время, равное периоду обращения T , движущееся по окружности со скоростью v тело проходит путь, равный длине окружности.

121. Тело равномерно движется по окружности. Выразите модуль центростремительного ускорения a через r и T .

Частота обращения и угловая скорость

122. Чему равна частота обращения, если период обращения равен: 1 с; 0,5 с; 2 с; 0,1 с; 10 с?

123. Чему равны:

- периоды обращения секундной и минутной стрелок часов;
- частоты их обращения?

124. Выразите центростремительное ускорение a тела через r и v .

125. Радиус вращающегося колеса аттракциона равен 8 м. Чему равны период и частота его обращения, когда пассажиры движутся с ускорением, равным по модулю ускорению свободного падения?

126. Докажите следующие соотношения для угловой скорости: $\omega = \frac{2\pi}{T}$,

$$\omega = 2\pi v, \quad v = \omega r.$$

Совет. Для вывода первой формулы воспользуйтесь тем, что поворот на угол 2π происходит за время, равное периоду обращения T . Остальные две формулы следуют из первой и из определения частоты обращения и скорости.

127. Чему равны угловые скорости секундной и минутной стрелок часов?

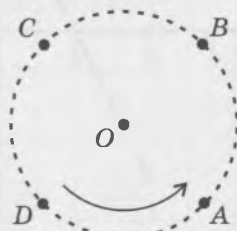


Рис. 19

128. Докажите, что центростремительное ускорение тела a можно выразить формулой $a = \omega^2 r$.

Катящееся без проскальзывания колесо

В задачах о движении транспорта (например, автомобиля или велосипеда) указывается часто, что колёса катятся *без проскальзывания*. Это означает, что скорость нижней точки колеса, которая в данный момент соприкасается с дорогой, равна нулю в системе отсчёта, связанной с дорогой. На это может указывать, например, чёткий отпечаток шин.

Чтобы найти скорость и ускорение любой точки колеса (например, автомобиля) в системе отсчёта, связанной с дорогой, удобно перейти сначала в систему отсчёта, связанную с данным автомобилем, а затем снова вернуться в систему отсчёта, связанную с дорогой.

129. Автомобиль едет с постоянной скоростью v по прямой дороге.

- Изобразите схематически колесо автомобиля, катящееся без проскальзывания, и обозначьте на рисунке ось колеса O и точку A , скорость которой равна нулю в системе отсчёта, связанной с дорогой. Изобразите скорость точки O в системе отсчёта, связанной с дорогой.
- Сделайте другой рисунок, на котором изобразите скорость точек O и A в системе отсчёта, связанной с автомобилем.
- Изобразите на том же рисунке скорость верхней точки колеса B в системе отсчёта, связанной с автомобилем.
- Сделайте третий рисунок, на котором изобразите скорости точек O , A и B в системе отсчёта, связанной с дорогой.

Совет. б) При переходе в систему отсчёта, связанную с автомобилем, надо из скорости каждой точки векторно вычесть скорость автомобиля \vec{v} (чтобы скорость самого автомобиля в связанной с ним системе отсчёта была равна нулю). в) Скорости *всех* точек обода колеса в системе отсчёта, связанной с автомобилем, равны по модулю. г) Согласно правилу сложения скоростей при переходе в систему отсчёта, связанную с дорогой, надо к скорости каждой точки прибавить скорость автомобиля \vec{v} .

130. Автомобиль едет с постоянной скоростью v по прямой дороге (рис. 20). Перенесите рисунок в тетрадь.

- Изобразите на чертеже скорости точек C и D в системе отсчёта, связанной с автомобилем.
- Постройте на чертеже скорости точек C и D в системе отсчёта, связанной с дорогой.
- Чему равны по модулю скорости точек C и D в системе отсчёта, связанной с дорогой?

Конический маятник

Конический маятник представляет собой подвешенный на нити груз, который равномерно движется по окружности в горизонтальной плоскости (рис. 21).

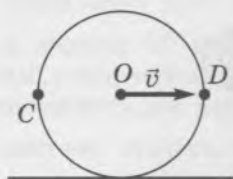


Рис. 20

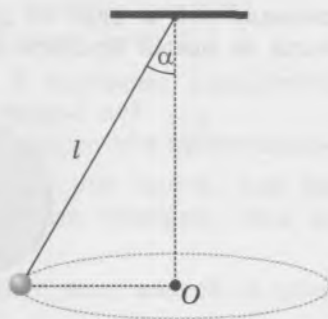


Рис. 21

131. При движении конического маятника нить длиной l образует с вертикалью угол α .
- Выразите радиус окружности r , по которой движется груз, через l и α .
 - Выразите скорость груза через l , α и период обращения T .
 - Выразите центростремительное ускорение a груза через l , α и T .
132. Подвешенный на нити длиной 80 см шарик движется со скоростью 2 м/с по окружности в горизонтальной плоскости. При этом ускорение шарика равно по модулю ускорению свободного падения. На какой угол от горизонтали отклонена нить?
- Совет.* Выразите центростремительное ускорение шарика через скорость шарика, длину нити и угол отклонения нити.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

133. Сравните ускорения двух тел, равномерно движущихся по окружностям радиусом 1 м и 10 см, если:
- скорости тел одинаковы;
 - периоды обращения тел одинаковы;
 - частоты обращения тел одинаковы.
134. Автомобиль проезжает по выпуклому мосту, имеющему форму дуги окружности радиусом 60 м. Чему равна скорость автомобиля, если в момент, когда он проезжает середину моста, ускорение автомобиля равно ускорению свободного падения?
135. Диск диаметром 0,6 м совершает 20 оборотов в минуту. Найдите период, частоту и угловую скорость вращения диска, а также скорость и ускорение точек на его ободе.

Повышенный уровень

136. С какой скоростью движется вследствие суточного вращения Земли точка, расположенная на поверхности Земли на широте 60° ? Чему равно ускорение этой точки?
- Совет.* Найдите радиус окружности, по которой движется указанная точка поверхности Земли.
137. На рисунке 22 изображена ремённая передача. С какой частотой вращается малый шкив, если большой шкив совершает 135 оборотов в минуту? Чему равна скорость точек ремня? Диаметр большого шкива равен 0,64 м, а диаметр малого — на 40 см меньше.
- Совет.* Скорость точек на ободьях шкивов равна скорости точек ремня.

Высокий уровень

138. Пропеллер самолёта совершает 2000 оборотов в минуту, длина лопасти пропеллера 1,5 м. Чему равна скорость точки на конце лопасти пропеллера относительно земли, когда самолёт летит со скоростью 500 км/ч? Нарисуйте примерную траекторию её движения.
- Совет.* Найдите скорость точек пропеллера, обусловленную его вращением, и воспользуйтесь теоремой Пифагора.
139. Два вращающихся с частотой 1600 об/мин диска насажены на общую горизонтальную ось на расстоянии 0,5 м друг от друга. С какой скоростью летит пуля вдоль оси вращения дисков, если за время пролёта пули между дисками они поворачиваются на 12° ?

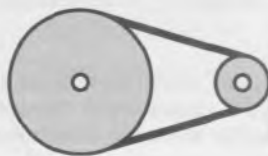


Рис. 22

ДИНАМИКА

Три закона Ньютона



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

140. Как направлена равнодействующая сил, приложенных к свободно падающему телу?
141. Тело равномерно движется по окружности. Как направлена равнодействующая приложенных к телу сил?
Совет. Вспомните, как направлено ускорение тела, равномерно движущегося по окружности.
142. Может ли тело двигаться в направлении, *противоположном* направлению равнодействующей сил, приложенных к телу? Приведите пример, подтверждающий ваш ответ.
Совет. Рассмотрите движение тела, брошенного вертикально вверх.
143. К покоящемуся шару массой 2 кг приложены две силы, модуль каждой из которых равен 1,2 Н. За 2 с шар переместился на 1,2 м.
а) С каким ускорением двигался шар?
б) Чему равна равнодействующая приложенных к шару сил?
в) Изобразите на чертеже приложенные к телу силы и их равнодействующую.
г) Чему равен угол между приложенными к шару силами?
144. К шару массой 5 кг приложены силы, равные по модулю 4 Н и 3 Н. При каком угле между направлениями этих сил ускорение шара равно 1 м/с^2 ?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

145. Чему равна равнодействующая сил, действующих на дождевую каплю, движущуюся равномерно со скоростью 5 м/с ? Есть ли в условии лишние данные?
Совет. Обратите внимание на то, что ускорение капли равно нулю.
146. С каким ускорением может двигаться тело, к которому приложены действующие вдоль одной прямой силы 4 Н и 8 Н, если масса тела 4 кг?
Совет. Приложенные силы могут быть направлены одинаково или противоположно.
147. Когда на тележку массой 10 кг действуют некоторой силой, она движется с ускорением 6 м/с^2 . С каким ускорением будет двигаться эта тележка, если на неё положить груз массой 2 кг и действовать на неё той же силой?
148. В инерциальной системе отсчёта сила F сообщает телу массой m ускорение a . Какое ускорение сообщит телу массой $2m$ сила, равная $\frac{F}{2}$?

149. Притягивает ли Земля Луну с большей силой, чем Луна Землю?

Совет. Воспользуйтесь третьим законом Ньютона.

Повышенный уровень

150. Автомобиль движется с ускорением 2 м/с^2 . Чему равно ускорение автомобиля в системе отсчёта, связанной с поездом, едущим со скоростью 20 м/с по прямой дороге в том же направлении, что и автомобиль?

Совет. Ускорение тела одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.

151. Тело движется вдоль оси x . По графику зависимости проекции скорости тела от времени (рис. 23) определите, на каких интервалах времени равнодействующая приложенных к телу сил равна нулю.

Совет. Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.

152. Чему равен модуль ускорения тела массой 10 кг , если к нему приложены силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , равные по модулю 30 Н и 50 Н , угол между которыми составляет: а) 30° ; б) 60° ; в) 90° ?

Совет. Воспользуйтесь теоремой косинусов и правилом сложения векторов.

153. К материальной точке массой 5 кг приложены три силы (рис. 24). Чему равен модуль ускорения материальной точки?

Высокий уровень

154. Лодочка привязана канатом длиной 10 м к дереву у самого берега реки и покоится на расстоянии 6 м от берега. На лодочку со стороны текущей воды действует сила, равная 40 Н . С какой силой действует на лодочку ветер, направленный перпендикулярно берегу?

Совет. Воспользуйтесь подобием треугольников и теоремой Пифагора.

155. Под действием только силы \vec{F}_1 первоначально покоящееся тело за 5 с проходит путь, равный 100 м . Под действием только силы \vec{F}_2 то же самое первоначально покоящееся тело за 3 с проходит путь, равный 27 м . Какой путь пройдёт это же тело за 4 с , если в начальный момент оно покоилось и на него одновременно будут действовать противоположно направленные силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 ?

Совет. Найдите равнодействующую сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 .

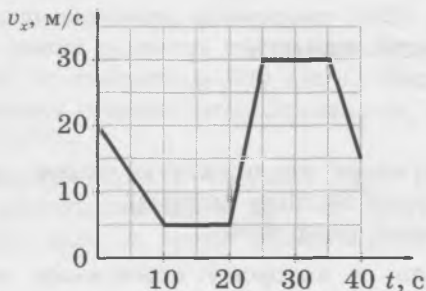


Рис. 23

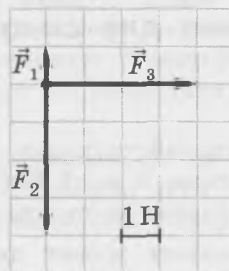


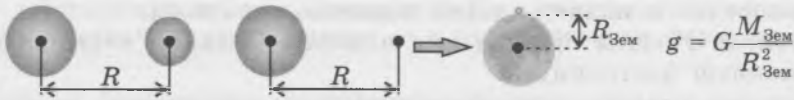
Рис. 24

Закон всемирного тяготения

Для материальных точек $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$

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

Условия применимости



Первая космическая скорость

$$v_1 = \sqrt{R_{\text{зем}} g} \approx 8 \text{ км/с}$$



Формулу закона всемирного тяготения для сил притяжения двух материальных точек можно применять также:

- для *однородных шаров*¹⁾ (считая R расстоянием между *центрами* шаров; рис. 25, а);
- для *однородного шара и материальной точки* (считая R расстоянием от *центра* шара до материальной точки; рис. 25, б).

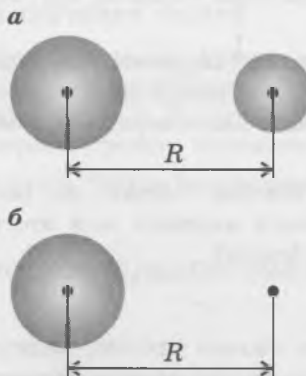


Рис. 25

¹⁾ Более точно: для тел, плотность которых имеет сферическую симметрию (важными частными случаями таких тел являются Солнце и планеты).

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Закон всемирного тяготения

156. Как изменятся силы притяжения двух небольших тел, если расстояние между ними увеличить в 2 раза?

157. Обозначим F модуль сил, с которыми две материальные точки, массой m каждая, притягивают друг друга. Чему равны модули сил, с которыми притягиваются материальные точки массой $2m$ и $3m$, находящиеся на таком же расстоянии?

Движение планет вокруг Солнца

158. Обозначим M_{\odot} массу Солнца, m — массу планеты, R — радиус её орбиты, v — модуль скорости планеты.

- Выразите ускорение a планеты через заданные величины.
- Выразите модуль F силы притяжения планеты Солнцем через заданные величины и гравитационную постоянную.
- Выразите скорость планеты через гравитационную постоянную, массу Солнца и радиус орбиты планеты.

Совет. а) Вспомните формулу для центростремительного ускорения. в) Воспользуйтесь найденными выражениями для силы и ускорения и вторым законом Ньютона.

159. Чему равна скорость движения Земли по орбите?

Совет. Воспользуйтесь справочными данными.

160. Выразите период T обращения планеты через гравитационную постоянную, массу Солнца и радиус орбиты планеты.

Совет. Вспомните или выведите формулу, которая связывает период обращения, скорость и радиус окружности при равномерном движении тела по окружности.

Сила тяжести и закон всемирного тяготения

161. Используя формулу закона всемирного тяготения, выразите *силу тяжести* через массу тела m , массу Земли $M_{\text{Зем}}$ и радиус Земли $R_{\text{Зем}}$.

162. Выразите ускорение свободного падения g через гравитационную постоянную, массу Земли и её радиус.

Совет. Приравняйте выражение для силы тяжести, полученное при решении предыдущей задачи, выражению $F_{\text{т}} = mg$.

163. Выразите ускорение свободного падения на высоте h над поверхностью Земли через h , гравитационную постоянную, массу Земли и её радиус.

Совет. Тело, находящееся на высоте h над поверхностью Земли, находится на расстоянии $R_{\text{Зем}} + h$ от центра Земли.

164. Тело находится над поверхностью Земли на расстоянии, равном радиусу Земли. Во сколько раз ускорение свободного падения для этого тела меньше, чем ускорение свободного падения на поверхности Земли?

Первая космическая скорость

Скорость движения спутника по *низкой* орбите, радиус которой можно приближённо считать равным радиусу Земли, называют *первой космической скоростью* и обозначают v_1 .

165. Выразите первую космическую скорость через радиус Земли и ускорение свободного падения на поверхности Земли.

Совет. Воспользуйтесь тем, что центростремительное ускорение спутнику сообщает сила тяжести,

поэтому $\frac{mv_1^2}{R_{\text{Зем}}} = mg$, где m — масса спутника.

166. Выразите первую космическую скорость через гравитационную постоянную, массу Земли и её радиус.

167. Используя закон всемирного тяготения, докажите, что для всех планет Солнечной системы отношение куба радиуса орбиты к квадрату периода обращения одинаково (третий закон Кеплера).

Задачи о средней плотности планеты

Средней плотностью планеты называют отношение массы планеты M к её объёму V .

168. Выразите ускорение свободного падения g на поверхности планеты через её радиус R и среднюю плотность ρ .

Совет. Сначала выразите массу планеты через R и ρ . Затем приравняйте два выражения для силы тяжести, действующей на тело, находящееся на поверхности этой планеты: первое — через ускорение свободного падения, второе — с использованием формулы закона всемирного тяготения.

169. Выразите первую космическую скорость для планеты через радиус планеты R и её среднюю плотность ρ .

170. Найдите выражение для периода обращения искусственного спутника, движущегося вокруг планеты радиусом R и средней плотностью ρ по низкой орбите.

171. Астронавт высадился на неизвестную планету радиусом $R = 3000$ км. Поверхность планеты оказалась усеянной небольшими камешками, и астронавт стал бросать их под разными углами к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 15$ м/с. Оказалось, что все камешки упали на расстоянии от астронавта, не превышающем $l = 45$ м. Чему равна средняя плотность этой планеты? Атмосфера на планете отсутствует.

Совет. Наибольшая дальность полёта достигается при угле бросания 45° .

Геостационарная орбита

Спутники связи, транслирующие телевизионные программы, движутся вокруг Земли так, что всё время «висят» над одной и той же точкой поверхности Земли, как бы участвуя в её суточном вращении. Орбиту, по которой движется такой спутник, называют *геостационарной*.

172. Чему равен период обращения спутника связи?

173. Выразите радиус r орбиты спутника связи через ускорение свободного падения g у поверхности Земли, её радиус и период её суточного обращения T .

Совет. Воспользуйтесь уравнением второго закона Ньютона, формулой закона всемирного тяготения, а также формулой, связывающей скорость, радиус окружности и период обращения.

174. На какой высоте над поверхностью Земли находится орбита спутника связи?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

175. С какой силой взаимодействуют два однородных шара массой 4 кг каждый, если расстояние между их центрами равно 20 м?

176. Силы притяжения двух одинаковых самолётов, находящихся на расстоянии 500 м друг от друга, равны $6 \cdot 10^{-8}$ Н. Найдите массу каждого самолёта.

177. Чему равно ускорение свободного падения в точке, находящейся на высоте над поверхностью Земли, равной диаметру Земли?

Повышенный уровень

178. Тело массой 10 кг подняли над поверхностью Земли на высоту, равную трети земного радиуса. С какой силой Земля притягивает это тело?

179. На какой высоте над поверхностью Земли ускорение свободного падения в 2 раза меньше, чем на её поверхности?

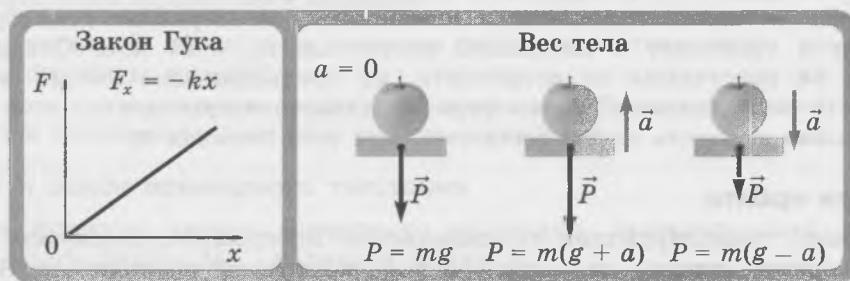
180. Найдите первую космическую скорость для планеты, радиус которой в 2 раза меньше радиуса Земли, а средняя плотность равна средней плотности Земли.

Высокий уровень

181. Высадившись на новую планету радиусом 3400 км, астроnavты решили измерить её среднюю плотность. Чему равна средняя плотность планеты, если в пропасть глубиной 200 м камешек падал без начальной скорости 10 с, а атмосфера на планете отсутствует?

182. На какой высоте над поверхностью Луны ускорение свободного падения, обусловленное притяжением Луны, в 9 раз меньше, чем вблизи поверхности Луны?

Силы упругости



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Закон Гука

183. К пружине жёсткостью 100 Н/м подвешивают груз весом 1 Н. Чему равно удлинение пружины?

184. Когда к недеформированной пружине подвешивают груз массой 1 кг, длина пружины увеличивается на 5 см. Чему равна жёсткость пружины?

185. К пружине длиной 10 см и жёсткостью 300 Н/м подвешивают груз массой 600 г. Чему будет равна *длина* пружины, когда груз будет находиться в равновесии?

Совет. Надо определить не удлинение, а *длину* пружины.

186. На рисунке 26 приведены графики зависимости модуля силы упругости от модуля деформации для трёх пружин.

а) У какой пружины наибольшая жёсткость?

б) Во сколько раз жёсткость первой пружины больше, чем жёсткость третьей?

в) Чему равна жёсткость второй пружины?

187. Найдите два отличия веса от силы тяжести.

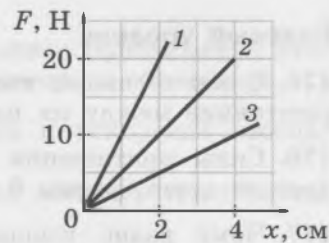


Рис. 26

Вес тела, движущегося с ускорением

188. Подставка, на которой лежит яблоко, движется с ускорением, направленным вверх (рис. 27, а). Объясните, почему второй закон Ньютона для яблока в проекциях на ось x имеет вид $N - mg = ma$. Используя рисунок 27, б и третий закон Ньютона, докажите, что вес тела в данном случае выражается формулой

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

Обратите внимание: если ускорение опоры, на которой находится тело, направлено *вверх*, то вес тела *больше* действующей на него силы тяжести. Обратите также внимание на то, что *скорость* тела может быть при этом направлена *как угодно!*

Если вес тела превышает силу тяжести, говорят, что тело испытывает *перегрузку*. Например, если вес тела в 3 раза больше силы тяжести, то это означает, что тело испытывает трёхкратную перегрузку.

189. С каким направленным вверх ускорением движется тело, если оно испытывает трёхкратную перегрузку? Может ли тело при этом двигаться вниз? Если да, то как изменится его скорость?

190. Докажите, что если ускорение опоры, на которой находится тело, направлено вниз и не превышает по модулю ускорения свободного падения, то вес тела выражается формулой

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

Обратите внимание: если ускорение опоры, на которой находится тело, направлено *вниз*, то вес тела *меньше* действующей на него силы тяжести. И снова напомним: *скорость* тела может быть при этом направлена *как угодно!*

191. В каких из приведённых случаев вес человека больше действующей на него силы тяжести, а в каких — меньше?

- Лифт разгоняется при подъёме.
- Лифт разгоняется при спуске.
- Лифт тормозит при подъёме.
- Лифт тормозит при спуске.

Совет. Ускорение человека направлено вверх, когда лифт разгоняется при подъёме и тормозит при спуске, и направлено вниз, когда лифт разгоняется при спуске или тормозит при подъёме.

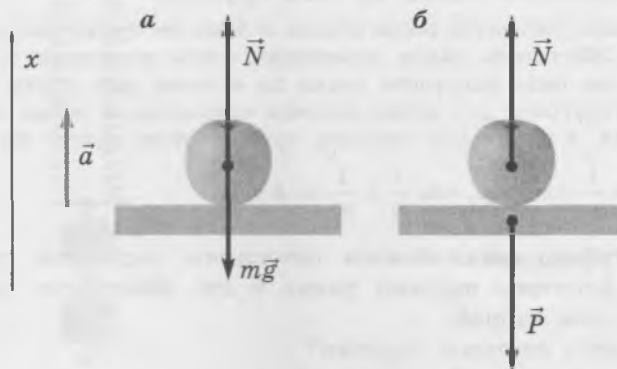


Рис. 27

192. На весах в движущемся лифте лежит килограммовая гиря. В некоторый момент времени весы показывают 800 г.

- а) Как направлено при этом ускорение лифта?
- б) Чему оно равно?
- в) Как направлена скорость лифта?

193. Шарик брошен вертикально вверх. В какие моменты полёта он находится в состоянии невесомости? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Если можно пренебречь сопротивлением воздуха, то на тело во время всего полёта действует только сила тяжести.

Удлинение и длина пружины

Если в условии задачи задано не удлинение деформированной пружины, а её *длина*, то надо связать длину деформированной пружины с длиной недеформированной пружины и её удлинением.

194. Когда пружина растянута силой $F_1 = 20$ Н, её длина $l_1 = 14$ см, а когда она растянута силой $F_2 = 40$ Н, её длина $l_2 = 16$ см.

- а) Обозначьте l_0 длину недеформированной пружины, а жёсткость пружины k . Запишите систему уравнений, связывающих эти величины с величинами, данными в описании ситуации.
- б) Выразите длину недеформированной пружины через величины, данные в описании ситуации.
- в) Выразите жёсткость пружины через величины, данные в описании ситуации.
- г) Чему равны длина недеформированной пружины и её жёсткость?

Совет. б) Разделите одно из уравнений системы на другое: получится одно уравнение с одним неизвестным l_0 .

Последовательное соединение пружин

195. Две пружины соединены *последовательно* (рис. 28). Жёсткость первой пружины $k_1 = 100$ Н/м, а жёсткость второй пружины $k_2 = 200$ Н/м. К пружинам подвешен груз массой 200 г.

- а) Чему равно удлинение каждой пружины?
- б) Чему равно удлинение x системы двух последовательно соединённых пружин?
- в) Чему равна жёсткость системы данных последовательно соединённых пружин?
- г) Докажите, что жёсткость k системы двух последовательно соединённых

пружин жёсткостью k_1 и k_2 можно найти по формуле $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$.

- д) Докажите, что жёсткость системы двух *последовательно* соединённых пружин *меньше* жёсткости любой из этих пружин.

Совет. а) Каждая пружина растянута весом *одного и того же* груза (массой пружины можно пренебречь). в) Жёсткость равна отношению силы упругости к удлинению системы. В данном случае сила упругости равна по модулю весу груза. г) Воспользуйтесь тем, что сила упругости для обеих пружин одинакова и равна силе упругости для системы пружин, а удлинение системы пружин равно сумме их удлинений.

- д) Из формулы $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$ следует, что $\frac{1}{k} > \frac{1}{k_1} \Rightarrow k < k_1$.

196. К двум последовательно соединённым пружинам подвешен груз массой 3 кг. Общее удлинение системы пружин равно 6 см. Жёсткость первой пружины в 3 раза больше, чем второй.

- а) Чему равна жёсткость системы пружин?
- б) Чему равна жёсткость каждой пружины?
- в) Чему равно удлинение каждой пружины?



Рис. 28

197. Пружину жёсткостью 100 Н/м разрезали пополам. Чему равна жёсткость каждой из получившихся пружин?

Совет. Исходную пружину можно рассматривать как последовательно соединённые одинаковые половинки пружины.

Параллельное соединение пружин

198. Две одинаковые пружины жёсткостью 100 Н/м каждая соединены *параллельно* (рис. 29). К пружинам подвешен груз массой 200 г . При этом удлинения пружин одинаковы.

- Чему равна сила упругости для каждой пружины?
- Чему равно удлинение каждой пружины?
- Чему равно удлинение x системы двух параллельно соединённых пружин?
- Чему равна жёсткость системы данных параллельно соединённых пружин?
- Докажите, что жёсткость k системы двух параллельно соединённых пружин жёсткостью k_1 и k_2 можно найти по формуле $k = k_1 + k_2$.
- Докажите, что жёсткость системы двух *параллельно* соединённых пружин *больше* жёсткости любой из этих пружин.

Совет. а) Вес груза распределяется на две пружины. г) Жёсткость равна отношению силы упругости к удлинению системы. В данном случае сила упругости равна по модулю весу груза. д) Воспользуйтесь тем, что удлинение системы параллельно соединённых пружин равно удлинению каждой из них, а сила упругости, действующая со стороны системы пружин, равна сумме сил упругости, действующих со стороны каждой из этих пружин.

199. Пружину жёсткостью $k = 50 \text{ Н/м}$ разрезали на три равные части и соединили параллельно. Чему равна жёсткость этой системы пружин?

Совет. Учтите, что жёсткость каждой из получившихся пружин в 3 раза больше жёсткости исходной пружины.

Применение закона Гука к движению тела с ускорением

200. В гладкий стол вмонтирован вертикальный стержень, к которому прикреплена горизонтальная пружина жёсткостью $k = 100 \text{ Н/м}$. К другому концу пружины прикреплен шарик массой $m = 100 \text{ г}$ (на рис. 30 показан вид сверху). Шарик равномерно движется по окружности радиусом $R = 20 \text{ см}$ со скоростью $v = 2 \text{ м/с}$.

- С каким ускорением движется шарик?
- Какая сила сообщает шарiku ускорение?
- Чему равна сила упругости?
- Чему равно удлинение пружины?
- Чему равна длина недеформированной пружины?

Совет. а) Воспользуйтесь формулой для центростремительного ускорения. в) Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.



Рис. 29

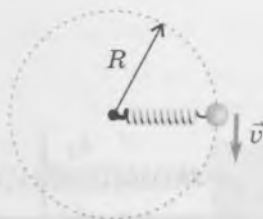


Рис. 30

201. Подвешенный на пружине жёсткостью 200 Н/м шар массой 400 г совершает вертикальные колебания. В начальный момент шар находится на 3 см ниже положения равновесия, причём скорость шара равна нулю.

- а) Чему равно ускорение шара в начальный момент? Как оно направлено?
 б) Чему равен вес шара в начальный момент?

Совет. Найдите деформацию пружины в начальном состоянии. Затем найдите силу упругости и равнодействующую сил, приложенных к шару в начальный момент.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

202. В таблице указаны значения силы упругости пружины при различных значениях её удлинения. Определите по этим данным жёсткость пружины.

F , Н	0	1	2	3
x , см	0	2	4	6

203. К системе, состоящей из кубика массой 1 кг и двух пружин жёсткостью $k_1 = 300$ Н/м и $k_2 = 600$ Н/м, приложена постоянная горизонтальная сила \vec{F} (рис. 31). Когда система находится в равновесии, удлинение второй пружины равно 2 см. Чему равна сила упругости каждой пружины, если можно пренебречь трением между кубиком и опорой? Чему равно удлинение первой пружины?

Совет. Когда система находится в равновесии, силы упругости пружин одинаковы.

204. Когда к пружине динамометра подвесили груз массой 100 г, она удлинилась на 2,5 см. Каким станет удлинение пружины, если к этому грузу подвесить ещё два таких же?

205. Груз массой 100 кг, висящий на тросе, поднимают вертикально вверх с ускорением 2 м/с^2 .

- а) Сделайте рисунок и укажите на нём все силы, действующие на груз.
 б) Чему равна равнодействующая этих сил и как она направлена?
 в) Чему равен вес груза и во сколько раз он превышает действующую на груз силу тяжести?

Совет. б) Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.

Повышенный уровень

206. По графику зависимости длины пружины от модуля силы упругости (рис. 32) определите жёсткость пружины.

Совет. Определите по графику удлинение пружины при некотором значении силы упругости.

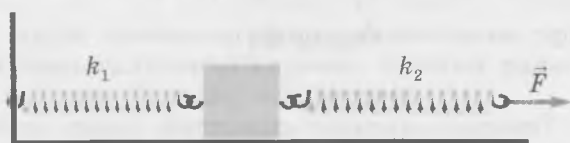


Рис. 31

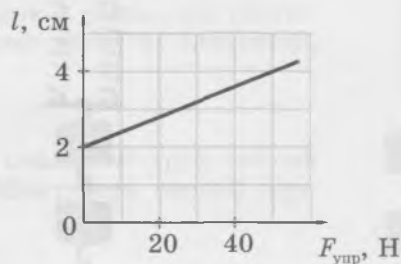


Рис. 32

207. По графику зависимости модуля силы упругости $F_{\text{упр}}$ от длины пружины l (рис. 33) определите длину недеформированной пружины и её жёсткость.

208. К пружине жёсткостью 300 Н/м подвешен груз массой 600 г. Чему равно удлинение пружины, когда груз движется вниз с ускорением 5 м/с², направленным вверх?

Совет. Удлинение пружины не зависит от направления движения груза, а зависит только от направления и модуля его ускорения.

209. Грузовик массой 4 т движется со скоростью 54 км/ч по выпуклому мосту, имеющему форму дуги радиусом 100 м. Чему равен вес грузовика в верхней точке траектории? С какой минимальной скоростью должен ехать грузовик, чтобы в этой точке он находился в состоянии невесомости?

Совет. Сделайте схематический рисунок и изобразите на нём силы, действующие на грузовик в верхней части выпуклого моста. Учтите, что при движении по окружности грузовик движется с центростремительным ускорением.

Высокий уровень

210. Грузы массами $m_1 = 200$ г и $m_2 = 100$ г соединены нитью и подвешены к пружине, как показано на рисунке 34. С каким ускорением будет двигаться верхний груз сразу после того, как нить пережгут?

Совет. Найдите силы, действующие на верхний груз до пережигания нити. Затем найдите равнодействующую сил, действующих на верхний груз сразу после пережигания нити.

211. На гладком столе находится брусок, к которому с обеих сторон прикреплены пружины жёсткостью 200 Н/м и 800 Н/м, как показано на рисунке 35. В начальный момент времени пружины не деформированы. На сколько надо сдвинуть брусок влево, чтобы равнодействующая приложенных к нему сил стала равной 20 Н? Изменится ли ответ, если сдвигать брусок вправо?

Совет. Изобразите на рисунке все силы, действующие на сдвинутый брусок, и найдите их равнодействующую.

212. Небольшая тележка массой 500 г движется по рельсам, совершая в вертикальной плоскости «мёртвую петлю» радиусом 80 см. С какой скоростью движется тележка в верхней точке траектории, если в этой точке тележка давит на рельсы с силой 5 Н?

Совет. Найдите равнодействующую сил, приложенных к тележке в верхней точке траектории.

213. Верхний конец пружины жёсткостью 400 Н/м, к которой подвешен груз массой 2 кг, поднимают за 1 с на 2 м, причём деформация пружины остаётся постоянной. Чему она равна, если начальная скорость груза направлена вверх и равна 3 м/с?

Совет. Найдите, с каким ускорением движется груз.

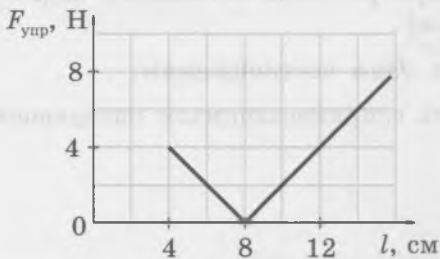


Рис. 33



Рис. 34



Рис. 35

Силы трения

$$F_{\text{тр. ск}} = \mu N$$

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N$$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Сила трения скольжения

214. Почему соотношение между силой трения скольжения и силой нормальной реакции нельзя записывать в векторном виде?

215. На рисунке 36 приведены графики зависимости силы трения скольжения от силы нормальной реакции для двух брусков, скользящих по столу. Поставьте два вопроса по этим графикам и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Для какого бруска коэффициент трения больше? б) Чему равны коэффициенты трения для каждого из брусков?

216. По столу после толчка скользит брусок массой 200 г. Начальная скорость бруска 1 м/с. Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,2.

- Изобразите на чертеже все действующие на брусок силы. Какие из них уравновешивают друг друга?
- Чему равна действующая на брусок сила нормальной реакции?
- Чему равна действующая на брусок сила трения?
- Чему равна равнодействующая всех приложенных к бруску сил?
- Чему равно ускорение бруска и как оно направлено?
- Какой путь пройдёт брусок до остановки?
- Как изменились бы ответы на предыдущие вопросы, если бы начальная скорость бруска была равна 2 м/с?

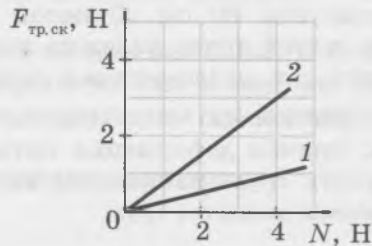


Рис. 36

Сила трения покоя

Модуль силы трения покоя $F_{\text{тр. пок}}$ не превышает некоторого предельного значения, которое называют *максимальной силой трения покоя*. При решении школьных задач по физике её принимают равной силе трения скольжения¹⁾.

Отсюда следует, что сила трения покоя удовлетворяет *двум* соотношениям:

- она равна по модулю силе $F_{\text{сдв}}$, направленной вдоль соприкасающихся поверхностей и стремящейся сдвинуть тело:

$$F_{\text{тр. пок}} = F_{\text{сдв}};$$

¹⁾ В действительности максимальная сила трения покоя несколько превышает силу трения скольжения, но при решении задач в школьном курсе физики это обычно не учитывают.

б) она не превышает максимальной силы трения покоя, которую при решении школьных задач принимают равной силе трения скольжения:

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N.$$

Из этих двух соотношений следует, что *тело сдвинется с места*, если выполняется неравенство

$$F_{\text{сдв}} > \mu N.$$

217. На столе лежит брусок массой 300 г. Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,5.

- а) Чему равна максимальная сила трения покоя между бруском и столом?
б) Какая или какие из приведённых горизонтально направленных сил сдвинут брусок с места: 1 Н; 2 Н; 3 Н?

Совет. Брусок сдвинется с места, если приложенная к нему сила превышает максимальную силу трения покоя.

218. К лежащему на столе бруску массой 1 кг прикладывают горизонтальную силу, равную по модулю F . Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,3. Чему равна действующая на брусок со стороны стола сила трения, если:

- а) $F = 2$ Н;
б) $F = 5$ Н?

Совет. Определите сначала, превышает ли приложенная к бруску горизонтальная сила максимальную силу трения покоя. Если не превышает, то брусок останется в покое, и на него будет действовать со стороны стола сила трения покоя, равная по модулю приложенной горизонтальной силе. А если превышает, то на брусок будет действовать со стороны стола сила трения скольжения, модуль которой равен произведению коэффициента трения на силу нормальной реакции.

219. На столе находится брусок массой 1 кг. На рисунке 37 изображён график зависимости действующей на брусок силы трения от приложенной к нему горизонтально направленной силы F .

- а) Перенесите график в тетрадь и надпишите, какая часть графика соответствует силе трения скольжения, а какая — силе трения покоя.
б) Чему равен коэффициент трения между бруском и столом?

Совет. б) Сила трения покоя равна по модулю сдвигающей силе, а сила трения скольжения зависит только от силы нормальной реакции и коэффициента трения. Найдите силу нормальной реакции, действующую на брусок.

Сила трения покоя действует на *ведущие* колёса автомобиля при разгоне автомобиля. Ведущие колёса приводятся во вращение двигателем и толкают дорогу *назад*. А дорога согласно третьему закону Ньютона толкает автомобиль *вперёд*.

В условиях задач о максимально возможном ускорении автомобиля при заданном коэффициенте трения между колёсами и дорогой обычно оговаривают, что все колёса автомобиля — ведущие. В таком случае максимальная сила трения покоя между колёсами и дорогой, сообщающая автомобилю ускорение, равна произведению силы нормальной реакции на коэффициент трения.

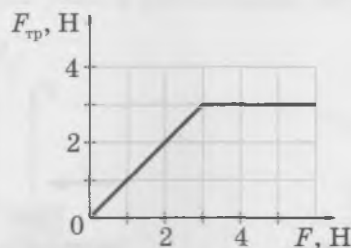


Рис. 37

220. Чему равно максимально возможное ускорение автомобиля со всеми ведущими колёсами, если коэффициент трения между колёсами и дорогой равен 0,5?

Движение под действием силы, направленной под углом к горизонту

221. Брусок массой $m = 200$ г равномерно перемещают по столу, прикладывая силу \vec{T} , направленную под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту (рис. 38). Коэффициент трения между бруском и столом $\mu = 0,4$.

- Введите оси координат, как показано на рисунке 39. Перенесите чертёж в тетрадь и изобразите на нём все силы, действующие на брусок.
- Запишите выражения для проекций всех приложенных к бруску сил.
- Чему равна равнодействующая приложенных к бруску сил?
- Запишите второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси x , y .
- Какое ещё соотношение справедливо для данной ситуации?
- Используя полученную систему трёх уравнений, выразите T , N , $F_{\text{тр}}$ через m , α , μ , g .
- Чему равны T , N , $F_{\text{тр}}$?

Совет. а) На брусок действуют сила тяжести, сила нормальной реакции, сила трения скольжения (по условию брусок движется) и сила \vec{T} . в) По условию брусок движется равномерно. д) Вспомните, как выражается сила трения скольжения через силу нормальной реакции и коэффициент трения. е) Удобно сначала подставить выражение для силы трения в первое из двух уравнений, выражающих второй закон Ньютона в проекциях. Вы получите систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными — T и N .

222. По столу движется брусок массой 500 г под действием силы, равной по модулю 2 Н и направленной вверх под углом 30° к горизонту. Коэффициент трения между бруском и столом 0,3. Чему равно ускорение бруска?

Совет. Выберите оси координат как в рассмотренной выше ситуации, запишите второй закон Ньютона в проекциях на эти оси, а также соотношение между силой трения скольжения и силой нормальной реакции.

223. Движущийся вертикально вверх брусок прижимают к стене силой, равной по модулю 10 Н и направленной вверх под углом 30° к вертикали. Масса бруска 1 кг, коэффициент трения между бруском и стеной 0,25. Чему равно и как направлено ускорение бруска?

Совет. Обратите внимание на то, что в начальный момент брусок движется вертикально вверх. Это позволяет определить направление действующей на него силы трения скольжения.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

224. Какую горизонтально направленную силу надо приложить к бруску массой 0,5 кг, покоящемуся на горизонтальном столе, чтобы сдвинуть его с места? Чтобы он двигался с ускорением, равным 2 м/с^2 ? Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,3.

Совет. Брусок сдвинется с места, если приложенная к нему сила превышает максимальную силу трения покоя.

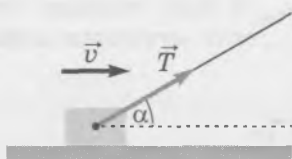


Рис. 38

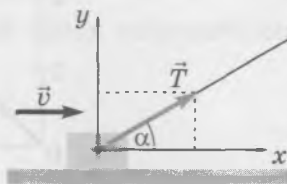


Рис. 39

225. Брусок с одинаково обработанными гранями, площади которых равны 10 см^2 , 20 см^2 и 40 см^2 , равномерно перемещают по столу, прикладывая горизонтально направленную силу. Зависит ли модуль этой силы от того, какой гранью брусок касается стола?

Совет. Сила трения скольжения практически не зависит от площади соприкосновения тел и от скорости их движения.

Повышенный уровень

226. Какую минимальную начальную скорость надо сообщить толчком бруску массой 100 г , лежащему на расстоянии 1 м от края стола, чтобы он соскользнул со стола? Коэффициент трения между бруском и столом равен $0,45$.

Совет. В условии задачи есть лишние данные.

227. Автомобиль массой 1 т со всеми ведущими колёсами тянет по горизонтальной дороге бревно с постоянной скоростью. Чему равна максимально возможная масса бревна, если коэффициент трения между колёсами автомобиля и дорогой равен $0,5$, а между бревном и дорогой — $0,6$?

Совет. Найдите максимально возможную силу, с которой автомобиль может тянуть бревно.

228. На столе лежит книга массой 400 г . К ней прикладывают горизонтально направленную силу, равную по модулю 1 Н . Чему будут равны ускорение книги и действующая на неё сила трения, если коэффициент трения между книгой и столом равен $0,3$? Как изменятся ответы, если приложенную к книге силу увеличить в 2 раза?

Совет. Найдите максимальную силу трения покоя.

229. Брусок массой 200 г после толчка скользит по столу. При этом зависимость координаты x бруска от времени t выражается в единицах СИ формулой $x = 4t - t^2$. Ось x направлена вдоль начальной скорости бруска и совпадает с ней по направлению. Поставьте по этой ситуации три вопроса и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Чему равно ускорение бруска и как оно направлено? б) Чему равна действующая на брусок сила трения скольжения? в) Чему равен коэффициент трения между бруском и столом?

230. Брусок массой 2 кг прижимают к вертикальной стене силой F , как показано на рисунке 40. Коэффициент трения между стеной и бруском равен $0,4$, угол между направлением силы и вертикалью $\alpha = 30^\circ$. С какой силой F надо действовать на брусок, чтобы он:

- а) равномерно двигался вверх?
- б) равномерно двигался вниз?

Совет. Сделайте рисунок с указанием всех сил, действующих на брусок в каждом из описанных случаев. Выясните вид силы трения и определите её направление.

Высокий уровень

231. Брусок массой $0,4 \text{ кг}$ подвешен к пружине жёсткостью 100 Н/м и опирается на стол (рис. 41). Коэффициент трения между бруском и столом равен $0,3$, удлинение пружины равно 3 см . Какую горизонтально направленную силу надо приложить к бруску, чтобы сдвинуть его с места?



Рис. 40



Рис. 41

232. Брусок массой 10 кг, прикрепленный пружиной жесткостью 200 Н/м к стене, покоится на горизонтальном столе (рис. 42). Пружина в начальный момент времени сжата на 10 см. Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,4. Какой горизонтальной силой надо подействовать на брусок, чтобы сдвинуть его влево? вправо?

Совет. Равнодействующая приложенной к бруску силы F и силы упругости со стороны пружины должна превысить максимальную силу трения покоя.

233. Брусок массой 2 кг прижимают к вертикальной стене силой \vec{F} , направленной под углом 30° к вертикали, как показано на рисунке 43. Коэффициент трения между стеной и бруском равен 0,3. В начальный момент брусок движется вниз. Найдите проекцию ускорения бруска на ось x , если приложенная к бруску сила равна 10 Н.

Тело на наклонной плоскости

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Тело на гладкой наклонной плоскости

234. На рисунке 44 изображены силы, действующие на брусок массой m , находящийся на *гладкой* наклонной плоскости с углом наклона равным α .

- Назовите действующие на брусок силы.
- Запишите второй закон Ньютона для бруска в векторной форме.
- Запишите выражения для проекций сил, действующих на брусок, и ускорения бруска на показанные на рисунке 44 оси координат.
- Запишите второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат в виде системы уравнений.
- Найдите выражение для модуля ускорения бруска.
- Почему ускорение бруска не зависит от его массы?
- При каком угле наклона плоскости модуль ускорения бруска в 2 раза меньше модуля ускорения свободного падения?
- Найдите выражение для модуля действующей на брусок силы нормальной реакции. Оно нам понадобится далее, когда надо будет учитывать силу трения.
- При каком угле наклона плоскости модуль действующей на брусок силы нормальной реакции в 2 раза меньше силы тяжести?

235. Брусок соскальзывает с верхней точки гладкой наклонной плоскости с углом наклона 30° до её нижней точки. Начальная скорость бруска равна нулю, а длина наклонной плоскости равна 2 м.

- С каким ускорением движется брусок?
- Сколько времени будет скользить брусок вдоль всей наклонной плоскости?
- Чему равна скорость бруска в конце спуска?

236. Брусок скользит после толчка вверх по гладкой наклонной плоскости и возвращается в начальную точку. Начальная скорость бруска v_0 , угол наклона плоскости α .

- Запишите выражение для времени t_1 движения бруска по наклонной плоскости *вверх*.

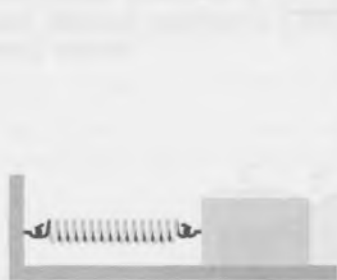


Рис. 42



Рис. 43

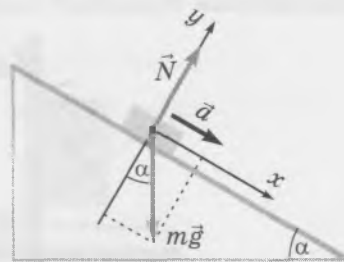


Рис. 44

- б) Запишите выражение для времени t_2 движения бруска по наклонной плоскости *вниз*.
 в) Запишите выражение для пути l , пройденного бруском до возвращения в начальную точку.

Совет. в) Пройденный бруском путь в 2 раза больше, чем расстояние, которое пройдет брусок вверх вдоль наклонной плоскости после толчка.

Тело на шероховатой наклонной плоскости

237. Может ли тело покоиться на *гладкой* наклонной плоскости?

Совет. Чтобы тело находилось в покое, равнодействующая приложенных к нему сил должна быть равна нулю.

238. На рисунке 45 изображены силы, действующие на брусок массой m , *покоящийся* на шероховатой наклонной плоскости с углом наклона α .

- Назовите действующие на брусок силы.
- Почему сила трения покоя направлена вдоль наклонной плоскости *вверх*?
- Запишите второй закон Ньютона для покоящегося бруска в векторной форме.
- Запишите выражения для проекций сил, действующих на брусок, на показанные на рисунке 45 оси координат.
- Запишите второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат в виде системы уравнений.
- Получите из этой системы уравнений выражения для силы трения покоя и силы нормальной реакции.
- Запишите неравенство, справедливое для силы трения покоя.
- Подставив в написанное неравенство полученные выражения для силы трения покоя и силы нормальной реакции, получите неравенство, которое связывает угол наклона плоскости α с коэффициентом трения μ .

Итак, тело может находиться *в покое* на наклонной плоскости, если выполняется неравенство

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \mu.$$

Это неравенство можно использовать для *измерения коэффициента трения* на опыте.

239. Брусок начал соскальзывать с доски длиной 1 м, когда один из её концов подняли на 40 см. Чему равен коэффициент трения между доской и бруском?

Совет. Синус угла наклона, при котором брусок начал скользить, равен 0,4. Найдите значение этого угла, а затем — значение его тангенса. Искомый коэффициент трения равен тангенсу этого угла.

240. На рисунке 46 изображены силы, действующие на брусок массой m , *скользящий вниз* по шероховатой наклонной плоскости с углом наклона α .

- Назовите действующие на брусок силы.
- Почему сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости *вверх*?
- Запишите второй закон Ньютона для скользящего бруска в векторной форме.
- Запишите второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат в виде системы уравнений.

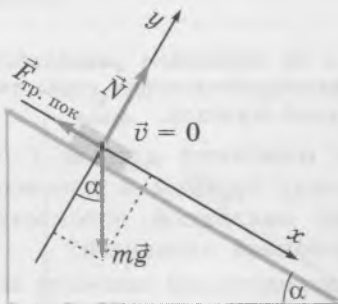


Рис. 45

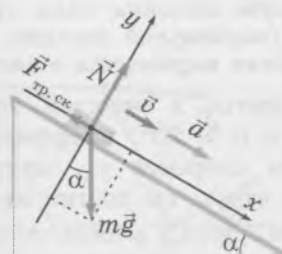


Рис. 46

- д) Выразите силу трения скольжения через коэффициент трения и силу нормальной реакции.
- е) Подставьте выражение для силы трения скольжения в систему уравнений, выражающих второй закон Ньютона. Вы получите систему двух уравнений. Считая в них неизвестными ускорение бруска a и силу нормальной реакции N , выразите ускорение бруска через угол наклона плоскости и коэффициент трения.

241. На наклонную плоскость с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ кладут брусок. Коэффициент трения между бруском и плоскостью равен 0,4. Начнёт ли брусок соскальзывать с наклонной плоскости, и если да, то чему будет равно его ускорение?

242. Брусок толкнули *вверх* с начальной скоростью $v_0 = 5$ м/с вдоль достаточно длинной наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$. Коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu = 0,3$.

- а) Запишите второй закон Ньютона для бруска при его движении по наклонной плоскости вверх в виде системы уравнений для проекций на оси координат.
- б) Выразите ускорение бруска при его движении по наклонной плоскости вверх через угол наклона плоскости и коэффициент трения. Найдите значение ускорения.
- в) Выразите время t_1 движения бруска по наклонной плоскости *вверх* через v_0 , α , μ . Вычислите это время.
- г) Выразите путь, пройденный бруском при его движении вверх, через v_0 , α , μ . Вычислите этот путь.
- д) Будет ли брусок соскальзывать с наклонной плоскости после того момента, когда его скорость станет равной нулю?
- е) Выразите ускорение бруска при его движении по наклонной плоскости вниз через угол наклона плоскости и коэффициент трения. Найдите значение ускорения.
- ж) Выразите время t_2 движения бруска по наклонной плоскости *вниз* при возвращении в начальную точку через v_0 , α , μ . Вычислите это время.

Совет. а) Когда брусок движется по наклонной плоскости *вверх*, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости *вниз*. д) Проверьте, выполняется ли условие покоя тела на наклонной плоскости. ж) Воспользуйтесь тем, что при движении вниз брусок проходит такой же путь, что и при движении вверх.

243. После толчка брусок скользил по наклонной плоскости вверх, а затем вернулся в начальную точку. Угол наклона плоскости 30° . Коэффициент трения между бруском и плоскостью равен 0,5.

- а) Во сколько раз модуль ускорения бруска при его движении вверх больше модуля ускорения бруска при его движении вниз?
- б) Во сколько раз время движения бруска вниз больше времени движения бруска вверх?
- Совет.* б) Для нахождения отношения времён воспользуйтесь тем, что при движении вверх и вниз брусок прошёл одинаковые пути.

244. Брусок движется по наклонной плоскости вниз с начальной скоростью 2 м/с. Угол наклона плоскости 30° . Коэффициент трения между бруском и плоскостью 0,7.

- а) Будет ли скорость бруска увеличиваться или уменьшаться?
- б) Чему равен модуль ускорения бруска?
- в) Какой путь пройдёт брусок до остановки?

Совет. а) Сравните значения силы трения скольжения со значением равнодействующей силы тяжести и силы нормальной реакции (напомним, что равнодействующая силы тяжести и силы нормальной реакции выражается в данном случае формулой $mg \sin \alpha$).

245. Брусок находится в верхней точке наклонной плоскости длиной $L = 2$ м. Угол наклона плоскости $\alpha = 20^\circ$, коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu = 0,5$. Какую начальную скорость v_0 , направленную вдоль наклонной плоскости вниз, надо сообщить бруску, чтобы он достиг нижней точки наклонной плоскости?

Совет. Ускорение бруска в данном случае направлено вдоль наклонной плоскости вверх. В нижней точке наклонной плоскости скорость бруска не обязательно должна быть равной нулю.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

246. Чему равно ускорение шайбы, скользящей по гладкой наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 60^\circ$ с горизонтом?

247. Чему равен коэффициент трения между доской и лежащим на ней телом, если тело начинает скользить по доске, когда угол её наклона превышает 35° ?

Повышенный уровень

248. Мальчик скатывается на санках со снежной горки длиной 19 м и углом наклона 30° . Чему равен коэффициент трения между полозьями саней и снегом, если из состояния покоя мальчик скатывается вдоль всей горки за 3 с?

249. На наклонной плоскости с углом наклона 30° находится брусок массой 1 кг. Коэффициент трения между бруском и плоскостью равен 0,6. Какую направленную вдоль наклонной плоскости силу надо прикладывать к бруску, чтобы он двигался с постоянной скоростью по наклонной плоскости вниз? вверх?

Совет. Учтите, что сила трения скольжения направлена противоположно скорости бруска.

Высокий уровень

250. По столу движется гладкая наклонная плоскость с углом наклона α . Чему равно ускорение наклонной плоскости, если находящийся на ней брусок покоится относительно плоскости (рис. 47)? Найдите действующую на брусок со стороны наклонной плоскости силу нормальной реакции.

Совет. Учтите, что ускорение бруска в данном случае направлено горизонтально, а сила нормальной реакции перпендикулярна плоскости.

251. На тележке установлен штатив, к которому на нити подвешен шарик массой m . Тележка съезжает по наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. При этом шарик покоится относительно тележки. Чему равна сила натяжения нити и угол β , который нить составляет с вертикалью? Примите, что трением между тележкой и плоскостью можно пренебречь.

Совет. Равнодействующая силы тяжести и силы натяжения нити сообщает шарiku ускорение, равное ускорению тележки. Докажите, что отсюда следует, что нить перпендикулярна наклонной плоскости.

252. По гладкой наклонной плоскости, пересекающейся с горизонтальной плоскостью по прямой AB , из точки A начинает скользить шайба с начальной скоростью 2 м/с под углом 60° к прямой AB . Через некоторое время шайба оказывается в точке B . Чему равно расстояние AB , если угол наклона плоскости равен 30° (рис. 48)?

Совет. Рассмотрите движение шайбы по наклонной плоскости как движение тела, брошенного под углом к горизонту. Найдите проекции ускорения шайбы на оси координат, лежащие в плоскости движения шайбы.

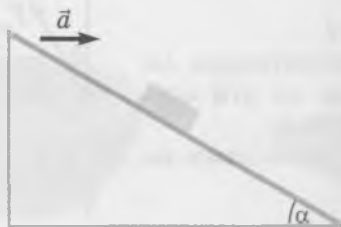


Рис. 47

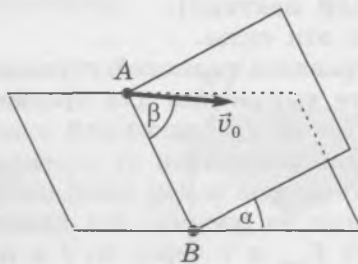


Рис. 48

Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил

Поворот транспорта на горизонтальной дороге

Центростремительное ускорение автомобиля при повороте на горизонтальной дороге обусловлено силой трения покоя $\vec{F}_{\text{тр.пок}}$ между шинами и дорогой (рис. 49).

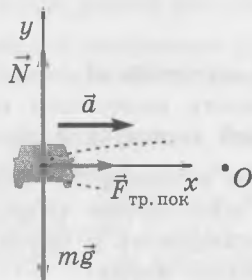


Рис. 49

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

253. Автомобиль, движущийся со скоростью v , совершает поворот по дуге окружности радиусом r . Коэффициент трения между колёсами автомобиля и дорогой равен μ .

- Используя рисунок 49, запишите второй закон Ньютона для автомобиля в проекциях на показанные на рисунке оси координат в виде системы двух уравнений.
- Запишите неравенство, которому удовлетворяет сила трения покоя.
- Выведите неравенство, которому должна удовлетворять скорость автомобиля v при заданных значениях r и μ .
- Выведите неравенство, которому должен удовлетворять радиус поворота r при заданных значениях v и μ .
- Выведите неравенство, которому должен удовлетворять коэффициент трения μ при заданных значениях v и r .

254. Каков наименьший радиус окружности, по которой автомобиль может равномерно двигаться со скоростью 60 км/ч, если коэффициент трения между колёсами и дорогой равен 0,5?

Конический маятник

255. На рисунке 50 изображены силы, действующие на груз массой m , подвешенный на нити длиной l и движущийся по окружности радиуса r со скоростью v в горизонтальной плоскости (конический маятник).

- Назовите эти силы.
- Как направлена равнодействующая этих сил?
- Запишите выражения для проекций сил, действующих на груз, а также для проекций ускорения груза на эти оси. Угол отклонения нити от вертикали обозначен α .
- Запишите второй закон Ньютона для груза в проекциях на показанные на рисунке оси координат.
- Выразите $F_{\text{нат}}$ и v через m , l и α .
- Выразите период обращения груза T через l и α .

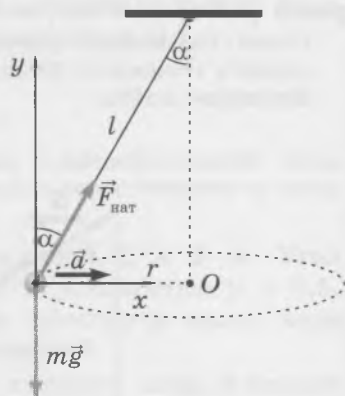


Рис. 50

Совет. а) Вспомните, как направлена равнодействующая сил, приложенных к телу, которое равномерно движется по окружности. г) Вспомните выражение для центростремительного ускорения. Выразите радиус окружности r , по которой движется груз, через l и α . е) Воспользуйтесь соотношениями $T = \frac{2\pi r}{v}$, $r = l \sin \alpha$ и выражением для v , полученным при выполнении предыдущего задания.

256. Подвешенный на нити длиной 50 см груз массой 100 г движется по окружности в горизонтальной плоскости. Сила натяжения нити равна 2 Н.

- На какой угол отклонена нить от вертикали?
- Чему равен радиус окружности?
- Чему равна скорость груза?
- Чему равен период обращения груза?

Движение по окружности в полусфере и в конусе

В следующей задаче главное — «узнать» конический маятник, хотя в условии речь идёт о полусфере.

257. Небольшая шайба массой $m = 50$ г равномерно движется со скоростью 2 м/с по горизонтальной окружности радиусом $r = 20$ см внутри *гладкой* полусферы (рис. 51).

- Изобразите на чертеже все силы, действующие на шайбу. Какая из этих сил «играет роль» силы натяжения нити для конического маятника?
- Чему равно ускорение шайбы?
- Чему равен угол между действующей на шайбу силой нормальной реакции и вертикалью?
- Чему равна действующая на шайбу сила нормальной реакции?
- Чему равен радиус *полусферы*?
- Чему равна частота обращения шайбы?

258. Небольшая шайба движется по горизонтальной окружности радиусом $r = 30$ см по *гладкой* внутренней поверхности *конуса* (рис. 52). Угол между образующей конуса и вертикалью $\alpha = 60^\circ$. Чему равен период обращения шайбы T ?

Совет. Сделайте чертёж (см. рис. 53).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

259. Автомобиль совершает поворот на горизонтальной дороге по дуге окружности радиусом 100 м. С какой максимальной скоростью может ехать автомобиль, если коэффициент трения между шинами и дорогой равен 0,4?

Совет. Центростремительное ускорение автомобиля вызывает сила трения покоя.

260. Шарик, подвешенный на нити длиной 50 см, равномерно движется по окружности, расположенной в горизонтальной плоскости. Нить составляет угол 30° с вертикалью. С каким ускорением движется шарик? Есть ли в условии лишние данные?

Совет. Сделайте в тетради рисунок с указанием всех сил, действующих на шарик. Запишите второй закон Ньютона в проекциях на оси координат. Решите полученную систему уравнений делением левых и правых частей уравнения друг на друга соответственно.



Рис. 51

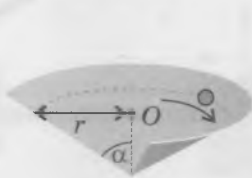


Рис. 52

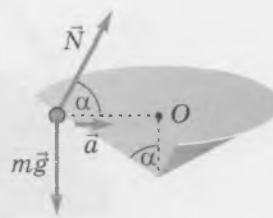


Рис. 53

Повышенный уровень

261. Горизонтально расположенный диск вращается с частотой $0,5 \text{ с}^{-1}$ вокруг вертикальной оси, проходящей через его центр. На каком расстоянии от оси вращения диска можно положить монетку, чтобы она покоилась относительно диска? Коэффициент трения между монеткой и диском равен $0,3$.

Совет. Когда монетка покоится относительно диска, центростремительное ускорение ей сообщает сила трения покоя.

262. Гирька, подвешенная на нити длиной 50 см , равномерно движется по окружности в горизонтальной плоскости. При этом сила натяжения нити в 3 раза превышает действующую на гирьку силу тяжести. Поставьте по этой ситуации четыре вопроса и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Какой угол с вертикалью образует нить? б) Чему равен модуль ускорения гирьки? в) Чему равен радиус окружности, по которой движется гирька? г) С какой скоростью движется гирька?

263. Чему равна скорость поезда, движущегося по дуге радиусом 120 м , если нить, на которой подвешен в вагоне поезда груз, отклоняется от вертикали на угол 30° ?

264. Небольшая шайба равномерно движется по окружности внутри гладкой полусферы радиусом 30 см . Чему равна скорость шайбы, если она всё время остаётся на высоте 15 см от нижней точки полусферы? Чему равен период обращения шайбы?

Совет. Найдите радиус окружности, по которой вращается шайба.

Высокий уровень

265. Маленький шарик массой $m = 10 \text{ г}$ подвешен на лёгкой нити, направленной по касательной к гладкой полусфере, как показано на рисунке 54. Угол $\alpha = 30^\circ$, радиус полусферы $R = 0,1 \text{ м}$. Когда шарiku сообщили горизонтальную скорость $v = 0,5 \text{ м/с}$, он стал двигаться по окружности в горизонтальной плоскости, не отрываясь от полусферы.

а) Чему равна сила, с которой шарик давит на полусферу?

б) Какую минимальную скорость надо сообщить шарiku, чтобы он перестал давить на полусферу?

266. Поезд, движущийся со скоростью 15 м/с , совершает поворот. К потолку вагона на пружине жёсткостью 200 Н/м подвешен груз массой 2 кг , при этом удлинение пружины во время поворота равно 11 см . Чему равен радиус дуги, по которой поезд совершает поворот?

Совет. Центробежное ускорение грузу сообщает равнодействующая приложенных к нему силы тяжести и силы упругости. Запишите второй закон Ньютона в проекциях на оси координат. Для решения полученной системы уравнений удобно воспользоваться основным тригонометрическим тождеством.

267. В воронке, образующая которой составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом, лежит маленький брусок. Воронка вращается вокруг вертикальной оси, как показано на рисунке 55. Расстояние от бруска до оси вращения $r = 0,1 \text{ м}$, коэффициент трения между бруском и воронкой равен $\mu = 0,3$.

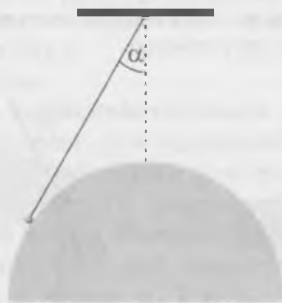


Рис. 54

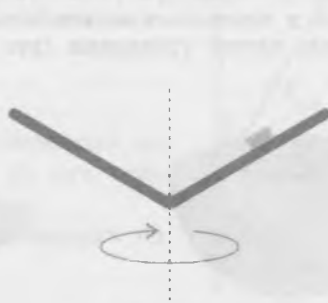


Рис. 55

- С какой частотой ν_0 должна вращаться воронка, чтобы сила трения, действующая на брусок, была равна нулю?
- При какой минимальной частоте вращения воронки брусок может покоиться относительно неё?
- При какой максимальной частоте вращения воронки брусок может покоиться относительно неё?

Совет. Оси координат удобно направить горизонтально и вертикально. б) При минимальной частоте вращения сила трения покоя равна максимальной силе трения покоя и направлена *вверх* вдоль образующей воронки. в) При максимальной частоте вращения сила трения покоя равна максимальной силе трения покоя и направлена *вниз* вдоль образующей воронки.

268. Шарик массой 0,1 кг, подвешенный к пружине жёсткостью 40 Н/м, равномерно движется по окружности в горизонтальной плоскости с угловой скоростью 10 рад/с. При этом пружина составляет угол 30° с вертикалью. Найдите длину недеформированной пружины.

Движение системы тел

При рассмотрении движения системы тел надо:

- изобразить на чертеже все силы, действующие на *каждое* тело системы;
- записать уравнения второго закона Ньютона для *каждого* тела в проекциях на выбранные оси координат; учесть при этом третий закон Ньютона;
- учесть уточняющие слова в условии: например, что связывающая тела нить является лёгкой и нерастяжимой.

В результате получится *система уравнений*. С её помощью можно вывести *соотношения между заданными и искомыми величинами*.

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Тела движутся в одном направлении

269. На гладком столе находятся два бруска массами m_1 и m_2 , связанные лёгкой нерастяжимой нитью (рис. 56). К первому бруску приложена горизонтально направленная сила \vec{F} .

- Используя рисунок, назовите силы, действующие на каждый брусок.
- Какие силы уравновешивают друг друга?
- Почему силы \vec{T}_1 и \vec{T}_2 равны по модулю?
- Равны ли ускорения брусков? Обоснуйте свой ответ.
- Запишите уравнение второго закона Ньютона для первого бруска в проекциях на показанные оси координат. Модуль силы натяжения нити обозначьте T , а ускорения брусков обозначьте a .

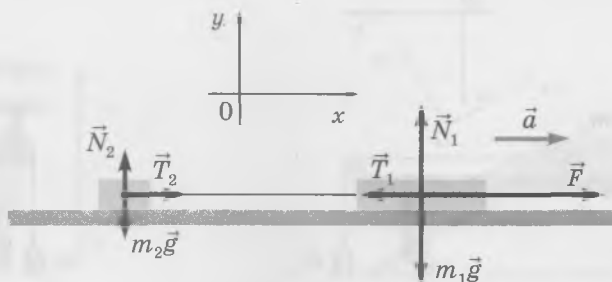


Рис. 56

е) Запишите уравнение второго закона Ньютона для второго бруска в проекциях на показанные оси координат.

ж) Используя полученные системы уравнений, найдите выражения для модуля ускорения брусков a и модуля силы натяжения нити T .

Совет. г) Учтите, что по условию нить *нерастяжимая*. ж) Достаточно использовать первые уравнения каждой системы.

270. Два бруска, связанные лёгкой нерастяжимой нитью, скользят с ускорением 2 м/с^2 по гладкому столу под действием горизонтальной силы 4 Н , приложенной к первому бруску. Сила натяжения нити 1 Н . Чему равны массы брусков?

271. Брусок массой m_6 находится на гладком столе (рис. 57). Он связан лёгкой нерастяжимой нитью, переброшенной через блок, с грузом массой m_r . Трением в блоке и массой блока можно пренебречь.

а) Изобразите на чертеже силы, действующие на брусок и на груз. Назовите эти силы.

б) Равны ли по модулю ускорения тел? Равны ли по модулю силы натяжения нити, действующие на брусок и на груз? Обоснуйте свои ответы.

в) Запишите второй закон Ньютона для бруска и груза в проекциях на показанные на рисунке оси координат (обозначьте a модуль ускорения тел, T — модуль силы натяжения нити).

г) Используя полученные уравнения, выразите модуль ускорения тел и силу натяжения нити через m_6 и m_r .

272. В описанной в задаче 271 ситуации $m_6 = 2 \text{ кг}$, $m_r = 0,5 \text{ кг}$.

а) Чему равен вес груза?

б) Сравните вес груза с действующей на груз силой тяжести. Объясните причину их отличия.

Совет. Вес груза — сила, с которой он растягивает подвес (в данном случае — нить).

273. Два груза массами m и M подвешены на концах лёгкой нерастяжимой нити, переброшенной через блок (рис. 58), причём $M > m$. Трением в блоке и его массой можно пренебречь.

а) Перенесите рисунок в тетрадь и изобразите на нём силы, действующие на каждый груз. Назовите эти силы.

б) Как направлены ускорения грузов? Изобразите их на чертеже.

в) Равны ли по модулю ускорения грузов? Равны ли по модулю силы натяжения нити, действующие на грузы? Обоснуйте свои ответы.

г) Запишите второй закон Ньютона для грузов в проекциях на ось x , направленную вертикально вниз (обозначьте a модуль ускорения грузов, T — модуль силы натяжения нити).

д) Используя полученные уравнения, выразите модуль ускорения грузов и силу натяжения нити через M и m .

е) Одинаков ли вес грузов? Обоснуйте свой ответ.

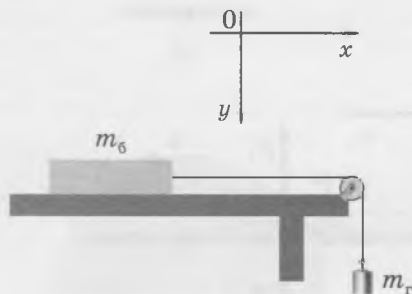


Рис. 57



Рис. 58

274. Два груза, массами $M = 450$ г каждый, подвешены на концах лёгкой нерастяжимой нити, переброшенной через блок. Когда на один из грузов положили перегрузок массой m , грузы стали двигаться с ускорением, модуль которого $a = 1$ м/с². Трением в блоке и его массой можно пренебречь.

- Чему равна масса перегрузка m ?
- Чему равен вес перегрузка P во время его движения?

275. Цилиндры массами $m_1 = 100$ г и $m_2 = 150$ г подвешены с помощью одного подвижного и одного неподвижного блоков (рис. 59). Нить лёгкая и нерастяжимая, трением в блоках и их массой можно пренебречь.

- Запишите соотношение между проекциями ускорений цилиндров.
- Запишите второй закон Ньютона для цилиндров в проекциях на ось x в виде системы уравнений. Обозначьте модуль силы натяжения нити T .
- Используя полученные уравнения, найдите выражения для проекций ускорений цилиндров через их массы.
- Как направлены ускорения первого и второго цилиндров?
- Выразите силу натяжения нити через массы цилиндров.
- Чему равен вес каждого цилиндра?

Совет. а) Воспользуйтесь тем, что путь, пройденный за любой промежуток времени первым цилиндром, в 2 раза больше, чем путь, пройденный за тот же промежуток времени вторым цилиндром (подвижный блок приводит к проигрышу в перемещении в 2 раза). Кроме того, учтите, что цилиндры движутся в противоположных направлениях. г) Найдите знаки проекций ускорений цилиндров на выбранную ось x при заданных значениях масс цилиндров. д) Воспользуйтесь вторым законом Ньютона для цилиндров в проекциях на ось x и полученными выражениями для проекций ускорений цилиндров. е) Вес первого цилиндра равен силе натяжения нити, а вес второго — в 2 раза больше, потому что он равен удвоенной силе натяжения нити.

276. Брусok массой $m_1 = 400$ г находится на гладкой наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ (рис. 60). Брусok связан лёгкой невесомой нитью с цилиндром массой $m_2 = 100$ г.

- Запишите соотношение между проекциями ускорений бруска и цилиндра на соответствующие оси координат.
- Запишите второй закон Ньютона для бруска и цилиндра в проекциях на оси координат, показанные на рисунке.
- Выразите проекцию ускорения бруска на ось x_1 через массы бруска и цилиндра и угол наклона плоскости.
- Как направлены ускорения бруска и цилиндра при заданных значениях массы тел и угла наклона плоскости?
- Чему равны ускорения бруска и цилиндра?

Совет. г) Найдите знак проекции ускорения бруска на ось x_1 .

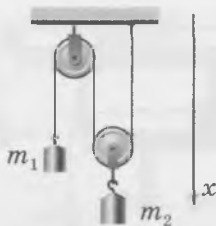


Рис. 59

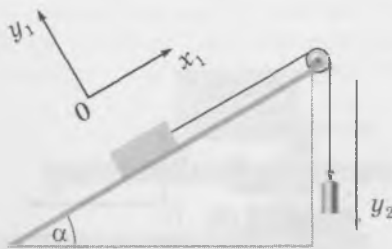


Рис. 60

277. На гладком столе один на другом лежат два бруска (рис. 61). Масса верхнего бруска $m_{\text{в}} = 1$ кг, масса нижнего бруска $m_{\text{н}} = 200$ г. Коэффициент трения между брусками $\mu = 0,4$. К верхнему бруску прикладывают горизонтально направленную силу \vec{F} , равную по модулю 20 Н.

- Какие силы действуют на верхний брусок?
- Какие силы действуют на нижний брусок?
- Запишите второй закон Ньютона в проекциях на ось x для каждого бруска, предположив, что между ними действуют силы трения *скольжения*. Подставьте в эти уравнения выражения для сил трения скольжения.
- Найдите ускорения брусков при заданных в условии значениях величин.
- Могут ли полученные значения ускорений брусков быть правильными? Обоснуйте ваш ответ.

Итак, предположение, что между брусками действуют силы трения *скольжения*, привело к противоречию. Значит, между брусками действуют силы трения *покоя*.

- Запишите второй закон Ньютона в проекциях на ось x для каждого бруска, предположив, что между ними действуют силы трения *покоя*.
- Найдите ускорение брусков при заданных в условии значениях величин.
- Чему равен модуль сил трения покоя, действующих между брусками?
- Сила трения покоя не может превышать силу трения скольжения. Выполняется ли это неравенство для силы трения покоя в данном случае?
- С каким максимально возможным ускорением может двигаться нижний брусок?
- Какую горизонтальную силу надо приложить к верхнему бруску, чтобы «сорвать» его с нижнего бруска?

Совет. д) Учтите, что нижний брусок не может двигаться с большим ускорением, чем верхний. е) В этом случае оба бруска движутся с одинаковым ускорением, модуль которого можно обозначить a . ж) Сложите уравнения. и) Найдите значение силы трения скольжения. к) Найдите максимальную силу трения, которая может действовать на нижний брусок. л) Чтобы приложенная к верхнему бруску сила сдвинула его относительно нижнего бруска, верхний брусок должен двигаться с ускорением, которое превышает максимально возможное ускорение нижнего бруска. Модуль равнодействующей приложенных к верхнему бруску сил равен $F - \mu m_{\text{в}}g$.

278. На рисунке 62 изображена система тел. Стол гладкий, нить лёгкая и нерастяжимая, массы брусков $m_{\text{н}} = 0,5$ кг, $m_{\text{в}} = 0,3$ кг, масса груза $m_{\text{г}} = 0,2$ кг. В начальный момент груз придерживают, все тела покоятся. Трением в блоке и массой блока можно пренебречь. В некоторый момент груз отпускают без толчка.

- При каком коэффициенте трения между брусками они будут двигаться как единое целое?
- Чему будут равны ускорения брусков, если коэффициент трения между ними равен 0,5?
- Чему будут равны ускорения брусков, если коэффициент трения между ними равен 0,1?

Совет. Обратите внимание: в данном случае с большим ускорением может двигаться только *нижний* брусок.

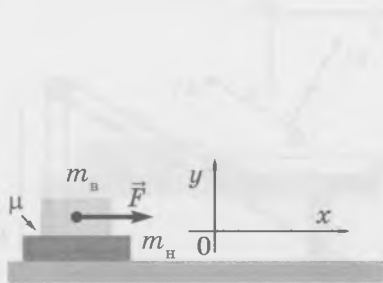


Рис. 61

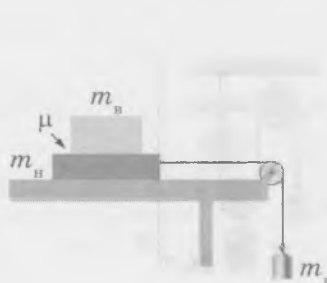


Рис. 62

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ¹⁾

Повышенный уровень

279. Бруски массами 2 кг и 3 кг, связанные нитью, движутся по гладкому горизонтальному столу. К бруску массой 2 кг приложена горизонтальная сила 20 Н.

- Чему равен модуль ускорения брусков?
- Чему равна сила натяжения нити?
- Чему будет равен модуль ускорения брусков и какова будет сила натяжения нити, если силу 20 Н приложить к бруску массой 3 кг?

280. Бруски массами 100 г и 200 г, связанные нитью, поднимают вертикально вверх, прикладывая к верхнему бруску массой 100 г силу, равную 6 Н.

- Чему равен модуль ускорения брусков?
- Найдите силу натяжения нити.

281. Два бруска массами $m_1 = 3$ кг и $m_2 = 2$ кг, соединённые пружиной жёсткостью $k = 300$ Н/м, под действием силы $F = 30$ Н, направленной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, движутся по гладкому столу (рис. 63). Найдите удлинение пружины.

Совет. Найдите общее ускорение системы брусков и учтите, что это ускорение сообщает второму бруску сила упругости пружины.

282. Брусок, соединённый с гирей нитью, переброшенной через неподвижный блок (рис. 64), движется по гладкому горизонтальному столу. Чему равно отношение массы бруска к массе гири, если ускорение тел в 5 раз меньше ускорения свободного падения?

283. К закреплённому динамометру подвешен лёгкий блок, через который перекинута нить с грузами массой 0,1 кг и 0,15 кг на её концах. Чему равны модуль ускорения грузов, сила натяжения нити и показания динамометра? Трением в блоке пренебречь.

Совет. Показания динамометра в 2 раза больше силы натяжения нити.

Высокий уровень

284. К бруску массой $4m$ с помощью нитей, переброшенных через блоки, привязаны две гири массами m и $2m$ соответственно (рис. 65). В начальный момент тела покоятся. Чему равно ускорение системы тел, если коэффициент трения между бруском и столом равен 0,2, а $m = 1$ кг? Чему равны силы натяжения каждой нити? Массой блоков и трением в них пренебречь.

285. На гладком столе покоится тележка массой 100 г, на которой лежит брусок массой 2 кг. К тележке прикладывают горизонтально направленную силу, которая «выдёргивает» тележку из-под бруска (рис. 66). Каким может быть модуль этой силы? Коэффициент трения между бруском и тележкой — 0,2.



Рис. 63

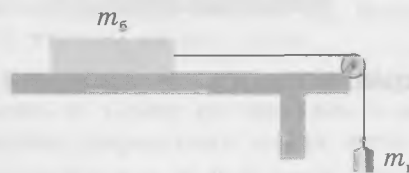


Рис. 64

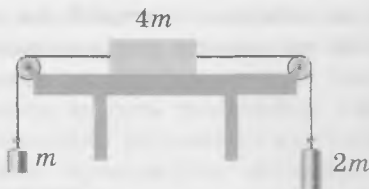


Рис. 65

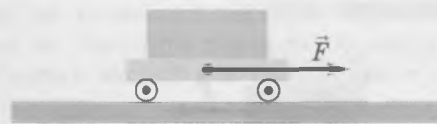


Рис. 66

¹⁾ В задачах к этому разделу нити считаются нерастяжимыми, массой нитей, пружин и блоков можно пренебречь.

Совет. Найдите условие, при котором тележка и брусок будут двигаться как единое целое. Тележку можно выдернуть из-под бруска, если найденное условие *не будет выполняться*.

286. На гладком столе покоится тележка массой 100 г, на которой лежит брусок массой 2 кг. К бруску прикладывают горизонтально направленную силу, под действием которой брусок начинает скользить по тележке (рис. 67). Каким может быть модуль этой силы? Коэффициент трения между бруском и тележкой — 0,2. Сравните полученный результат с результатом предыдущей задачи.

Совет. Найдите условие, при котором тележка и брусок будут двигаться как единое целое. Брусок будет скользить по тележке, если найденное условие *не будет выполняться*.

287. На краю доски длиной 2 м и массой 2 кг, лежащей на гладком столе, покоится небольшой брусок массой 1 кг (рис. 68). Коэффициент трения между доской и бруском равен 0,1. К доске прикладывают горизонтально направленную силу, равную 6 Н. Начнёт ли брусок скользить по доске? Если да, то через какой промежуток времени после начала действия силы он соскользнёт с доски?

Совет. Брусок соскользнёт с доски в тот момент, когда пройденный доской путь будет больше, чем путь, пройденный бруском, на длину доски.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

Импульс. Закон сохранения импульса

Импульс тела	Импульс силы
$\vec{p} = m\vec{v}$	$\vec{F}\Delta t$
Соотношение между изменением импульса тела и импульсом равнодействующей	
$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$	
Закон сохранения импульса	
Для замкнутой системы тел	
$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots = \text{const}$	

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Импульс

288. Грузовик массой 3 т движется по шоссе на север со скоростью 40 км/ч. По тому же шоссе едет легковой автомобиль массой 1 т. Как направлена и чему равна его скорость, если *векторная* сумма импульсов грузовика и легкового автомобиля равна нулю?

Совет. Векторная сумма двух векторов равна нулю, если эти векторы равны по модулю и направлены противоположно.

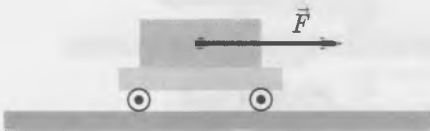


Рис. 67



Рис. 68

289. Бильярдный шар массой 300 г, движущийся со скоростью 2 м/с, ударяется о бортик. В результате удара направление скорости шара изменяется на противоположное, а модуль скорости не изменяется. Обозначим \vec{p}_1 начальный импульс шара, а \vec{p}_2 — конечный.

- Чему равен модуль импульса шара до удара и после удара?
- Запишите соотношение между \vec{p}_1 и \vec{p}_2 .
- Найдите *изменение* импульса $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$ графически с помощью правила вычитания векторов. Выразите $\Delta\vec{p}$ через начальный импульс \vec{p}_1 . Как направлен вектор $\Delta\vec{p}$?
- Чему равно $\frac{\Delta p}{p_1}$?

290. Кусок пластилина массой 200 г свободно падает без начальной скорости с высоты 5 м на асфальт и прилипает к нему.

- Чему равен и как направлен импульс куска пластилина непосредственно перед ударом об асфальт?
- Чему равен импульс куска пластилина сразу после удара?
- Найдите *изменение* импульса $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$ графически с помощью вычитания векторов. Выразите $\Delta\vec{p}$ через начальный импульс \vec{p}_1 . Как направлен вектор $\Delta\vec{p}$?
- Чему равно $\frac{\Delta p}{p_1}$?

Импульс силы и изменение импульса тела

291. Докажите, что $\Delta\vec{p} = m\vec{a}\Delta t$, где \vec{a} — ускорение тела.

292. Используя второй закон Ньютона, докажите, что $\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$.

Совет. Согласно второму закону Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$.

293. Камень массой 300 г свободно падает без начальной скорости. Чему равно изменение импульса камня:

- за первую секунду падения;
- за вторую секунду падения;
- за n -ю секунду падения?

Совет. На свободно падающее тело массой m действует только сила тяжести $m\vec{g}$. Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу действующей на него силы.

294. Мяч после удара о стену отскочил от неё. Непосредственно перед ударом и сразу после удара скорость мяча направлена горизонтально и равна по модулю 5 м/с. Чему равна средняя сила давления мяча на стену во время удара, если масса мяча 400 г, а продолжительность удара 0,04 с?

Совет. Найдите, чему равен модуль изменения импульса мяча при ударе.

295. Шар массой 1 кг равномерно движется по окружности со скоростью 1 м/с.

- Чему равен модуль изменения импульса шара за один полный период обращения?
- Чему равен модуль изменения импульса шара за половину периода обращения?
- Чему равен модуль изменения импульса шара за четверть периода обращения?
- Как направлено изменение импульса шара за очень малый (по сравнению с периодом обращения) промежуток времени?

Совет. б) Сделайте пояснительный чертёж. в) Сделайте пояснительный чертёж. г) Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу равнодействующей приложенных к телу сил. Вспомните, как направлена равнодействующая сил, приложенных к телу, которое равномерно движется по окружности.

296. Камень массой 200 г, брошенный под углом 30° к горизонту с высоты 15 м, упал на землю через 3 с после броска. Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- Чему равен модуль изменения импульса камня за первую секунду полёта? Как направлено изменение импульса?
- Чему равно изменение импульса камня за всё время его полёта?
- Чему равна начальная скорость камня?

Совет. а) Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу равнодействующей приложенных к телу сил. В данном случае на камень действует только сила тяжести: по условию сопротивлением воздуха можно пренебречь. в) Запишите формулу, выражающую зависимость от времени проекции перемещения камня на вертикальную ось координат.

297. Камень массой 100 г брошен под углом 30° к горизонту со скоростью 20 м/с. Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- Через какой промежуток времени после броска импульс камня будет направлен *горизонтально*?
- Чему равен модуль изменения импульса камня за промежуток времени, о котором говорится в предыдущем вопросе?

Совет. а) Импульс камня направлен горизонтально в верхней точке траектории. б) Воспользуйтесь формулой $\Delta \vec{p} = \vec{F}\Delta t$ и найденным значением времени полёта до верхней точки траектории.

298. Лежащему на столе бруску массой $m = 400$ г сообщили толчком начальную скорость 4 м/с. Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,2.

- Чему равен модуль равнодействующей сил, действующих на брусок при его скольжении по столу?
- Чему равен модуль изменения импульса бруска за *первую* секунду после толчка?
- Чему равен модуль изменения импульса бруска за *вторую* секунду после толчка?
- Чему равен модуль изменения импульса бруска за *третью* секунду после толчка?

Совет. г) Найдите время движения бруска до остановки.

299. Бруску массой 200 г, находящемуся на длинной наклонной плоскости с углом наклона 30° , сообщили толчком начальную скорость 5 м/с, направленную вдоль наклонной плоскости вверх. Коэффициент трения между бруском и плоскостью равен 0,6.

- Чему равен модуль изменения импульса бруска за 0,3 с после толчка?
- Чему равен модуль изменения импульса бруска за 1 с после толчка?

Совет. а) Найдите равнодействующую приложенных к бруску сил и убедитесь, что 0,3 с меньше времени движения бруска вверх до остановки. б) Определите, будет ли брусок скользить по наклонной плоскости вниз после остановки.

Использование закона сохранения импульса при рассмотрении столкновения тел

300. С лежащим на столе бруском массой 300 г сталкивается шайба массой 100 г и отскакивает от него. В результате удара направление скорости шайбы изменяется на противоположное. Скорость шайбы непосредственно перед ударом 2 м/с, а сразу после удара — 1 м/с. После столкновения брусок скользит по столу и останавливается, пройдя путь, равный 25 см.

- Чему равен модуль изменения импульса шайбы?
- Чему равен модуль импульса бруска сразу после столкновения?
- Чему равна скорость бруска сразу после столкновения?
- С каким по модулю ускорением двигался брусок после столкновения до остановки?
- Чему равен коэффициент трения между бруском и столом?

Совет. а) Учтите, что в результате удара направление скорости шайбы изменилось на противоположное. б) Воспользуйтесь законом сохранения импульса. г) Выведите формулу, связывающую начальную скорость с тормозным путём. д) Запишите уравнение второго закона Ньютона для скользящего бруска.

301. Скользящая по льду шайба массой 160 г сталкивается с лежащим на льду куском льда массой 0,8 кг и отскакивает от него. Скорость шайбы непосредственно перед столкновением 4 м/с, а сразу после — 3 м/с, причём скорость шайбы после столкновения направлена под прямым углом к скорости шайбы перед столкновением. Коэффициент трения между льдом и льдом равен 0,02.

- Чему равен модуль изменения импульса шайбы?
- На каком расстоянии от места столкновения остановится кусок льда?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

302. Чему равен импульс хоккейной шайбы массой 150 г, движущейся по льду со скоростью 20 м/с? Чему равен модуль *изменения* импульса шайбы в результате её столкновения с бортиком, если при этом направление скорости шайбы изменилось на противоположное, а модуль скорости остался тем же?

303. Горизонтально летящая пуля массой 10 г пробила доску. Движение пули внутри доски продолжалось 100 мкс, начальная скорость пули 700 м/с, конечная — 300 м/с.

- Чему равен модуль изменения импульса пули?
- Чему равна средняя сила, с которой пуля действовала на доску?
- С каким ускорением пуля двигалась внутри доски?

Совет. б) Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу равнодействующей приложенных к телу сил. В данном случае силой тяжести можно пренебречь. в) Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.

304. Катящийся со скоростью 0,6 м/с шар массой 200 г сталкивается с покоящимся шаром массой 300 г. Чему равна скорость второго шара после удара, если первый шар в результате удара остановился?

Повышенный уровень

305. Бильярдный шар движется со скоростью 1 м/с и сталкивается с бортиком. Начальная и конечная скорости шара изображены на рисунке 69. Продолжительность удара 20 мс, масса шара 300 г, угол $\alpha = 60^\circ$. После столкновения с бортиком шар отскакивает с такой же по модулю скоростью. Поставьте по этой ситуации четыре вопроса и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Чему равен модуль импульса шара до и после удара о борт? б) Чему равен угол между векторами импульсов шаров до и после столкновения с бортиком? в) Чему равен модуль изменения импульса шара в результате столкновения с бортиком? г) Чему равна средняя сила, с которой шарик действовал на стенку во время удара?

306. Шар массой 250 г движется равномерно по окружности радиусом 25 см и совершает один полный оборот за 2,4 с. Чему равно изменение импульса шара за 0,4 с?

Совет. Найдите модуль скорости шара и определите, на какой угол поворачивается вектор скорости шара за 0,4 с.

307. Чему равна средняя сила удара шара массой 0,2 кг, падающего с высоты 5 м на пол, если:

- модуль скорости шара в результате удара не изменился, а удар продолжался 10 мс;
- шар «прилип» к полу, а удар длился 50 мс?

Совет. Найдите модуль изменения импульса шара в результате каждого удара.

308. Два шара, модули импульсов которых равны $p_1 = 3 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$ и $p_2 = 4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$, движутся по взаимно перпендикулярным направлениям и сталкиваются друг с другом. Чему равен модуль импульса второго шара после столкновения, если первый шар в результате столкновения остановился?

Совет. Воспользуйтесь теоремой Пифагора.

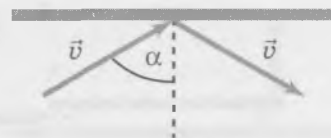


Рис. 69

Высокий уровень

309. Чему равен модуль изменения импульса мяча массой $0,5 \text{ кг}$, брошенного с поверхности земли под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 12 м/с :

- за время движения до верхней точки траектории;
- за время всего полёта?

Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу равнодействующей приложенных к телу сил.

310. Два шарика равной массы, модули скоростей которых $v_1 = 5 \text{ м/с}$ и $v_2 = 4 \text{ м/с}$, движутся по взаимно перпендикулярным направлениям и сталкиваются друг с другом. Чему равен модуль скорости второго шарика после столкновения, если первый шарик после столкновения продолжил двигаться в прежнем направлении со скоростью 2 м/с ?

Совет. Воспользуйтесь теоремой Пифагора.

Применение закона сохранения импульса

Условия применения закона сохранения импульса

Внешние силы уравниваются друг друга или ими можно пренебречь.



Проекция внешних сил на некоторую ось координат равна нулю.



Тела действуют друг на друга с силами, которые намного превышают внешние силы.



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

311. В движущуюся по рельсам тележку с песком падает груз (рис. 70, а). Обозначим m_{Γ} и $m_{\text{т}}$ массы груза и тележки, $\vec{v}_{\text{н}}$ — начальную скорость тележки, а $\vec{v}_{\text{к}}$ — конечную скорость тележки с грузом (рис. 70, б). Трением между колёсами тележки и рельсами можно пренебречь.

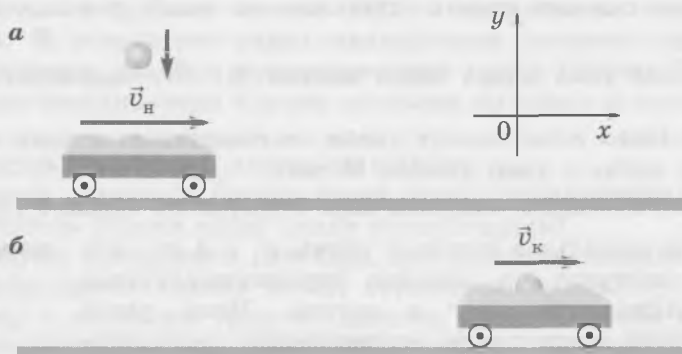


Рис. 70

- а) Какие *внешние* силы действуют на *систему* тел «тележка + груз»?
 б) Как направлены внешние силы, действующие на *систему* тел «тележка + груз»?
 в) Могут ли внешние силы изменить проекции импульсов тележки и груза на *горизонтально* направленную ось x ?
 г) Чему равна проекция суммарного начального импульса груза и тележки на ось x ?
 д) Чему равна проекция суммарного конечного импульса груза и тележки на ось x ?
 е) Выразите v_k через v_n , m_r и m_t .
 ж) Сохраняется ли в данном случае суммарный импульс груза и тележки?
Совет. е) Воспользуйтесь тем, что проекция суммарного импульса груза и тележки на ось x остаётся неизменной. ж) Рассмотрите проекцию суммарного импульса груза и тележки на ось y .

312. Из пушки при выстреле вылетает ядро со скоростью $v_{\text{я}} = 300$ м/с в горизонтальном направлении (рис. 71). Масса пушки 400 кг, а масса ядра 2 кг. Чему равен модуль скорости пушки $v_{\text{п}}$ при отдаче?

Абсолютно неупругим столкновением (ударом) называют такое столкновение тел, в результате которого тела движутся как единое целое.

313. Пластилиновые шары массами m_1 и m_2 движутся вдоль одной прямой со скоростями \vec{v}_1 и \vec{v}_2 . В результате столкновения шары слипаются и движутся как одно тело. Обозначим \vec{v} скорость этого тела.

- а) Направьте ось x вдоль скорости любого из шаров и запишите уравнение, выражающее закон сохранения импульса, в векторной форме и в проекциях на ось x .
 б) Выразите проекцию скорости образовавшегося тела v_x через проекции скоростей шаров и массы шаров.

314. Пусть массы шаров в предыдущей задаче $m_1 = 300$ г и $m_2 = 200$ г, а шары движутся вдоль одной прямой навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 1$ м/с и $v_2 = 2$ м/с. Направьте ось x по скорости первого шара.

- а) Запишите, чему равны проекции скоростей шаров на ось x .
 б) Найдите проекцию скорости образовавшегося тела на ось x .
 в) Направлена ли скорость образовавшегося тела так же, как скорость первого шара до столкновения, или противоположно ей?

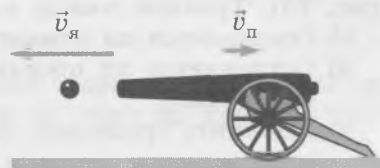


Рис. 71

315. Первая тележка массой 50 кг едет по рельсам со скоростью 2 м/с. Навстречу ей едет вторая тележка. При столкновении тележки сцепляются. Подберите массу и скорость второй тележки так, чтобы в результате столкновения сцепленные тележки:

- а) остановились;
 б) двигались в ту же сторону, что и первая тележка до столкновения;
 в) двигались в ту же сторону, что и вторая тележка до столкновения.

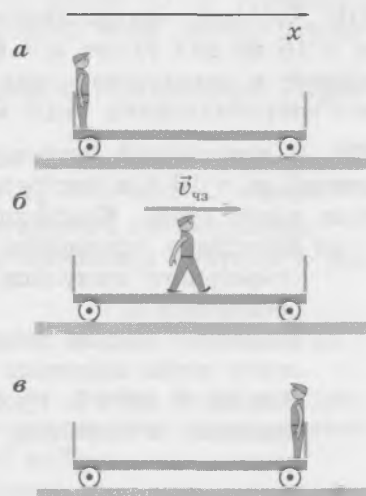


Рис. 72

316. На левом конце покоящейся тележки длиной 12 м и массой $m_t = 120$ кг стоит человек массой $m_{\text{ч}} = 60$ кг (рис. 72, а). В некоторый момент человек начинает идти по тележке вправо со скоростью $v_{\text{чз}} = 0,8$ м/с относительно земли (рис. 72, б). Трением между колёсами тележки и рельсами можно пренебречь.

- а) Обозначьте $v_{\text{тз}}$ модуль скорости тележки относительно земли во время движения человека по тележке. Запишите уравнение, выражающее закон сохранения импульса в проекциях на ось x .

- б) Найдите, чему равен модуль скорости тележки относительно земли.
 в) Чему равна скорость человека относительно тележки?
 г) За какой промежуток времени человек пройдёт вдоль всей тележки?
 д) Чему будут равны скорости человека и тележки относительно земли, когда человек остановится относительно тележки у правого её конца (рис. 72, в)?
 е) На сколько метров сдвинется тележка относительно земли по сравнению с её начальным положением?
 ж) На сколько метров переместится человек относительно земли по сравнению с его начальным положением?

Совет. а) Учтите, что проекция скорости тележки на ось x отрицательна. в) Воспользуйтесь правилом сложения скоростей. Учтите, что человек и тележка движутся в противоположных направлениях. д) Воспользуйтесь законом сохранения импульса. е) Пройденный тележкой путь равен произведению её скорости относительно земли на время движения.

317. В озере на надувных кругах, соединённых лёгкой верёвкой, плавают девочка Аня и её старшая сестра Маша. В начальный момент круги с девочками покоятся и находятся на расстоянии 20 м друг от друга. Одна из девочек потянула с помощью верёвки круг с другой девочкой, после чего круги движутся друг относительно друга со скоростью 0,5 м/с. Массы девочек 20 кг и 30 кг. Примите, что сопротивлением воды можно пренебречь.

- а) Зависят ли скорости кругов относительно земли от того, какая из девочек потянула за верёвку?
 б) С какими скоростями относительно земли движутся круги с девочками?
 в) Какой путь преодолит каждая девочка до встречи?

Совет. б) Воспользуйтесь законом сохранения импульса. в) Согласно правилу сложения скоростей модуль скорости сближения девочек равен сумме модулей их скоростей относительно воды.

318. На рельсах покоится тележка с песком массой $m_T = 20$ кг. В неё влетает шар массой $m_{ш} = 10$ кг со скоростью $v_{ш} = 6$ м/с, направленной под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту (рис. 73). Трением между колёсами тележки и рельсами можно пренебречь.

- а) Сохраняется ли суммарный импульс тележки и шара в результате их столкновения?
 б) Сохраняется ли проекция суммарного импульса тележки и шара на какую-либо ось координат?
 в) Запишите уравнение, выражающее сохранение проекции суммарного импульса. Конечную скорость тележки с шаром обозначьте v .
 г) Выразите конечную скорость тележки с шаром через величины, данные в описании ситуации. Найдите её численное значение.

319. Человек, находящийся на покоящейся надувной лодке в озере, бросает груз массой $m = 10$ кг под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту со скоростью $v_r = 5$ м/с. Какую скорость приобретёт в результате лодка, если масса лодки вместе с человеком $M = 100$ кг? Примите, что сопротивлением воды можно пренебречь.

320. В деревянный брусок массой $M = 1$ кг, лежащий на длинном столе, попадает пуля массой $m = 10$ г и застревает в бруске. Скорость пули $v_{п} = 500$ м/с, причём она направлена вдоль стола. Коэффициент трения между бруском и столом $\mu = 0,5$.

- а) Запишите уравнение, выражающее сохранение проекции суммарного импульса. Начальную скорость бруска с пулей обозначьте v .
 б) Выразите модуль ускорения бруска a при его движении по столу через заданные в описании условия величины.
 в) Выразите путь l , пройденный бруском до остановки, через заданные в описании условия величины и найдите его численное значение.

Совет. б) Воспользуйтесь вторым законом Ньютона и выражением для силы трения скольжения.

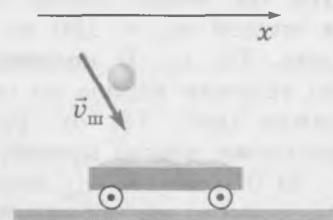


Рис. 73

321. Шар массой 190 г бросили вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Через 2 с после броска в шар попала пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 600 м/с, и застряла в шаре. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

а) Чему равна скорость шара с пулей сразу после попадания пули в шар?

б) На каком расстоянии от точки бросания шара упал шар с пулей?

в) Чему равна скорость шара с пулей непосредственно перед падением?

Совет. а) Найдите скорость шара непосредственно перед попаданием в него пули. в) Воспользуйтесь теоремой Пифагора.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

322. Школьник массой 50 кг прошёл от одного конца первоначально покоящейся тележки до другого конца со скоростью 0,5 м/с относительно земли. Чему равна масса тележки, если во время движения школьника её скорость относительно земли равна 0,2 м/с? Трением между тележкой и землёй можно пренебречь.

323. Чему будет равна скорость тележки массой 1 т, едущей со скоростью 6 м/с, сразу после того как в неё насыплют сверху 2 т песка?

Совет. При взаимодействии песка с тележкой проекция их суммарного импульса на горизонтально направленную ось x остаётся неизменной.

324. Школьник массой 50 кг, стоя на гладком льду, бросает горизонтально камень массой 1,5 кг со скоростью 5 м/с относительно земли. С какой скоростью будет двигаться школьник после броска?

Совет. Указание на то, что лёд гладкий, означает, что трением можно пренебречь.

325. Пластилиновый шар,двигающийся со скоростью 6 м/с, налетает на такой же покоящийся шар. С какой скоростью будут двигаться эти шары после абсолютно неупругого столкновения?

Повышенный уровень

326. На какое расстояние сместится первоначально покоившаяся тележка массой 100 кг и длиной 3 м, когда человек массой 50 кг перейдёт с одного её края на другой? Трением между тележкой и рельсами можно пренебречь.

Совет. Выразите скорость человека относительно земли через скорость тележки и скорость человека относительно тележки.

327. Из пушки производят выстрел снарядом массой 40 кг под углом 60° к горизонту с начальной скоростью 200 м/с. Какова скорость отдачи пушки, если масса пушки равна 1 т?

Совет. В данном случае проекция суммарного импульса пушки и снаряда на горизонтально направленную ось x остаётся неизменной.

328. Два пластилиновых шарика массами $m_1 = 50$ г и $m_2 = 100$ г движутся по взаимно перпендикулярным направлениям со скоростями $v_1 = 2$ м/с и $v_2 = 3$ м/с. С какой по модулю скоростью будут двигаться шарики после абсолютно неупругого столкновения?

Совет. Найдите начальные импульсы шаров, воспользуйтесь законом сохранения импульса и теоремой Пифагора.

Высокий уровень

329. На поверхности озера покоится лодка. Друзья, сидящие на корме и на носу на расстоянии 5 м друг от друга, меняются местами. На какое расстояние переместится лодка, если её масса равна 150 кг, а массы друзей 90 кг и 60 кг?

Совет. Удобнее рассматривать поочерёдные перемещения друзей. Учтите, что лодка в результате перемещений друзей будет двигаться в противоположные стороны.

330. С берега на плывущий по реке плот массой 100 кг бросают груз массой 60 кг со скоростью 1 м/с, направленной горизонтально перпендикулярно течению реки. С какой по модулю скоростью и под каким углом к скорости течения реки будет плыть плот сразу после попадания на него груза? Скорость течения реки 1 м/с.

331. В момент, когда пластилиновый шар, брошенный вертикально вверх со скоростью 20 м/с, находился в полёте 3 с, в него попал такой же пластилиновый шар, летящий горизонтально со скоростью 10 м/с. На каком расстоянии от места бросания первого шара упали шары после их абсолютно неупругого удара? Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Найдите горизонтальную и вертикальную проекции скорости движения слипшихся шаров и дальше решайте задачу о движении тела, брошенного под углом к горизонту.

Реактивное движение

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

332. Из сопла двигателя ракеты каждую секунду вылетает 50 кг газа со скоростью 4 км/с относительно ракеты. Масса ракеты 50 т. Примите, что изменением массы ракеты за одну секунду вследствие уменьшения запаса топлива можно пренебречь.

- Чему равен импульс массы газа, вылетевшего из двигателя за 1 с, в системе отсчёта, связанной с начальным положением ракеты?
- Чему равно изменение импульса ракеты за 1 с?
- Чему равна сила тяги двигателя (то есть сила, действующая на ракету со стороны выбрасываемого газа)?
- Чему равно ускорение ракеты?
- Чему равно отношение ускорения ракеты к ускорению свободного падения на поверхности Земли?

Совет. в) Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу действующей на это тело силы. г) Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.

333. Две ракеты A и B с выключенными двигателями покоятся друг относительно друга. Связанную с ними систему отсчёта можно считать инерциальной. В некоторый момент из сопла двигателя ракеты A выбрасывается порция газа массой m . Масса ракеты A до выбрасывания газа равна M , а скорость выброшенной порции газа *относительно ракеты A после выбрасывания газа* равна \vec{v}_r . Обозначим \vec{v} скорость порции газа, а \vec{V} скорость ракеты A после выбрасывания газа в системе отсчёта, связанной с ракетой B .

- Запишите в векторном виде уравнение закона сохранения импульса для ракеты A и порции выброшенного из неё газа в системе отсчёта, связанной с ракетой B .
- Запишите соотношение, связывающее \vec{v} , \vec{V} и \vec{v}_r .
- Запишите выражение для модуля скорости, которую приобретёт ракета A относительно ракеты B .

Совет. б) Воспользуйтесь правилом сложения скоростей.

334. Две ракеты A и B массой M каждая покоятся относительно ракеты C (рис. 74). Связанную с ними систему отсчёта можно считать инерциальной. Из сопла двигателя ракеты A выбрасываются поочерёдно две порции газа массой m каждая, причём каждая порция газа выбрасывается со скоростью \vec{v}_r *относительно ракеты*. А из сопла двигателя ракеты B выбрасывается одна порция газа массой $2m$ тоже со скоростью \vec{v}_r *относительно ракеты*.

- Запишите выражение для скорости, которую приобретёт ракета A относительно ракеты C .
- Запишите выражение для скорости, которую приобретёт ракета B относительно ракеты C .



Рис. 74

в) Скорость какой ракеты (A или B) относительно ракеты C будет больше?

335. Стартовавшая с поверхности Земли ракета массой 1 т в некоторый момент находится на высоте $1,5\text{ км}$ над поверхностью Земли и движется вертикально вверх со скоростью 3 км/с . В этот момент от ракеты «отстреливается» вертикально вниз относительно ракеты первая ступень, а скорость ракеты возрастает при этом до $4,5\text{ км/с}$. Первая ступень падает на землю через 30 с после отделения. Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

а) Чему равна и как направлена скорость первой ступени относительно Земли сразу после отделения?

б) Чему равна масса первой ступени?

Совет. Воспользуйтесь формулами для движения тела, брошенного вертикально вверх, и законом сохранения импульса.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

336. Как должен поступить человек, стоящий на гладком льду, чтобы сдвинуться с места?

337. Космический корабль готовится к посадке на поверхность Земли. Что надо сделать, чтобы уменьшить скорость корабля?

338. Из сопла покоящейся в некоторой системе отсчёта ракеты массой 600 кг вылетают одной порцией продукты сгорания массой 15 кг со скоростью 800 м/с . Какую скорость приобретёт ракета в этой системе отсчёта?

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения импульса.

Повышенный уровень

339. Необходимо увеличить скорость движения космического корабля с 10 км/с до 11 км/с . Сколько времени должен работать двигатель корабля массой 10 т , если его сила тяги равна 50 кН ? Изменением массы ракеты за время разгона можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь тем, что изменение импульса тела равно импульсу равнодействующей приложенных к телу сил.

340. Чему равна сила, которую надо прикладывать к огнетушителю в момент, когда его масса вместе с содержимым равна 4 кг , чтобы огнетушитель оставался в покое, если за секунду он выбрасывает 600 г пены с горизонтально направленной скоростью, равной 50 м/с ?

Совет. Воспользуйтесь теоремой Пифагора.

341. Водомётный двигатель катера каждую секунду выбрасывает $0,1\text{ м}^3$ воды. Масса катера равна 2000 кг , скорость струи воды относительно катера — 90 км/ч . Катер движется прямолинейно равномерно.

а) Чему равно изменение импульса выбрасываемой двигателем воды за 1 с ?

б) Чему равна сила тяги двигателя?

в) Чему равна суммарная сила сопротивления воды и воздуха, действующих на катер?

Совет. В условии задачи есть лишние данные. Учтите, что катер движется с постоянной скоростью.

342. Маленькая ракета поднимается вертикально вверх на максимальную высоту 200 м , выбросив одной порцией продукты сгорания массой 50 г . Масса корпуса ракеты 250 г . Чему равна скорость продуктов сгорания относительно земли? Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Найдите начальную скорость ракеты.

Высокий уровень


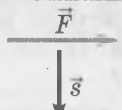
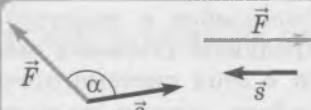
343. Реактивный гоночный автомобиль массой 1 т разгоняется с места. При этом из сопла двигателя ежесекундно выбрасывается 4 кг газа со скоростью 2 км/с. Какое расстояние проедет автомобиль с момента старта до момента, когда его скорость станет равной 20 м/с? Примите, что сопротивлением воздуха и изменением массы автомобиля можно пренебречь.

Совет. Найдите ускорение автомобиля, используя второй закон Ньютона, а также то, что изменение импульса выброшенного газа равно импульсу силы тяги двигателя.

344. Стартовавшая с Земли ракета в некоторый момент времени находится на высоте 1 км и движется со скоростью 200 м/с, направленной вертикально вверх. В этот момент от ракеты «отстреливается» вертикально вниз относительно ракеты первая ступень массой 1 т, вследствие чего скорость оставшейся части ракеты массой 3 т достигает 220 м/с. Сколько времени ступень ракеты будет падать на Землю? Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь формулами для движения тела, брошенного вертикально, и законом сохранения импульса.

Механическая работа. Мощность

Механическая работа $A = F \cos \alpha$	
 <p style="text-align: center;">$A > 0$</p>	 <p style="text-align: center;">$A = 0$</p>
 <p style="text-align: center;">$A < 0$</p>	
<p>Работа силы тяжести</p> $A_T = mg(h_H - h_K)$	<p>Работа силы упругости</p> $A = \frac{k(x_H^2 - x_K^2)}{2}$
<p>При перемещении по замкнутой траектории работа силы тяжести и работа силы упругости равны нулю, а работа силы трения скольжения не равна нулю.</p>	
<p>Мощность</p> $P = \frac{A}{t} \qquad P = Fv$	

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

345. По столу перемещают брусок вправо на 2 м, прикладывая к нему силу \vec{T} (рис. 75). Масса бруска 500 г, $T = 4$ Н, коэффициент трения между бруском и столом равен 0,2.

- Работа какой силы (сил) положительна? Чему она равна?
- Работа какой силы (сил) отрицательна? Чему она равна?
- Работа какой силы (сил) равна нулю?

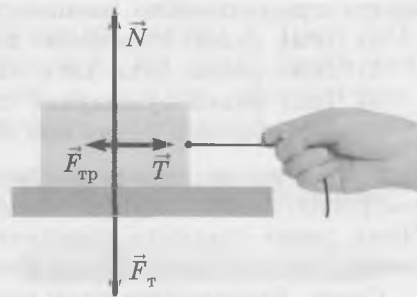


Рис. 75

Работа силы тяжести

346. В каких случаях работа действующей на тело силы тяжести положительна — когда тело движется вверх или когда оно движется вниз?

347. Небольшой брусок массой m соскользнул с наклонной плоскости длиной s и высотой h (рис. 76). Обозначим начальную высоту бруска h_n , а конечную — h_k . Докажите, что работа силы тяжести выражается формулой $A_T = mg(h_n - h_k)$. Докажите, что работа силы тяжести выражается той же формулой и тогда, когда брусок скользит после толчка вдоль наклонной плоскости *вверх*.

348. На нити длиной $l = 50$ см висит шар массой $m = 200$ г. Шар отводят в сторону, поднимая на высоту подвеса нити, сохраняя нить натянутой, и отпускают.

а) Сделайте чертёж, на котором изображён шар в положении равновесия и когда он отведён в сторону.

б) Какую работу совершает сила тяжести при отведении шара от положения равновесия?

в) Чему равна работа силы тяжести при возвращении шара в положение равновесия?

Совет. Воспользуйтесь формулой для работы силы тяжести.

Работа силы упругости

349. Докажите, что сила упругости пружины \vec{F} совершает *положительную* работу, когда пружина *возвращается* в недеформированное состояние — независимо от того, была она растянута или сжата.

Совет. Когда пружина возвращается в недеформированное состояние, сила упругости направлена *так же*, как и перемещение.

350. Докажите, что, когда деформацию пружины *увеличивают*, сила упругости пружины совершает *отрицательную* работу — независимо от того, растягивают пружину или сжимают.

Совет. Когда деформацию пружины увеличивают, сила упругости направлена *противоположно* перемещению.

351. Удлинение пружины жёсткостью 400 Н/м в начальном состоянии равно 3 см. Пружину растягивают *ещё* на 2 см.

а) Чему теперь равна деформация пружины?

б) Чему равна работа силы упругости пружины при указанном растяжении?

Совет. Учтите знак работы силы упругости пружины при увеличении деформации.

Работа силы трения

Сила трения скольжения существенно отличается от силы тяжести и силы упругости тем, что сила трения скольжения направлена всегда *противоположно* перемещению тела¹⁾, поэтому работа силы трения скольжения всегда *отрицательна*.

352. Находящийся на столе брусок массой 1 кг переместили *по сторонам квадрата*. Суммарная работа силы трения оказалась равной при этом -6 Дж. Коэффициент трения между бруском и столом равен 0,3. Чему равна сторона квадрата?

Работа равнодействующей нескольких сил

353. Санки соскальзывают с горы без начальной скорости. Высота горы $h = 10$ м, угол наклона $\alpha = 30^\circ$, масса санок $m = 5$ кг. Коэффициент трения между полозьями санок и снегом равен 0,1.

а) Чему равна работа силы тяжести?

б) Чему равна действующая на санки сила трения скольжения?

в) Чему равен модуль перемещения санок?

г) Чему равна работа силы трения скольжения при спуске санок?

д) Чему равна работа *равнодействующей* приложенных к санкам сил?

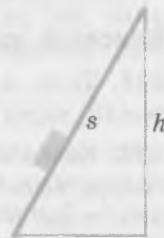


Рис. 76

¹⁾ В системе отсчёта, связанной с телом, по которому скользит рассматриваемое тело.

354. Брусок массой $m = 400$ г толкнули вверх вдоль наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ с начальной скоростью $v_0 = 3$ м/с. Коэффициент трения между бруском и плоскостью $\mu = 0,6$.

- Какой путь l пройдёт брусок до остановки?
- Начнёт ли брусок соскальзывать с наклонной плоскости после остановки?
- Какую работу совершит сила тяжести при движении бруска?
- Чему равна работа силы трения скольжения?
- Чему равна работа равнодействующей приложенных к бруску сил?

Работа переменной силы

355. Цепь длиной $l = 10$ м и массой $m = 10$ кг равномерно поднимают на крышу здания высотой 10 м. В начальный момент нижний конец цепи касается земли.

- Какую силу надо прикладывать для подъёма цепи вначале?
- Изобразите график зависимости силы, которую надо прикладывать для подъёма цепи, от длины свисающей части цепи.
- Чему равна работа по подъёму всей цепи?

Совет. б) Сила, которую надо прикладывать для подъёма цепи, пропорциональна длине свисающей части цепи. в) Работа численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости силы, которую надо прикладывать для подъёма цепи, от длины свисающей части цепи.

356. Какую работу надо совершить, чтобы равномерно поднять из колодца глубиной $h = 20$ м ведро с водой на цепи? Масса ведра с водой $m_{\text{в}} = 10$ кг, масса цепи $m_{\text{ц}} = 4$ кг. Примите, что размером ведра можно пренебречь.

Совет. Фигура, заключённая под графиком зависимости $F(x)$, является трапецией.

357. На полу лежит куб массой $m = 400$ г (рис. 77). Сверху к кубу прикреплена пружина жёсткостью $k = 50$ Н/м. В начальный момент пружина не деформирована. К верхнему концу пружины прикладывают направленную вверх силу, которая медленно увеличивается по модулю. Какую работу совершит эта сила к моменту, когда:

- куб оторвётся от пола;
- нижняя грань куба окажется на высоте 20 см от пола?

Совет. Найдите сначала, насколько надо растянуть пружину, чтобы оторвать куб от пола, и какую работу надо при этом совершить.

Мощность

358. Человек равномерно поднимает гирию массой 16 кг на высоту 1 м в течение 1 с. Какую он при этом развивает мощность?

359. Чему равна сила тяги, действующая на автобус, движущийся со скоростью 72 км/ч, если развиваемая двигателем мощность равна 20 кВт?

360. С какой скоростью подъёмный кран равномерно поднимает бетонный блок массой 1 т, если двигатель крана развивает при этом мощность 4 кВт?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

361. Тело массой 2 кг свободно падает без начальной скорости и достигает земли через 4 с. Какую работу совершила сила тяжести?

362. Камень массой 200 г бросили под углом к горизонту в море с отвесной скалы высотой 10 м. Камень в полёте поднялся до высоты 15 м над уровнем моря и упал в воду.

- Какую работу совершает сила тяжести при движении камня вверх?
- Какую работу совершает сила тяжести при движении камня вниз?
- Какую работу совершает сила тяжести за всё время полёта камня?



Рис. 77

363. Пружину жёсткостью 200 Н/м растягивают так, что удлинение пружины изменяется от 0 до 2 см. Чему равна работа силы упругости пружины?

Совет. Учтите знак работы силы упругости пружины при увеличении деформации.

364. Чему равна работа силы трения, действующей на тело массой 0,5 кг при его перемещении по столу на 50 см с помощью горизонтально направленной силы, если коэффициент трения между телом и столом равен 0,3?

Совет. Учтите знак работы силы трения скольжения.

365. Какую мощность развивает двигатель подъёмного крана, равномерно поднимающего бетонный блок массой 300 кг на высоту 20 м за 1 мин?

Повышенный уровень

366. Какую работу совершает двигатель лифта массой 1,5 т в течение первых четырёх секунд подъёма с ускорением 1 м/с²?

Совет. Найдите высоту, на которую поднимется лифт за 4 с и учтите, что вес лифта больше силы тяжести вследствие ускоренного движения лифта.

367. Тело массой 10 кг движется вдоль оси x . Зависимость проекции скорости тела на ось x от времени в единицах СИ выражается формулой $v_x = 15 + 2t$. Чему равна работа, совершаемая равнодействующей сил, приложенных к телу, в течение первых пяти секунд?

Совет. Найдите начальную скорость тела, его ускорение и пройденный телом путь.

368. Брусок покоится на горизонтальном столе. К бруску прикладывают горизонтальные силы, равные по модулю 3 Н и 4 Н и направленные перпендикулярно друг к другу. Чему равна работа равнодействующей приложенных сил и работа каждой из этих сил при перемещении бруска на 20 см?

Совет. Сделайте в тетради рисунок с изображением всех сил, действующих на брусок. Воспользуйтесь теоремой Пифагора. Найдите угол между вектором каждой силы и перемещением.

369. Подвешенный к пружине груз массой 10 кг растягивает пружину на 8 см. Груз равномерно поднимают на 6 см, прикладывая силу снизу. Какую работу совершают при этом?

Совет. Воспользуйтесь тем, что работа численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости силы от координаты.

Высокий уровень

370. Двигатель автомобиля массой 1 т развивает мощность 10 кВт. При движении автомобиля со скоростью 72 км/ч расход бензина составляет 6 л на 100 км. Чему равен КПД двигателя? Плотность бензина 710 кг/м³, удельная теплота сгорания бензина 44 МДж/кг.

371. Какую работу совершит сила тяжести, действующая на тело массой 5 кг, брошенное с начальной скоростью 20 м/с под углом 30° к горизонту, за первую секунду полёта?

372. К центру металлической пластины массой 2 кг, лежащей на столе, прикреплена пружина жёсткостью 200 Н/м. К верхнему концу пружины прикладывают медленно увеличивающуюся силу, направленную вертикально вверх. Какую работу совершит эта сила до момента, когда пластина окажется на высоте 20 см над столом? Какую работу при этом совершит приложенная к пластине сила?

Совет. Найдите удлинение пружины.

373. Находящейся на наклонной плоскости шайбе массой m сообщают начальную скорость v_0 , направленную вверх вдоль наклонной плоскости. Какую работу совершает сила трения за всё время движения шайбы, если шайба вернулась обратно? Угол наклона плоскости равен α , а коэффициент трения между шайбой и наклонной плоскостью равен μ .

Совет. Найдите модуль перемещения шайбы при её движении вверх вдоль наклонной плоскости.

Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия



Под *работой тела или системы тел* подразумевают *работу сил*, действующих со стороны этого тела или тел, входящих в систему.

Когда тело или система тел совершает *положительную* работу, энергия тела или системы тел *уменьшается*, а когда тело или система тел совершает *отрицательную* работу, энергия тела или системы тел *увеличивается*.

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

374. Как изменяется энергия пружины, когда сжатая пружина распрямляется (рис. 78)?

375. Как изменяется энергия пружины, когда недеформированную пружину сжимают? растягивают?

Совет. В обоих случаях направление действующей со стороны пружины силы упругости противоположно направлению перемещения точки приложения силы. Поэтому в обоих случаях сила упругости пружины совершает *отрицательную* работу.

Изменение энергии тела или системы тел равно *по модулю* совершённой работе, но имеет знак, *противоположный* знаку работы.

376. При растяжении пружины совершили работу, равную 3 Дж.

- Какую работу совершила при этом сила упругости пружины?
- Как изменилась при этом энергия пружины?

Потенциальная энергия

377. Насколько надо растянуть недеформированную пружину жёсткостью 100 Н/м, чтобы её потенциальная энергия стала равной 0,5 Дж?

378. В начальном состоянии пружина жёсткостью 200 Н/м сжата на 1 см, а в конечном — растянута на 1 см. Чему равно *изменение* потенциальной энергии пружины?

Совет. Потенциальная энергия пружины зависит только от *модуля* деформации.



Рис. 78

379. В начальном состоянии пружина жёсткостью 200 Н/м сжата на 1 см, а в конечном — растянута на 2 см. Чему равно изменение потенциальной энергии пружины?

Совет. Потенциальная энергия пружины зависит только от модуля деформации.

380. Брусок поднимают над столом на 1 м (рис. 79). Масса бруска 200 г, уровень стола выше уровня пола на 80 см.

а) Чему равны значения начальной и конечной потенциальной энергии бруска, если с нулевым уровнем потенциальной энергии бруска сопоставить уровень стола? Чему равно *изменение* потенциальной энергии?

б) Чему равны значения начальной и конечной потенциальной энергии бруска, если с нулевым уровнем потенциальной энергии бруска сопоставить уровень пола? Чему равно *изменение* потенциальной энергии?

Кинетическая энергия

381. Как изменяется кинетическая энергия тела при увеличении скорости тела в 3 раза? при уменьшении скорости в 2 раза?

382. По шоссе едут грузовик массой 4 т и легковой автомобиль массой 1 т. Их кинетические энергии равны.

а) Чему равно отношение их скоростей?

б) Чему равно отношение модулей их импульсов?

Теорема об изменении кинетической энергии

Изменение кинетической энергии тела равно работе равнодействующей приложенных к нему сил:

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = A_{\text{рд}}$$

Это утверждение называют *теоремой об изменении кинетической энергии*. Применение этой теоремы упрощает решение некоторых задач.

383. К лежащему на земле шару массой 2 кг прикреплен лёгкий трос. Трос начинают тянуть вверх с силой \vec{T} , равной по модулю 30 Н.

а) Чему равен модуль равнодействующей приложенных к шару сил? Как она направлена?

б) Чему равна работа *равнодействующей* приложенных к шару сил при подъёме шара на 10 м?

в) Чему равна кинетическая энергия шара, когда он находится на высоте 10 м?

г) Чему равна скорость шара в этот момент?

Совет. в) Воспользуйтесь теоремой об изменении кинетической энергии.

384. На столе лежит брусок. Ему толчком сообщают скорость $v_1 = 3$ м/с. Когда брусок проделал путь $l = 1$ м, его скорость стала равной $v_2 = 1$ м/с.

а) Обозначьте m массу бруска, μ — коэффициент трения между бруском и столом и запишите уравнение, выражающее теорему об изменении кинетической энергии.

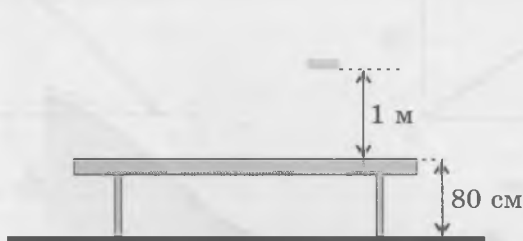


Рис. 79

б) Выразите коэффициент трения между бруском и столом через величины, заданные в условии. Найдите значение коэффициента трения.

Используя теорему об изменении кинетической энергии, можно решать задачи, которые нельзя решить, используя только законы Ньютона.

385. Санки массой m съехали с горы (рис. 80). Высота горы h . Проехав затем некоторое расстояние по горизонтали, санки остановились.

- Какие силы действовали на санки во время спуска и при движении по горизонтали?
- Чему равна работа равнодействующей всех приложенных к санкам сил на всём пути (до остановки)?
- Чему равна работа силы тяжести?
- Чему равна работа силы нормальной реакции?
- Чему равна суммарная работа силы трения, которая действовала на санки во время спуска и при движении по горизонтали до остановки?

Совет. б) Воспользуйтесь теоремой об изменении кинетической энергии. г) Сила нормальной реакции направлена в каждый момент перпендикулярно перемещению. д) Воспользуйтесь тем, что работа равнодействующей всех приложенных к санкам сил равна нулю.

386. Брусок массой $m = 400$ г соскользнул с наклонной плоскости высотой $h = 20$ см. В конце спуска скорость бруска $v = 1$ м/с.

- Найдите работу действующей на брусок при спуске силы трения скольжения с помощью теоремы об изменении кинетической энергии.
- Найдите работу действующей на брусок при спуске силы трения скольжения с помощью законов Ньютона. Какой способ проще?

Совет. б) Введите угол наклона плоскости и коэффициент трения между бруском и плоскостью (они сократятся в ответе).

387. Небольшой деревянный шар массой m падает в воду с высоты h_1 и достигает в воде максимальной глубины h_2 . Плотность дерева, из которого изготовлен шар, обозначим ρ_d , плотность воды ρ_v . Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- Какие силы действуют на шар при его движении в воздухе и в воде?
- Чему равна работа равнодействующей всех приложенных к шару сил при его движении от верхней до нижней точки траектории?
- Запишите выражение для работы силы тяжести.
- Запишите выражение для силы Архимеда.
- Запишите выражение для работы силы Архимеда.
- Выразите работу силы сопротивления воды через величины, данные в описании ситуации.

Совет. б) Воспользуйтесь теоремой об изменении кинетической энергии. е) Воспользуйтесь тем, что работа равнодействующей всех приложенных к шару сил при его движении от верхней до нижней точки траектории равна нулю.

388. В воде на глубине h_1 удерживают деревянный шарик массой m . Плотность дерева, из которого изготовлен шарик, обозначим ρ_d , плотность воды ρ_v . Когда шарик отпускают, он выскакивает из воды и поднимается на высоту h_2 . Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Выразите среднюю силу сопротивления воды через данные в условии величины.



Рис. 80

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ¹⁾

Базовый уровень

389. Шар массой 200 г равномерно поднимают со стола, а затем равномерно опускают на стол. На рисунке 81 изображён график зависимости высоты шара над столом от времени. Нулевому уровню потенциальной энергии шара соответствует положение шара на столе. Найдите:

- потенциальную энергию шара через 4 с после начала подъёма;
- потенциальную энергию шара через 12 с после начала подъёма;
- работу силы тяжести в течение промежутка времени от 4 с до 12 с.

390. По графику зависимости модуля силы упругости от удлинения пружины (рис. 82) поставьте три вопроса и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Чему равна жёсткость пружины? б) Чему равна потенциальная энергия растянутой пружины, когда её удлинение равно 6 см? в) Чему равна работа силы упругости пружины при растяжении пружины от 3 см до 6 см?

391. Чему равна кинетическая энергия автомобиля, движущегося со скоростью 72 км/ч, если его импульс равен $2 \cdot 10^4$ кг·м/с?

Совет. Выразите кинетическую энергию тела через его импульс и скорость.

392. Мячик массой 200 г, брошенный вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с, достиг максимальной высоты. Сопротивлением воздуха можно пренебречь. Чему равны при этом:

- работа силы тяжести;
- изменение кинетической энергии мячика;
- изменение потенциальной энергии мячика?

Повышенный уровень

393. С балкона высотой 20 м брошен горизонтально со скоростью 10 м/с мячик массой 200 г. Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь. Чему равны значения потенциальной и кинетической энергии мячика: а) сразу после броска; б) через 1 с после броска; в) непосредственно перед падением на землю? Заметили ли вы какую-либо закономерность?

Совет. Найдите скорость и высоту мячика в заданные моменты времени.

394. При некотором удлинении пружины её потенциальная энергия равна 10 Дж. Чему будет равна потенциальная энергия этой пружины, если удвоить её удлинение?

395. Чему равно минимальное значение кинетической энергии снаряда массой 5 кг, вылетевшего из пушки с начальной скоростью 500 м/с под углом 60° к горизонту? Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Определите сначала, в какой точке траектории кинетическая энергия снаряда принимает минимальное значение.

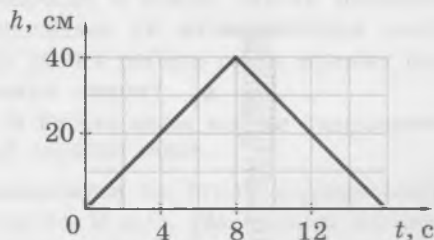


Рис. 81

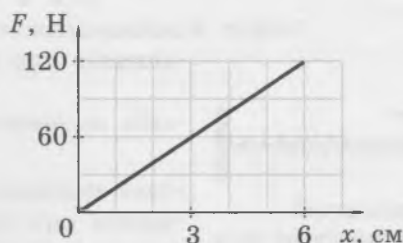


Рис. 82

¹⁾ В задачах к этому разделу предполагается (если иное не оговорено), что нулевому уровню потенциальной энергии поднятого тела соответствует положение тела на уровне земли.

396. Какую работу надо совершить, чтобы увеличить скорость тела в 2 раза, если начальная кинетическая энергия тела равна 10 Дж?

397. Шайба, скользящая по гладкому столу со скоростью 2 м/с, налетает на горизонтально расположенную пружину, прикрепленную к стене, и сжимает её. Чему равна максимальная деформация пружины, если масса шайбы равна 0,2 кг, а жёсткость пружины 400 Н/м?

Совет. Воспользуйтесь теоремой об изменении кинетической энергии.

Высокий уровень

398. Шар соединён с пружинами жёсткостью 400 Н/м и 1000 Н/м, как показано на рисунке 83, и лежит на гладком столе. Чему будет равна потенциальная энергия системы пружин, если сместить шар вправо на 3 см? влево на 3 см? В начальный момент времени пружины не деформированы.

Совет. Модули деформации пружин в обоих случаях равны.

399. Две пружины жёсткостью $k_1 = 100$ Н/м и $k_2 = 200$ Н/м соединены так, как показано на рисунке 84. Снизу к системе пружин подвешен шар. Чему равно отношение потенциальных энергий пружин?

Совет. Силы упругости пружин одинаковы и равны весу шара.

400. Первоначально покоящийся брусок массой m соскользнул по наклонной плоскости длиной l и высотой h . Чему равна кинетическая энергия бруска у основания наклонной плоскости, если коэффициент трения между бруском и плоскостью равен μ ?

Совет. Воспользуйтесь теоремой об изменении кинетической энергии. Найдите работу силы тяжести и силы трения.

Закон сохранения энергии в механике

$$E_p + E_k = \text{const}$$

Изменение механической энергии при наличии трения скольжения

$$\Delta E_{\text{мех}} = A_{\text{тр}}$$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

401. Свободно падающее тело массой m пролетело расстояние h .

- Насколько уменьшилась потенциальная энергия тела?
- Чему стала равной скорость тела?



Рис. 83

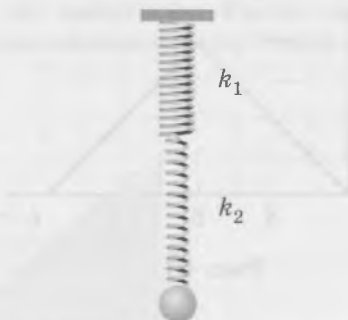


Рис. 84

- в) Насколько увеличилась кинетическая энергия тела?
 г) Сохранилась ли механическая энергия тела?

Закон сохранения энергии в механике можно использовать тогда, когда внешние силы уравновешивают друг друга или ими можно пренебречь, а также если можно пренебречь силами трения скольжения, действующими между телами системы.

Примеры применения закона сохранения энергии в механике

402. Подвешенный на нити небольшой груз отклонили в сторону, держа нить натянутой, и отпустили без толчка. В начальном положении угол отклонения нити от вертикали 60° . Какова длина нити, если при прохождении равновесия скорость груза равна 2 м/с ?

Совет. Выразите начальную высоту груза h через длину нити и угол её отклонения от вертикали.

403. Шар массой m прикреплен к пружине жёсткостью k , которая другим концом прикреплена к стене (рис. 85). Когда шар удерживают в начальном положении 1 , растяжение пружины равно x , а скорость шара равна нулю. Шар отпускают, и через некоторое время он проходит положение 2 , в котором пружина не деформирована.

- а) Как изменяются энергия упругой деформации пружины и кинетическая энергия шара при его переходе из состояния 1 в состояние 2 ?
 б) Чему равны кинетическая энергия шара и потенциальная энергия пружины, когда шар находится в положении 1 ?
 в) Чему равны кинетическая энергия шара и потенциальная энергия пружины, когда шар проходит положение 2 ?
 г) Выразите скорость шара при прохождении положения 2 через начальную деформацию пружины, жёсткость пружины и массу шара.

Совет. г) Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике.

404. Первоначально растянутая горизонтальная пружина с укрепленным на ней шаром возвращается в недеформированное состояние. В начальном положении скорость шара равна нулю. Если начальная деформация пружины равна 6 см , то шар проходит положение равновесия со скоростью 2 м/с . При какой начальной деформации пружины шар будет проходить положение равновесия со скоростью 3 м/с ?

Совет. Используя закон сохранения энергии в механике, найдите соотношение между начальной деформацией пружины и скоростью, с которой шар проходит положение равновесия.

405. Шайба массой m соскальзывает с гладкой горки высотой h , прикрепленной к столу, и в конце спуска абсолютно неупруго сталкивается с покоящимся на столе бруском массой M .

- а) Чему равна скорость шайбы v_1 в конце спуска?
 б) Чему равна скорость шайбы с бруском v_2 сразу после столкновения?

Изменение механической энергии вследствие трения скольжения

406. Санки массой 10 кг соскользнули без начальной скорости с горки высотой 5 м , причём их скорость в конце спуска оказалась равной 9 м/с .

- а) Сохранялась ли механическая энергия при соскальзывании санок?
 б) Чему равна работа силы трения скольжения при соскальзывании санок?

Совет. б) Работа силы трения скольжения равна изменению механической энергии санок.

407. Покоящемуся на столе деревянному бруску толчком сообщили скорость 2 м/с . Насколько нагреется брусок при движении до остановки? Примите, что на нагревание бруска пошло 50% изменения внутренней энергии бруска и стола вследствие трения. Удельная теплоёмкость дерева $2,5 \text{ кДж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$.

Совет. Воспользуйтесь тем, что сумма механической и внутренней энергий сохраняется. Масса бруска при вычислении сократится.

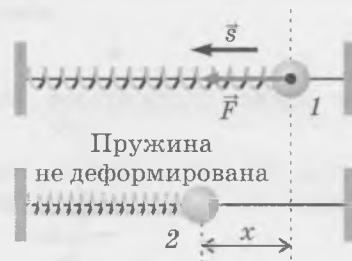


Рис. 85

Применение закона сохранения энергии к неравномерному движению по окружности

408. Небольшой шар массой t висит на лёгком стержне длиной l (рис. 86, а). Стержень может вращаться без трения вокруг точки подвеса O . Шару сообщают начальную горизонтальную скорость \vec{v}_0 , в результате чего стержень с шаром начинает вращаться вокруг точки O (рис. 86, б).

- Какие слова в описании ситуации позволяют считать, что полная механическая энергия шара сохраняется?
- Обозначим скорость шара в верхней точке v_1 . Запишите уравнение, которое выражает сохранение механической энергии шара.
- Выразите скорость шара в верхней точке через v_0 и l .
- Какую скорость надо сообщить шару в нижней точке, чтобы он совершил полный оборот вокруг точки O ?

Совет. г) При минимальной возможной скорости шара в нижней точке его скорость в верхней точке обращается в нуль. Чтобы шар прошёл это неустойчивое положение равновесия, надо, чтобы его скорость в верхней точке была больше нуля.

409. На концах лёгкого стержня длиной $2l$ укреплены небольшие шары массой t и M , причём $M > t$ (рис. 87). Стержень может вращаться без трения вокруг горизонтальной оси, проходящей через его середину. В начальном положении стержень удерживают в горизонтальном положении (рис. 87, а). Когда его отпускают, он приходит в движение и через некоторое время проходит положение равновесия (рис. 87, б).

- Какое соотношение выражает сохранение механической энергии шаров при переходе из начального положения в положение равновесия?
- Чему равны скорости шаров в момент, когда стержень с шарами проходит положение равновесия (рис. 87, б)?

Совет. Поскольку шары укреплены на одном стержне и находятся на одинаковых расстояниях от центра вращения O , их скорости в любой момент равны по модулю.

410. Мяч массой 200 г падает с высоты 20 м без начальной скорости. Непосредственно перед ударом о землю скорость мяча равна 18 м/с. Поставьте как можно больше вопросов по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Чему равна начальная механическая энергия мяча? б) Чему равна конечная механическая энергия мяча? в) Чему равна работа силы сопротивления воздуха? г) Чему равна средняя сила сопротивления воздуха (она определяется как частное от деления модуля работы силы сопротивления на пройденный путь)?

411. Груз массой t подвешен к пружине жёсткостью k .

- Сделайте чертёж; направьте ось x вертикально вниз и совместите начало координат с положением груза, при котором пружина не деформирована.
- Запишите выражение для потенциальной энергии системы «груз + пружина».
- Начертите примерный график зависимости $E_p(x)$. При каких значениях x этот график пересекает ось x ?
- При каком значении x_{\min} потенциальная энергия системы «груз + пружина» наименьшая?

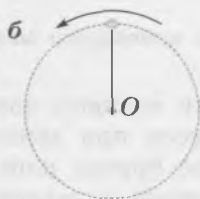
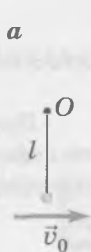


Рис. 86

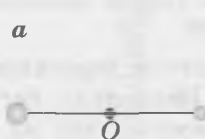


Рис. 87

д) Какому значению $x_{\text{равн}}$ соответствует положение равновесия системы «груз + пружина»?

е) Какой вывод можно сделать из полученных результатов?

ж) В какой момент при колебаниях подвешенного на пружине груза его скорость максимальна?

Совет. в) Графиком зависимости $E_p(x)$ является парабола. г) Если парабола пересекает ось x , то координата x вершины параболы является средним арифметическим значений x , при которых парабола пересекает ось x . д) В положении равновесия действующую на груз силу тяжести уравновешивает сила упругости пружины. ж) Максимальному значению кинетической энергии соответствует минимальное значение потенциальной энергии.

412. Шар массой 2 кг подвешен к пружине жёсткостью 200 Н/м. Шар медленно поднимают до положения, при котором пружина становится недеформированной, и отпускают без толчка. Чему будет равна скорость шара при прохождении положения равновесия?

Совет. Найдите, насколько увеличится потенциальная энергия системы «шар + пружина» при описанном подъёме шара и воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике с учётом того, что положению равновесия соответствует минимум потенциальной энергии.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ¹⁾

Базовый уровень

413. Мячик массой 0,2 кг брошен горизонтально с высоты 20 м со скоростью 10 м/с. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

а) Чему равна начальная кинетическая энергия мячика?

б) Чему равна начальная потенциальная энергия мячика?

в) Чему равна начальная механическая энергия мячика?

г) Чему равна механическая энергия мячика непосредственно перед ударом о землю?

д) Чему равна скорость мячика непосредственно перед ударом о землю?

Совет. Если сопротивлением воздуха можно пренебречь, механическая энергия мячика во время всего полёта остаётся постоянной.

414. Мячик массой 200 г свободно падает без начальной скорости с высоты 20 м. Чему равны кинетическая и потенциальная энергия мяча на высоте 5 м?

Совет. Для нахождения кинетической энергии мячика удобно воспользоваться законом сохранения энергии.

415. Скорость падающего с высоты 20 м без начальной скорости камня массой 3 кг в момент удара о землю равна 18 м/с. Поставьте по этой ситуации три вопроса и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Чему равна потенциальная энергия камня в момент начала наблюдения?

б) Какой кинетической энергией обладал камень в момент падения на землю? в) Какую работу совершила сила сопротивления воздуха?

416. Тележка массой 5 кг, движущаяся со скоростью 2 м/с, налетает на горизонтально расположенную пружину жёсткостью 2000 Н/м и сжимает её. Чему равна потенциальная энергия пружины при её максимальной деформации и какова величина этой деформации?

Совет. Максимальному сжатию пружины соответствует момент, когда вся кинетическая энергия тележки переходит в потенциальную энергию деформированной пружины.

Повышенный уровень

417. На какой высоте кинетическая энергия тела, брошенного вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с, равна его потенциальной энергии?

418. Камень бросили с поверхности земли под углом к горизонту со скоростью 20 м/с. Чему была равна скорость камня в моменты, когда он находился на высоте 15 м? Примите, что сопротивлением воздуха можно пренебречь.

¹⁾ В заданиях к этому разделу с нулевым значением потенциальной энергии тела сопоставляется положение тела на уровне земли.

419. На некоторой высоте скорость камня, брошенного с поверхности земли под углом к горизонту с начальной скоростью 15 м/с, уменьшилась втрое по сравнению с начальной. На какой высоте это произошло? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

420. Брусок массой 100 г соединён с пружиной жёсткостью 200 Н/м и лежит на гладком столе (рис. 88). Другой конец пружины закреплён в стене. Брусок сдвинули так, что пружина растянулась на 6 см, и отпустили без толчка. Найдите скорость бруска в момент, когда растяжение пружины составит 2 см.

Совет. Сумма кинетической энергии бруска и потенциальной энергии пружины остаётся постоянной.

421. Тело падает на землю с некоторой высоты. Какая энергия тела будет больше в тот момент, когда оно пролетит половину пути, — кинетическая или потенциальная? Нулевому уровню потенциальной энергии соответствует положение тела на уровне земли, сопротивлением воздуха пренебрегать нельзя.

Совет. Когда тело пролетит половину пути, потенциальная энергия тела уменьшится в 2 раза по сравнению с начальной. Вследствие сопротивления воздуха механическая энергия тела уменьшается.

Высокий уровень

422. Между двумя лежащими на гладком столе брусками массами $m_1 = 700$ г и $m_2 = 100$ г находится сжатая пружина. Бруски соединены нитью (рис. 89). У какого бруска кинетическая энергия будет больше, когда нить пережгут? Во сколько раз больше? Чему она будет равна, если потенциальная энергия сжатой пружины равна 400 Дж?

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения импульса, а также законом сохранения энергии в механике.

423. В брусок массой 500 г, покоящийся на гладком столе высотой 50 см, попадает пуля массой 8 г, летящая горизонтально со скоростью 400 м/с, и застревает в нём. С какой скоростью брусок с пулей упадёт на пол?

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения импульса для нахождения скорости бруска с пулей при скольжении бруска по столу, а для дальнейшего движения бруска с пулей — законом сохранения энергии в механике.

424. Пуля массой 8 г, летящая горизонтально, попадает в брусок массой 0,5 кг, лежащий на гладком столе, и углубляется в него на 3 см. Чему была равна скорость пули, если сила сопротивления движению пули в бруске равна 20 кН?

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения импульса для нахождения скорости бруска с пулей, а также тем, что изменение суммарной кинетической энергии пули и бруска равно работе силы сопротивления (эта работа отрицательна).

425. Из пружинного ружья, наклонённого под углом 30° к горизонту, стреляют шариком. Пролетев в стволе ружья 50 см, шарик попадает в точку А, находящуюся на расстоянии 1 м от конца ствола ружья (рис. 90). Чему равна масса шарика, если потенциальная энергия сжатой пружины равна 0,5 Дж, а трением в стволе ружья и сопротивлением воздуха можно пренебречь?

Совет. Используя закон сохранения энергии в механике, найдите, с какой скоростью шарик вылетит из ружья. Далее рассмотрите движение тела, брошенного под углом к горизонту.



Рис. 88

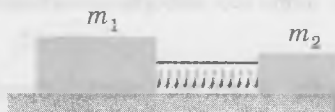


Рис. 89



Рис. 90

Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости

Нормальное и тангенциальное ускорение

Если равнодействующая сил, приложенных к телу, движущемуся по окружности, направлена не к центру окружности, то тело движется по окружности *неравномерно* (рис. 91, а). Направление ускорения тела совпадает с направлением равнодействующей (рис. 91, б). При этом ускорение \vec{a} в любой точке можно представить как векторную сумму *нормального* ускорения \vec{a}_n и *тангенциального* ускорения \vec{a}_τ (см. рис. 91, б):

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau.$$

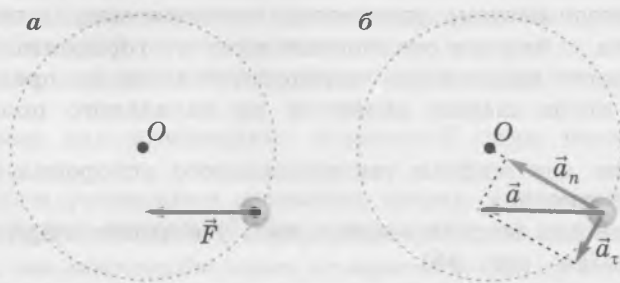


Рис. 91

Нормальное¹⁾ ускорение \vec{a}_n направлено *к центру окружности* перпендикулярно скорости тела и «ответственно» за изменение *направления* скорости тела. Модуль нормального ускорения выражается через скорость тела v и радиус окружности R формулой

$$a_n = \frac{v^2}{R}.$$

Нормальное ускорение телу сообщает проекция F_x равнодействующей на ось x , проведённую к центру окружности из точки, в которой находится тело в данный момент (рис. 92). Поэтому

$$F_x = ma_n = \frac{mv^2}{R}.$$

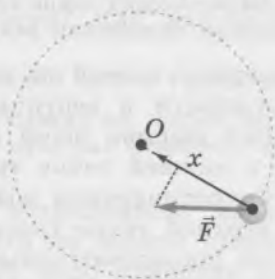


Рис. 92

Тангенциальное²⁾ ускорение \vec{a}_τ направлено *по касательной к окружности*. Тангенциальное ускорение «ответственно» за изменение *модуля* скорости тела. Это ускорение сообщает телу проекция равнодействующей приложенных к телу сил на направление скорости тела.

1) Название нормального ускорения обусловлено тем, что перпендикуляр называют также *нормалью*, а нормальное ускорение направлено перпендикулярно скорости тела.

2) От латинского *тангент* — касающийся.

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Движение груза, подвешенного на нити

426. Подвешенный на нити в точке O шарик отклонили в сторону так, что нить стала горизонтальной (рис. 93), и отпустили без толчка. Длина нити l , масса шарика m . Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике для шарика в положении, показанном на рисунке 94.
- На рисунке 95 изображены силы, действующие на шарик: сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити \vec{T} . Запишите уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось x для шарика в положении, показанном на рисунке.
- Представьте записанные уравнения в виде системы двух уравнений.
- Используя полученную систему уравнений, выразите модуль силы натяжения нити T через массу шарика m и угол отклонения нити от горизонтали α .
- Используя полученное выражение, определите: в каких пределах изменяется сила натяжения нити, когда шарик движется из начального положения к положению равновесия?
- Найдите выражение для модуля тангенциального ускорения шарика в положении, показанном на рисунке 95.
- Найдите выражение для модуля нормального ускорения шарика в положении, показанном на рисунке (см. рис. 95).
- Найдите выражение для модуля ускорения шарика в положении, показанном на рисунке (см. рис. 95).
- В каких пределах изменяется *модуль* ускорения шарика, когда он движется из начального положения к положению равновесия?

Совет. б) В данном случае шарик движется по дуге окружности радиусом l , поэтому проекция равнодействующей приложенных к шару сил на радиус равна произведению массы шарика на его нормальное ускорение. г) Удобно воспользоваться тем, что в каждое уравнение входит выражение mv^2 . е) Тангенциальное ускорение шару сообщает проекция силы тяжести на направление скорости шарика. ж) Найдите проекцию равнодействующей приложенных к шару сил на ось x .

з) Воспользуйтесь теоремой Пифагора и тем, что $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$.

427. На нити подвешен шарик. На какой угол от *вертикали* надо отклонить нить, держа её натянутой, чтобы при прохождении шариком положения равновесия сила натяжения нити была в 2 раза больше силы тяжести? Шарик отпускают без толчка, сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Составьте систему уравнений, выражающих закон сохранения энергии в механике и второй закон Ньютона при прохождении шариком положения равновесия.

428. Висящему на нити длиной l шару массой m сообщают толчком такую скорость, что он начинает двигаться по окружности в вертикальной плоскости. На рисунке 96 показаны последовательные положения шарика через равные промежутки времени. Обозначим v_n модуль скорости шарика в нижней точке траектории, а v_v — модуль его скорости в верхней точке траектории. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- Может ли скорость шарика в верхней точке траектории быть равной нулю?
- Почему в верхней части рисунка последовательные положения шарика расположены на меньших расстояниях друг от друга, чем на нижней?

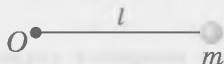


Рис. 93

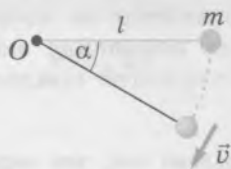


Рис. 94

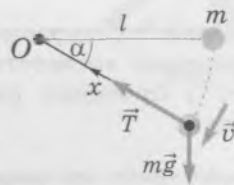


Рис. 95

- в) Изобразите на чертеже силы, действующие на шарик в верхней и нижней точках траектории. Силы натяжения нити в этих точках обозначьте соответственно $\vec{T}_в$ и $\vec{T}_н$.
- г) Запишите в проекциях на ось x уравнение второго закона Ньютона для шарика, находящегося в *верхней* точке траектории. Ось x направьте из положения шарика к центру окружности.
- д) Найдите выражение для минимально возможной скорости шарика в верхней точке траектории.
- е) С каким ускорением движется шарик в верхней точке траектории, когда его скорость равна минимально возможной?
- ж) Запишите в проекциях на ось x уравнение второго закона Ньютона для шарика, находящегося в *нижней* точке траектории. Ось x направьте из положения шарика к центру окружности.
- з) Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике при движении шарика от нижней точки траектории до верхней.
- и) Найдите выражение для минимально возможной скорости шарика в нижней точке траектории.
- к) Найдите выражение для минимально возможной силы натяжения нити в нижней части траектории.
- л) С каким по модулю ускорением движется шарик в нижней точке траектории при минимально возможной скорости? Как направлено это ускорение?

Совет. а) Рассмотрите, как двигался бы шарик из верхней точки, если бы его скорость в этой точке была равна нулю. б) Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике. д) При минимально возможной скорости в верхней точке траектории сила натяжения нити обращается в нуль, когда шарик проходит эту точку траектории. е) В таком случае сила натяжения нити в верхней точке траектории равна нулю. и) Минимально возможной скорости в нижней точке траектории соответствует минимально возможная скорость и в верхней точке траектории. Чтобы связать скорость шарика в верхней и нижней точках траектории, воспользуйтесь уравнением, выражающим закон сохранения энергии в механике. к) Сила натяжения нити при прохождении шариком нижней точки траектории минимальна, когда его скорость при этом равна минимально возможной. л) Вос-

пользуйтесь полученными выше соотношениями $\frac{mv_n^2}{l} = T_n - mg$. $T_{n\min} = 6mg$.

429. Висящему на лёгком стержне длиной l шарiku массой m сообщают толчком такую скорость, что он начинает двигаться по окружности в вертикальной плоскости.

- а) Чему равна минимально возможная скорость шарика в верхней точке траектории?
- б) Чему равна минимально возможная скорость шарика в нижней точке?
- в) С каким по модулю ускорением движется шарик в нижней точке траектории при минимально возможной скорости? Как направлено это ускорение?
- г) Чему равен вес шарика в нижней точке траектории?

Совет. а) Учтите, что со стороны стержня на шарик может действовать сила, направленная и *от центра*. Стержень «не даёт» шарiku сойти с окружности.

Сравнивая движение шарика, подвешенного на нити, с движением шарика, подвешенного на лёгком стержне, мы видим, что во втором случае ему надо сообщить *меньшую* скорость в нижней точке, чтобы он мог двигаться по окружности.

430. Подвешенный на нити шарик вращается в вертикальной плоскости с минимально возможной скоростью. При этом натяжение нити в момент, когда *нить горизонтальна*, равно 3 Н.

- а) Чему равна масса шарика?
- б) В каких пределах изменяется сила натяжения нити при движении шарика?

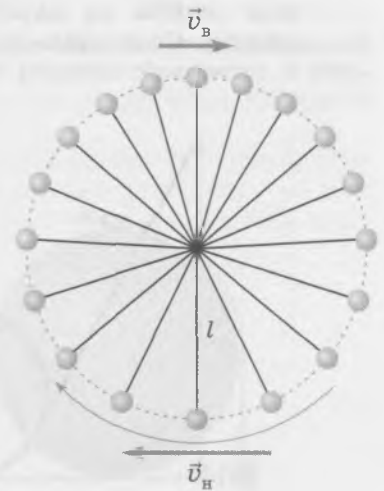


Рис. 96

Движение по «мёртвой петле»

Для этой ситуации справедливы те же уравнения, что и для рассмотренного выше движения груза, подвешенного на нити, только роль силы натяжения нити играет сила нормальной реакции со стороны жёлоба.

431. Небольшая шайба массой m скользит по жёлобу, переходящему в *окружность* радиусом r , и совершает полный оборот (рис. 97). Обозначим H начальную высоту шайбы, v_n — модуль скорости шайбы в нижней точке жёлоба, а v_v — модуль её скорости в его верхней точке. Сопротивлением воздуха и трением можно пренебречь.

- Изобразите на чертеже силы, действующие на шайбу в верхней и нижней точках кругового жёлоба. Силу нормальной реакции, действующую на шайбу в этих точках, обозначьте соответственно \vec{N}_v и \vec{N}_n .
- Запишите в проекциях на ось x уравнение второго закона Ньютона для шайбы, находящейся в верхней точке кругового жёлоба. Ось x направьте из положения шайбы к центру окружности.
- Запишите выражение для минимально возможной скорости шайбы в верхней точке кругового жёлоба.
- Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике при переходе шайбы из начального положения в верхнюю точку кругового жёлоба.
- Запишите выражение для минимально возможной начальной высоты H , при которой шайба совершит полный оборот.

Совет. д) Минимально возможной высоте соответствует минимально возможная скорость шайбы в верхней точке жёлоба.

Если начальная высота шайбы меньше найденной при решении последней задачи, то шайба не сможет совершить *полный оборот* по окружности: в некоторой точке она оторвётся от жёлоба и будет двигаться затем по параболе — как тело, брошенное под углом к горизонту (рис. 98).

Чтобы найти положение точки, в которой шайба оторвётся от жёлоба, надо учесть, что в этой точке сила нормальной реакции, действующая на шайбу со стороны жёлоба, обращается в нуль.

432. Небольшая шайба массой m скользит по жёлобу, переходящему в *окружность* радиусом r . Начальная высота шайбы $H = 2r$. Сопротивлением воздуха и трением можно пренебречь. Обозначим h высоту, на которой шайба оторвётся от жёлоба.

- Изобразите на чертеже силы, действующие на шайбу в момент отрыва от жёлоба.
- Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике при переходе шайбы из начального положения в точку, где происходит отрыв шайбы от жёлоба. Обозначьте v скорость шайбы в этот момент.

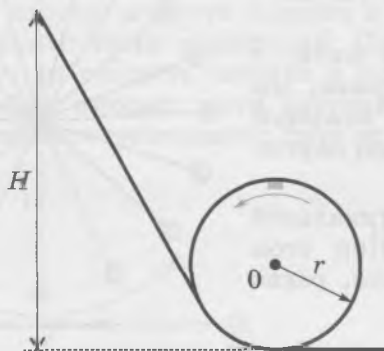


Рис. 97

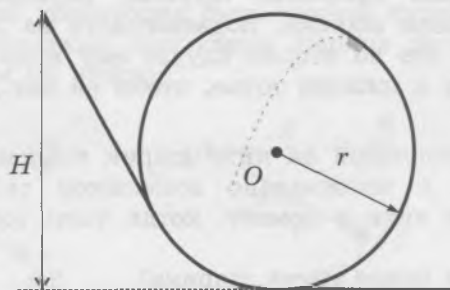


Рис. 98

- в) Запишите в проекциях на ось x уравнение второго закона Ньютона для шайбы в момент отрыва от жёлоба. Ось x направьте из положения шайбы к центру окружности.
- г) Найдите выражение для высоты h , на которой шайба оторвется от жёлоба.
- Совет.* в) В этот момент на шайбу действует только сила тяжести. Выразите косинус угла между вертикалью и радиусом, проведённым в точку отрыва шайбы, через r и h .

433. В нижней точке горизонтально расположенного закреплённого цилиндра радиусом 30 см лежит небольшая шайба (рис. 99). Трением можно пренебречь.

- а) Чему равна минимальная начальная горизонтальная скорость v_0 , которую надо сообщить шайбе, чтобы она совершила полный оборот по окружности?
- б) Чему равна начальная скорость шайбы, если она оторвалась от цилиндра на высоте 40 см?

Соскальзывание с полусферы

434. На вершине гладкой полусферы радиусом r лежит небольшая шайба, которая начинает соскальзывать от очень слабого толчка (рис. 100).

- а) Запишите уравнение, выражающее сохранение механической энергии шайбы для момента, когда она ещё скользит по полусфере. Обозначьте v скорость шайбы в этот момент, h — высоту, на которой находится шайба.
- б) Запишите в проекциях на ось x уравнение второго закона Ньютона для шайбы в тот же момент. Обозначьте N модуль силы нормальной реакции, действующей на шайбу со стороны полусферы, ось x направьте из положения шайбы к центру окружности.
- в) Найдите выражение для высоты, на которой шайба оторвется от полусферы.
- Совет.* в) В момент отрыва сила нормальной реакции обращается в нуль.

435. Небольшая шайба массой 100 г удерживается на вершине гладкой сферы (рис. 101). Шайба соединена нитью с грузом массой M . Тела отпускают без толчка. Шайба отрывается от сферы в момент, когда радиус, проведённый из центра сферы к шайбе, составляет угол $\alpha = \frac{\pi}{6}$ с вертикалью.

- а) Запишите уравнение, выражающее закон сохранения энергии в механике в момент отрыва шайбы от сферы. Угол α удобно использовать в радианной мере: напомним, что длина дуги окружности равна произведению радиуса окружности на соответствующий этой дуге центральный угол, заданный в радианах.
- б) Запишите в проекциях на ось x уравнение второго закона Ньютона для шайбы в тот же момент.
- в) Чему равна масса груза M ?
- Совет.* а) Воспользуйтесь тем, что груз опустился на расстояние, равное длине дуги, пройденной шайбой по сфере. б) Учтите, что в момент отрыва сила нормальной реакции обращается в нуль. в) Решите полученную систему уравнений относительно M .

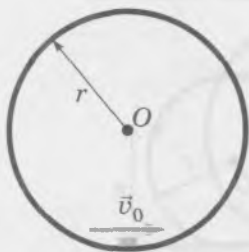


Рис. 99

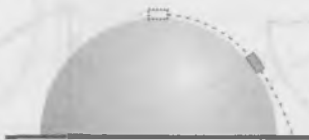


Рис. 100

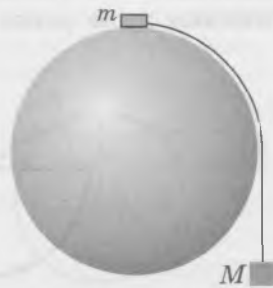


Рис. 101

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Повышенный уровень

436. На нити длиной l подвешен груз массой m . Груз отводят от положения равновесия на некоторый угол α и отпускают без толчка. В каких точках траектории ускорение груза только нормальное? только тангенциальное?

Совет. В точках наибольшего отклонения груза от положения равновесия его скорость равна нулю. При прохождении положения равновесия сила натяжения нити и сила тяжести направлены вдоль одной прямой.

437. Маленькая шайба массой m движется по закреплённой гладкой полусфере радиусом R (рис. 102). В начальный момент скорость шайбы равна нулю и она находится на высоте $\frac{R}{2}$, считая от нижней точки полусферы. Рассмотрим момент, когда шайба дви-

жется вверх и находится на высоте $\frac{R}{6}$.

- Чему равна скорость v шайбы в этот момент?
- Чему равно нормальное ускорение шайбы в этот момент?
- Чему равен модуль N действующей на шайбу в этот момент силы нормальной реакции?
- Найдите построением направление равнодействующей \vec{F} приложенных к шайбе сил в этот момент.
- Найдите построением направление ускорения \vec{a} шайбы в этот момент.

438. С высоты H по гладкому жёлобу, переходящему в окружность радиусом $r = 0,3$ м, скользит маленькая шайба массой $m = 50$ г. На высоте $h = 0,4$ м (рис. 103) шайба отрывается от жёлоба.

- С какой высоты H шайба начинала движение?
- Чему равна сила, с которой шайба давит на жёлоб, находясь на уровне центра окружности?

Совет. а) Запишите закон сохранения энергии и второй закон Ньютона для момента отрыва шайбы от жёлоба. Ось x направьте из положения шайбы к центру окружности. б) Воспользуйтесь законом сохранения энергии, чтобы найти скорость шайбы в момент её нахождения на уровне центра окружности. Запишите второй закон Ньютона в проекции на горизонтально расположенную ось x в этот момент времени. Воспользуйтесь третьим законом Ньютона.

439. Шайба, находящаяся на вершине закреплённой на столе гладкой полусферы радиусом R , соскальзывает с неё из состояния покоя. С какой скоростью шайба упадёт на стол?

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике.

Высокий уровень

440. Подвешенный на нити шарик отклонили в сторону так, что нить стала горизонтальной, и отпустили без толчка. Какой угол с вертикалью образует нить в момент, когда сила натяжения нити равна по модулю действующей на шарик силе тяжести?

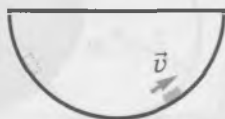


Рис. 102



Рис. 103

Совет. Составьте систему уравнений, выражающих закон сохранения энергии в механике и второй закон Ньютона при прохождении шариком положения, в котором сила натяжения нити равна по модулю силе тяжести.

441. Внутри закреплённого цилиндра с горизонтальной осью лежит маленькая шайба, которой сообщают горизонтально направленную скорость v_0 . Чему равен внутренний диаметр цилиндра, если модуль начальной скорости шайбы равен 3 м/с, а шайба на высоте 40 см отрывается от поверхности цилиндра (рис. 104)?

Совет. Составьте систему уравнений, выражающих закон сохранения энергии в механике и второй закон Ньютона для момента отрыва шайбы от поверхности цилиндра.

442. Шайбе, находящейся в нижней точке наклонной плоскости длиной $l = 1$ м, сообщают некоторую начальную скорость (рис. 105). Наклонная плоскость с углом наклона $\alpha = 30^\circ$ в точке B переходит в вертикально расположенный обруч радиусом $r = 30$ см. Чему равна минимальная начальная скорость шайбы, при которой она отрывается от опоры в точке B ? Коэффициент трения между шайбой и плоскостью равен 0,2.

Совет. Учтите, что касательная к окружности перпендикулярна радиусу, проведённому в точку касания (в данном случае — в точку B). В точке B нормальное ускорение направлено к центру окружности. При минимальной скорости, когда шайба отрывается от опоры в точке B , нормальное ускорение в момент отрыва сообщается шайбе проекцией силы тяжести на радиус окружности, проведённый в точку B .

Применение законов сохранения в механике к движению нескольких тел или системы тел

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Разрыв снаряда в полёте

Согласно закону сохранения импульса, импульс снаряда перед его разрывом равен векторной сумме импульсов осколков снаряда сразу после разрыва. При дальнейшем движении осколков можно использовать закон сохранения энергии в механике, если сопротивлением воздуха можно пренебречь. Если иное не оговорено, то принимают, что масса снаряда равна сумме масс его осколков.

443. Снаряд вылетел из пушки вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 500$ м/с. В верхней точке траектории он разорвался на два осколка, которые упали на землю со скоростями $v_1 = 1$ км/с и $v_2 = 600$ м/с. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- Чему равна скорость снаряда в верхней точке траектории?
- Запишите выражение для высоты h , на которой разорвался снаряд.
- Используя закон сохранения энергии в механике, запишите соотношения между скоростями осколков при падении на землю и их скоростями v_{10} и v_{20} сразу после разрыва снаряда. Обозначьте массы осколков m_1 и m_2 .
- Запишите выражение для отношения модулей скоростей осколков v_{10} и v_{20} сразу после разрыва снаряда.

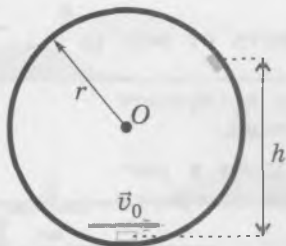


Рис. 104

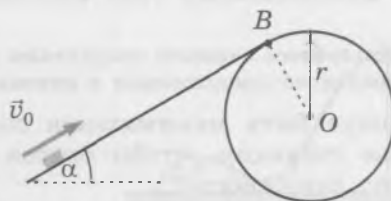


Рис. 105

- д) Выразите отношение масс осколков через величины, данные в описании ситуации.
 е) Найдите, чему равно отношение масс осколков.

Совет. в) Воспользуйтесь уже найденным выражением для h . г) Воспользуйтесь законом сохранения импульса. д) Воспользуйтесь уже полученными соотношениями: $v_1^2 = v_{10}^2 + v_0^2$, $v_2^2 = v_{20}^2 + v_0^2$, $\frac{v_{10}}{v_{20}} = \frac{m_2}{m_1}$.

444. Снаряд вылетел из пушки вертикально вверх и разорвался на два осколка в верхней точке траектории. Скорости осколков сразу после разрыва направлены горизонтально. Первый осколок массой $0,6$ кг упал на землю на расстоянии 500 м от пушки, а второй — на расстоянии 1 км 500 м. Чему равна масса второго осколка? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения импульса и формулами для полёта тела, брошенного горизонтально.

445. Из пушки вылетел снаряд со скоростью $v_0 = 400$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. В верхней точке траектории снаряд разорвался на два осколка равной массы, скорости которых сразу после разрыва направлены горизонтально. Первый осколок упал рядом с пушкой, из которой был произведён выстрел. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- а) Сделайте пояснительный чертёж, на котором укажите скорость снаряда непосредственно перед разрывом и скорости осколков сразу после разрыва.
 б) Чему равны скорости осколков сразу после разрыва?
 в) На каком расстоянии d от пушки упал второй осколок?

Совет. в) До разрыва снаряд летел как тело, брошенное под углом к горизонту, с известной начальной скоростью. После разрыва второй осколок летел как тело, брошенное горизонтально с известной начальной скоростью. Чтобы найти дальность полёта этого осколка, достаточно найти его начальную высоту.

Баллистический маятник

446. В подвешенный на лёгкой нити, длиной $l = 1$ м, брусок массой $M = 1$ кг попадает горизонтально летящая пуля массой $m = 10$ г и застревает в нём (рис. 106). Скорость пули перед попаданием в брусок $v_{\text{п}} = 400$ м/с. Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

- а) Выразите скорость бруска с пулей v_6 сразу после попадания пули в брусок через величины, заданные в описании ситуации.
 б) Сохраняется ли механическая энергия в процессе столкновения пули с бруском? Если нет, то какую долю начальной кинетической энергии пули составляет кинетическая энергия бруска с пулей?

Обратите внимание: на первом этапе (когда пуля движется внутри бруска) суммарная механическая энергия пули и бруска не сохраняется. Но поскольку взаимодействие происходит в течение очень короткого промежутка времени, можно считать, что суммарный импульс бруска и пули сохраняется.

- в) Сохраняется ли механическая энергия бруска с застрявшей в нём пулей при его движении по дуге окружности?
 г) На какую высоту поднялся брусок с пулей?
 д) На какой максимальный угол отклонилась нить от вертикали?

Совет. а) Воспользуйтесь законом сохранения импульса. в) Обратите внимание на последнее предложение в описании ситуации.

447. Какова должна быть минимальная скорость пули в рассмотренной выше ситуации, чтобы брусок с пулей совершил полный оборот по окружности?

Совет. При минимально возможной скорости бруска в верхней точке окружности сила натяжения нити равна нулю.

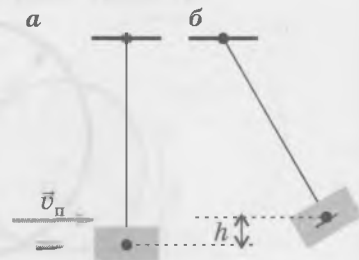


Рис. 106

Гладкая горка и шайба

448. На покоящуюся на гладком столе гладкую горку налетает шайба (рис. 107, а). Масса горки $M = 200$ г, её высота $H = 20$ см, масса шайбы $m = 20$ г. Когда шайба скользит по горке, она не отрывается от горки. В конечном состоянии горка и шайба движутся как единое целое (рис. 107, б).

- Сохраняется ли суммарный импульс горки и шайбы при их взаимодействии?
- Сохраняется ли проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось x ?
- Запишите уравнение, выражающее сохранение суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось x . Обозначьте общую скорость шайбы и горки V .
- Сохраняется ли суммарная механическая энергия горки и шайбы?
- Запишите уравнение, выражающее сохранение суммарной механической энергии горки и шайбы.
- С помощью полученной системы уравнений выведите выражения для скорости горки с шайбой V и начальной скорости шайбы v_0 .

Совет. а) Рассмотрите, например, движение шайбы при подъёме на горку: при этом суммарный импульс горки и шайбы направлен не горизонтально.

449. В предыдущей ситуации шайба налетает на горку с начальной скоростью $v_0 = 1,5$ м/с.

- До какой максимальной высоты h поднимется шайба по горке?
- Чему будет равна общая скорость V горки и шайбы в момент, когда шайба достигнет максимальной высоты?

Совет. а) В момент, когда шайба достигает максимальной высоты, она покоится относительно горки, поэтому скорость шайбы относительно стола направлена горизонтально. б) Воспользуйтесь законом сохранения импульса.

450. На гладком столе покоится гладкая горка массой 100 г с двумя вершинами высотой 8 см и 2 см (рис. 108). С более высокой вершины начинает соскальзывать влево шайба массой 20 г. Шайба не отрывается от горки.

- Как будут направлены скорости горки и шайбы относительно стола в момент, когда шайба будет находиться на менее высокой вершине?
- Чему будут равны скорости горки и шайбы относительно стола в этот момент?

Совет. б) Воспользуйтесь законом сохранения энергии и тем, что горизонтальная проекция суммарного импульса горки и шайбы сохраняется.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Повышенный уровень

451. Снаряд вылетел из орудия вертикально вверх и разорвался на два осколка в верхней точке траектории. Скорость одного из осколков сразу после разрыва направлена горизонтально. Масса первого осколка в 3 раза меньше массы второго осколка. На каком расстоянии от орудия упал второй осколок, если первый осколок упал на землю на расстоянии 900 м от орудия? Сопротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения импульса и формулами для полёта тела, брошенного горизонтально.

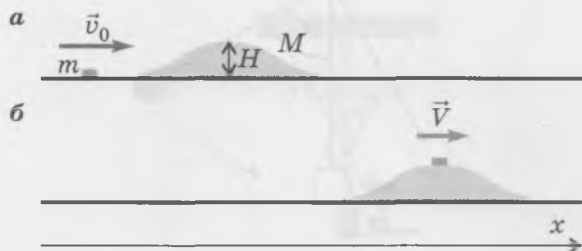


Рис. 107

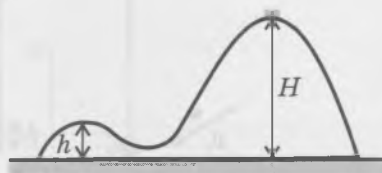


Рис. 108

452. Два пластилиновых шарика массами 40 г и 60 г подвешены на нитях длиной 1 м и соприкасаются друг с другом. Шарик меньшей массы отводят так, что нить становится горизонтальной, и отпускают без толчка.

- Чему равна скорость шара меньшей массы непосредственно перед ударом?
- Чему равна скорость шаров сразу после абсолютно неупругого столкновения?
- На какую высоту относительно положения равновесия поднимутся шары после абсолютно неупругого столкновения?

Совет. а) Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике. б) Запишите закон сохранения импульса для шаров в момент удара. в) Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике.

453. На шар массой 100 г, висящий на лёгком стержне, налетает пластилиновый шар массой 50 г (рис. 109, а) и прилипает к нему. В результате абсолютно неупругого удара шары поднимаются на $h = 40$ см. Чему был равен модуль скорости пластилинового шара перед ударом, если она в этот момент была направлена под углом 30° к горизонту (рис. 109, а, б)?

Совет. Учтите, что в данном случае сохраняется проекция импульса на ось x , направленную горизонтально. Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике.

454. На покоящуюся на гладком столе гладкую горку налетает шайба (см. рис. 107, а). Масса горки $M = 100$ г, её высота $H = 12$ см, масса шайбы 20 г. В конечном состоянии горка и шайба движутся как единое целое (см. рис. 107, б). Чему равна начальная скорость шайбы?

Совет. Запишите уравнение, выражающее сохранение суммарного импульса горки и шайбы в проекции на горизонтальную ось x , а также уравнение, выражающее сохранение суммарной механической энергии горки и шайбы.

Высокий уровень

455. Снаряд вылетел из пушки вертикально вверх с начальной скоростью v_0 и разорвался на два одинаковых осколка в верхней точке траектории. Оба осколка упали вблизи пушки. Первый осколок упал на землю со скоростью $2v_0$, причём раньше, чем второй осколок.

- С какой скоростью второй осколок упадёт на землю?
- До какой максимальной высоты он поднимется?
- На какой высоте разорвался снаряд?
- Чему равны модули скоростей осколков сразу после разрыва?

Спротивлением воздуха можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике и законом сохранения импульса. Учтите, что в момент разрыва скорость снаряда равна нулю.

456. Подвешенный на нити шар отводят от положения равновесия, как показано на рисунке 110, и отпускают. В момент, когда нить вертикальна, шар пробивает насквозь пуля массой 10 г, причём скорость пули направлена противоположно скорости шара. В результате скорость пули уменьшается на 100 м/с. На какой угол от вертикали будет

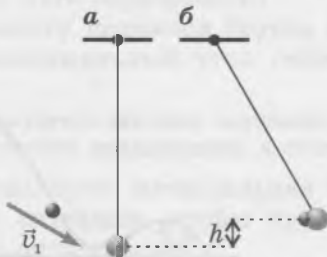


Рис. 109

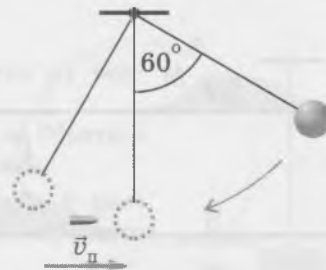


Рис. 110

отклоняться нить при колебаниях пробитого пулей шара? Масса шара 1 кг, длина нити 0,9 м. Сопротивлением воздуха, а также изменением массы шара в результате пробивания его пулей можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике и законом сохранения импульса.

457. Гладкая горка высотой 0,5 м покоится на гладком столе. После небольшого толчка шайба, лежащая на вершине горки, соскальзывает с неё и движется затем по столу со скоростью 3 м/с.

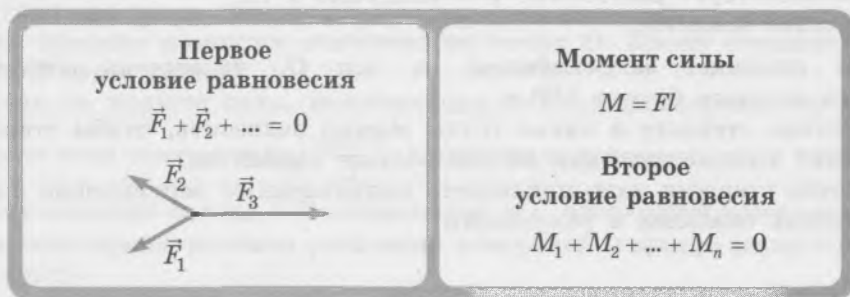
а) Чему равно отношение массы горки к массе шайбы?

б) С какой скоростью будет двигаться по столу горка?

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике и учтите, что проекция импульса на горизонтально направленную ось x сохраняется.

СТАТИКА

Условия равновесия тела



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Первое условие равновесия

458. Подвешенный на трёх лёгких тросах груз массой $m = 10$ кг покоится (рис. 111). Угол $\alpha = 30^\circ$. Обозначим силы натяжения тросов \vec{T}_1 , \vec{T}_2 и \vec{T}_3 .

- Примените первое условие равновесия к грузу. Какой вывод вы сделаете?
- Запишите первое условие равновесия для узла A в векторном виде.
- Запишите первое условие равновесия для узла A в проекциях на оси координат, показанные на рисунке 112.
- Получите выражения для сил натяжения тросов 1 и 2 и найдите эти силы.

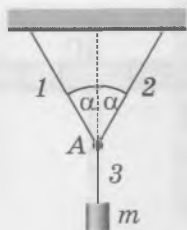


Рис. 111

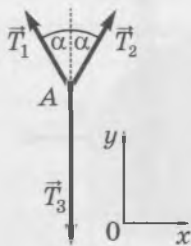


Рис. 112

д) При каком значении угла α силы натяжения всех трёх тросов будут равны?

Совет. в) Учтите, что $T_3 = mg$. г) Из первого уравнения системы, полученной при выполнении предыдущего задания, получаем: $T_1 = T_2$.

459. Фонарь массой 4 кг подвешен на тросах, как показано на рисунке 113. Трос 1 расположен горизонтально, $\alpha = 30^\circ$.

а) Запишите первое условие равновесия для узла A в проекциях на оси координат, которые использовались при рассмотрении предыдущей ситуации.

б) Найдите силы натяжения тросов.

Условие равновесия тела, закреплённого на оси

460. Для какой из двух сил (рис. 114) плечо силы равно расстоянию от оси O до точки приложения силы? Обоснуйте ваш ответ.

Совет. Плечо силы равно длине перпендикуляра, проведённого из оси вращения к линии действия силы.

Момент силы считают положительным, если сила стремится вращать тело против часовой стрелки, и отрицательным — если по часовой стрелке.

461. Для какой из сил, изображённых на рисунке 114, момент силы *отрицателен*?

462. Чему равны моменты изображённых на рисунке 115 сил относительно точки O ? Одной клетке соответствует расстояние 1 м или сила 1 Н.

Совет. Учтите знаки моментов.

463. На лёгком стержне, закреплённом на оси O , подвешены гирлянды брусков (рис. 116). Масса каждого бруска 100 г.

а) В каких точках стержня и какие грузы можно подвесить, чтобы стержень оказался в равновесии? Предложите как можно больше вариантов.

б) В какой точке стержня надо приложить направленную вертикально *вверх* силу 3 Н, чтобы стержень оказался в равновесии?

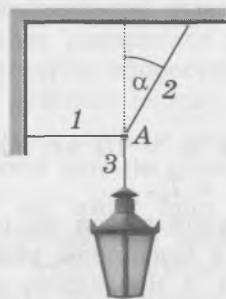


Рис. 113

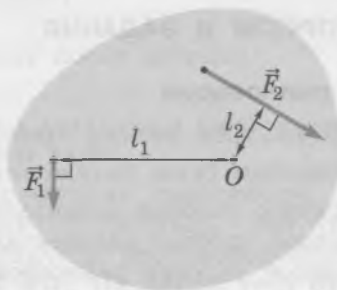


Рис. 114

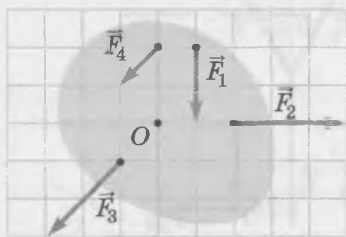


Рис. 115

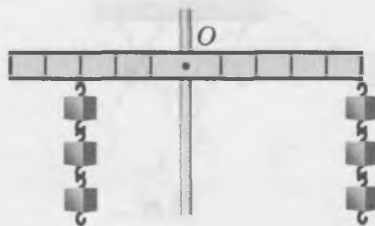


Рис. 116

Второе условие равновесия

464. На рисунке 117 изображены две приложенные к стержню силы. Какую силу надо приложить к стержню в точке A , чтобы он находился в равновесии? Массой стержня можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь вторым условием равновесия и выберите ось, проходящую через точку приложения любой из заданных в условии сил.

При использовании второго условия равновесия ось, относительно которой записывают правило моментов, удобно проводить через точку приложения силы, модуль и направление которой неизвестны: тогда момент этой силы равен нулю.

Если в описании ситуации говорится о лёгком стержне или лёгком тросе, то это означает, что их массами можно пренебречь.

465. Нижний конец лёгкого стержня закреплён в шарнире и может вращаться без трения вокруг точки O (рис. 118). Верхний конец стержня соединён лёгким тросом со стеной. Трос расположен горизонтально. К середине стержня подвешен груз массой m . В равновесии угол между стержнем и вертикалью равен α .

- Относительно какой оси удобно в данном случае записать правило моментов для стержня?
- Изобразите на чертеже силы, действующие на стержень и не приложенные в точке O . Силу натяжения троса обозначьте \vec{T} .
- Запишите правило моментов относительно точки O . Длину стержня обозначьте L .
- Выразите T через m и α .
- Чему равна по модулю сила, действующая со стороны шарнира на стержень?

Совет. в) Плечо силы тяжести равно $\frac{L \sin \alpha}{2}$, а плечо силы натяжения троса равно $L \cos \alpha$. Алгебраическая

сумма моментов сил $m\vec{g}$ и \vec{T} относительно оси, проходящей через точку O , равна нулю.

д) Воспользуйтесь первым условием равновесия и теоремой Пифагора (силы $m\vec{g}$ и \vec{T} перпендикулярны друг другу).

466. Нижний конец лёгкого стержня закреплён в шарнире и может вращаться без трения вокруг точки O (рис. 119). Верхний конец стержня соединён лёгким тросом со стеной. Трос расположен горизонтально. Груз массой $m = 20$ кг подвешен к верхнему концу стержня. В равновесии угол между стержнем и вертикалью $\alpha = 60^\circ$. Чему равна по модулю сила, действующая со стороны шарнира на стержень?



Рис. 117



Рис. 118

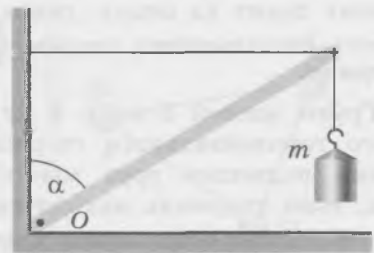


Рис. 119

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

467. На двух тросах одинаковой длины, прикрепленных к потолку, подвешен груз массой 20 кг. Угол между тросами 120° . Чему равна сила натяжения каждого троса?

Совет. Сделайте в тетради чертёж с указанием всех сил, действующих на груз. Запишите первое условие равновесия для точки крепления груза в проекции на вертикально направленную ось y .

468. На рисунке 120 изображены силы, действующие на тело, закреплённое на оси O . Одной клетке соответствует расстояние 2 м или сила 1 Н.

а) Перенесите рисунок в тетрадь и укажите на нём плечи сил \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 относительно точки O . Чему равны плечи этих сил относительно точки O ?

б) Чему равны модули сил \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 ?

в) Чему равны моменты сил \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 относительно точки O ?

г) Используя правило моментов, определите, будет ли данное тело находиться в равновесии.

Совет. а) Учтите, что плечо силы — длина перпендикуляра, опущенного из оси вращения на линию действия силы. г) Закреплённое на оси тело находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов сил, действующих на тело, относительно данной оси равна нулю.

469. Лёгкий стержень длиной 14 см, способный вращаться вокруг неподвижной оси, находится в равновесии под действием приложенных к его концам перпендикулярных стержню сил 3 Н и 18 Н, направленных в одну сторону. Чему равно плечо каждой силы?

Совет. Отношение плеч обратно пропорционально отношению модулей сил. Воспользуйтесь первым условием равновесия для рычага.

470. Лёгкий горизонтальный стержень опирается концами на две опоры. К середине стержня подвешен груз массой 6 кг. С какой силой стержень давит на каждую опору?

Совет. Сделайте пояснительный рисунок и воспользуйтесь условиями равновесия для стержня.

471. Лёгкий стержень длиной 1,2 м, расположенный горизонтально, поднимают на двух параллельных тросах, один из которых закреплён на конце стержня, а другой — на расстоянии 20 см от другого его конца. К середине стержня подвешен груз массой 15 кг. Чему равны силы натяжения тросов?

Совет. Воспользуйтесь условиями равновесия для стержня.

Повышенный уровень

472. На двух тросах висит фонарь массой 3 кг. Первый трос расположен горизонтально и натянут с силой 40 Н. Какова сила натяжения второго троса?

Совет. Изобразите на чертеже все силы, действующие на фонарь. Воспользуйтесь первым условием равновесия и теоремой Пифагора.

473. На лёгком горизонтальном стержне подвешены два груза, находящиеся на расстояниях 50 см и 1 м от точки опоры стержня. Чему равны массы грузов, если сила, с которой стержень давит на опору, равна 120 Н?

Совет. Воспользуйтесь первым и вторым условиями равновесия для стержня.

474. Грузы массой 3 кг и 4 кг подвешены на разных концах лёгкого горизонтального стержня длиной 80 см. К середине стержня подвешен груз массой 3 кг. Где находится точка опоры, если стержень находится в равновесии?

Совет. Удобно использовать правило моментов относительно точки подвеса более массивного груза и учесть первое условие равновесия. Воспользуйтесь правилом моментов.

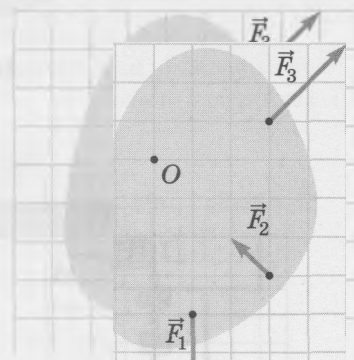


Рис. 120

Высокий уровень

475. Система грузов, изображённая на рисунке 121, находится в равновесии. Чему равен угол α , если $m_1 = 4$ кг, $m_2 = 2$ кг, $m_3 = 5$ кг? Трением в блоках и массой верёвки можно пренебречь.

Совет. Если векторная сумма трёх сил, не направленных вдоль одной прямой, равна нулю, то они образуют треугольник.

476. Если груша лежит на левой чаше неравноплечих рычажных весов, её уравновешивают четыре одинаковых яблока на правой чаше, а если груша лежит на правой чаше, её уравновешивает одно яблоко на левой чаше. Чему равны отношение масс груши и яблока и отношение плеч весов? Массой самих весов можно пренебречь.

Совет. Воспользуйтесь правилом рычага для каждого взвешивания.

477. Груз массой m подвешен с помощью стержня и нити, как показано на рисунке 122.

а) Выразите силу натяжения нити через m , α и β .

б) Какова максимально возможная масса груза, если $\alpha = 30^\circ$, $\beta = 120^\circ$, а нить выдерживает силу натяжения 100 Н?

Совет. Примените правило моментов для стержня относительно его нижнего конца. Воспользуйтесь тем, что сумма углов треугольника равна 180° .

Центр тяжести

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

478. Однородный стержень массой 9 кг и длиной 1 м подвешен в горизонтальном положении на двух вертикально расположенных тросах. Точка крепления первого троса находится на расстоянии 10 см от левого конца стержня, а точка крепления второго — на расстоянии 30 см от правого конца.

а) Изобразите на чертеже силы, действующие на стержень, и плечи этих сил относительно центра тяжести стержня.

б) Чему равны плечи этих сил?

в) Чему равны силы натяжения тросов?

Совет. Воспользуйтесь первым условием равновесия и правилом моментов относительно центра тяжести стержня, который находится в середине стержня.

479. Три небольших шарика массой m каждый соединены лёгкими стержнями (рис. 123).

а) Где находится центр тяжести шариков 1 и 2?

б) Где находится общий центр тяжести всех трёх шариков?

Совет. б) Воспользуйтесь тем, что центр тяжести шариков 1 и 2 лежит на медиане, проведённой из вершины, в которой находится шарик 3. Следовательно, центр тяжести всей системы тоже лежит на этой медиане. Рассуждая аналогично, получаем, что центр тяжести лежит на каждой медиане.

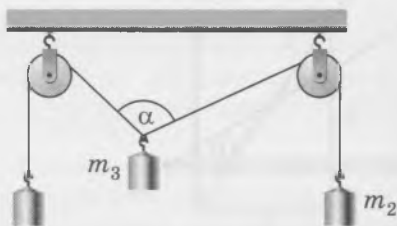


Рис. 121

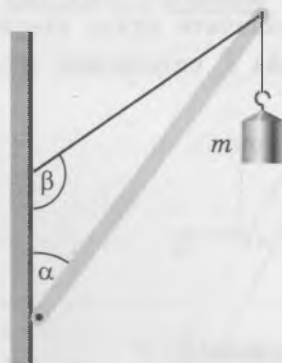


Рис. 122

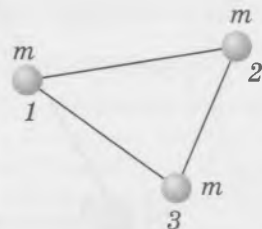


Рис. 123

Какую работу надо совершить для изменения положения тела?

Потенциальная энергия тела, обусловленная его притяжением к Земле, определяется *высотой центра тяжести* тела. Изменение потенциальной энергии при изменении положения тела выражается формулой

$$\Delta E_p = mg\Delta h,$$

где m — масса тела, Δh — изменение высоты центра тяжести.

Отсюда следует, что минимальная работа, которую надо совершить, чтобы поднять на Δh центр тяжести тела массой m , выражается формулой

$$A = mg\Delta h.$$

480. На земле лежит труба длиной 2 м и массой 10 кг. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы поставить трубу вертикально?

Совет. Найдите, насколько увеличивается высота центра тяжести трубы при указанном изменении её положения.

Применение условий равновесия тела к однородному стержню

481. К *гладкой* стене прислонена доска длиной l и массой m (рис. 124). Угол между доской и стеной равен α , коэффициент трения между доской и полом равен μ .

- Изобразите на чертеже силы, действующие на доску. Обозначьте силы нормальной реакции, действующие со стороны стены и пола, \vec{N}_c и \vec{N}_n , а силу трения $\vec{F}_{тр}$.
- Запишите первое условие равновесия для доски в проекциях на показанные на рисунке оси координат.
- Запишите соотношение для силы трения, действующей на доску со стороны пола.
- Относительно какой оси удобнее использовать в данной ситуации правило моментов?
- Запишите второе условие равновесия для доски относительно выбранной оси.
- Выведите из полученных соотношений условие равновесия для доски в виде неравенства для угла α и коэффициента трения μ .

Совет. а) Учтите, что центр тяжести доски находится в её середине. в) Учтите, что на доску со стороны пола действует сила трения *покоя*. е) Докажите сначала, что из соотношений, полученных при выполнении предыдущих заданий, следует неравенство $N_c \leq \mu mg$.

482. Один конец горизонтального однородного стержня массой $m = 10$ кг закреплён в шарнире и может вращаться без трения вокруг точки O (рис. 125). Один конец стержня соединён лёгким тросом со стеной. Трос образует угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом.

- Относительно какой оси удобно использовать в данной ситуации правило моментов?
- Изобразите на чертеже в тетради действующие на стержень силу тяжести $m\vec{g}$ и силу натяжения троса \vec{T} .
- Запишите выражения для моментов этих сил относительно выбранной оси. Каковы знаки этих моментов? Обозначьте длину стержня l .
- Чему равна по модулю сила \vec{T} натяжения троса?

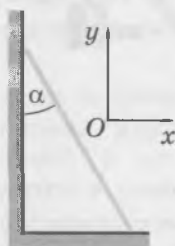


Рис. 124

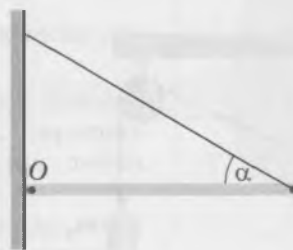


Рис. 125

д) Чему равна по модулю сила, действующая со стороны шарнира на стержень?

Совет. в) Учтите, что центр тяжести стержня находится в его середине. г) Воспользуйтесь правилом моментов относительно оси шарнира. д) Воспользуйтесь первым условием равновесия. Сила, действующая со стороны шарнира на стержень, равна по модулю равнодействующей силы тяжести и силы натяжения троса и направлена противоположно ей. Обратите внимание, что сила, действующая на стержень со стороны шарнира, не перпендикулярна стене.

483. Гладкая тонкая палочка длиной l и массой m покоится в гладком цилиндрическом стакане, опираясь на его край (рис. 126).

а) Изобразите на чертеже в тетради силы, действующие на палочку.

б) Относительно какой оси удобно использовать в данной ситуации правило моментов?

в) Запишите второе условие равновесия для палочки относительно выбранной оси.

г) Найдите силу, с которой палочка длиной 15 см давит на край стакана, если масса палочки равна 100 г, высота стакана 8 см, а его диаметр 6 см.

Совет. а) Учтите, что по условию стакан и палочка гладкие, то есть силой трения можно пренебречь. В таком случае на палочку могут действовать со стороны стакана только силы, перпендикулярные поверхности их соприкосновения. в) Центр тяжести палочки находится в её середине. Для нахождения плеча силы тяжести воспользуйтесь тем, что длину части палочки, ограниченной точками её соприкосновения со стаканом, можно найти с помощью теоремы Пифагора. г) Воспользуйтесь третьим законом Ньютона (требуется найти силу, с которой палочка давит на край стакана).

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

484. Однородный стержень массой 2 кг и длиной 1 м подвешен так, что точка подвеса находится на расстоянии 0,2 м от его левого края. К стержню подвесили груз массой 3 кг так, что стержень после этого стал находиться в равновесии. Где расположена точка подвеса груза?

Повышенный уровень

485. На столе лежит дощечка. На один из её концов положили небольшой груз массой 250 г и начали постепенно выдвигать этот конец за край стола. Дощечка при этом всё время оставалась перпендикулярна краю. Чему равна масса дощечки, если она не опрокидывалась до тех пор, пока её не выдвинули на треть длины?

Совет. Сделайте в тетради схематический рисунок и воспользуйтесь вторым условием равновесия.

486. Найдите центр тяжести трёх небольших шаров, соединённых лёгкими стержнями и находящихся в вершинах равностороннего треугольника (рис. 127).

487. Стержень длиной 1 м изготовлен из двух частей одинакового сечения длиной 50 см каждая. Одна часть изготовлена из свинца, а другая — из железа. Где находится центр тяжести стержня?

Совет. Центр тяжести каждой части стержня находится в её середине, а массы частей стержня относятся как плотности металлов, из которых они сделаны.

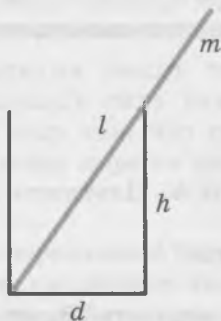


Рис. 126

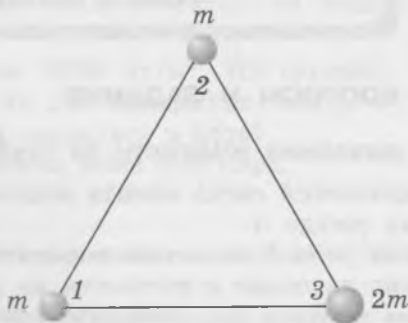


Рис. 127

488. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы поднять лежащую на полу цепь длиной 10 м и массой 10 кг за один её конец так, чтобы другой конец касался пола?

Совет. Найдите, насколько надо поднять центр тяжести цепи.

489. На земле лежит стержень длиной 2 м и массой 12 кг. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы приподнять один его конец так, чтобы стержень составлял с горизонтом угол 30° ?

Совет. Найдите, насколько увеличивается высота центра тяжести стержня.

Высокий уровень

490. К вертикальной гладкой стене на верёвке длиной l подвешен однородный шар массой m и радиусом R (рис. 128). Чему равна сила натяжения нити T и сила давления N стены на шар?

Совет. Со стороны гладкой стены на шар действует только сила нормальной реакции, момент которой относительно центра шара равен нулю. Докажите, что вследствие этого нить и радиус, проведённый в точку крепления нити к шару, лежат на одной прямой. Воспользуйтесь первым условием равновесия.

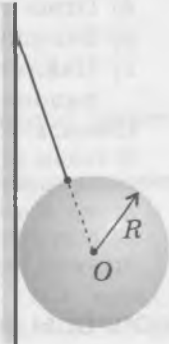


Рис. 128

491. Цепь длиной l удерживается на гладком столе так, что половина цепи свисает со стола. Цепь отпускают, и она начинает соскальзывать со стола. Чему будет равна скорость цепи в момент, когда она оторвётся от стола?

Совет. Найдите, насколько опустится центр тяжести цепи к моменту, когда цепь оторвётся от стола, и воспользуйтесь законом сохранения энергии в механике.

492. По лёгкой лестнице длиной l , прислонённой к гладкой стене, поднимается рабочий. На какую максимальную высоту, считая от пола по вертикали, он сможет подняться, если коэффициент трения между лестницей и полом равен μ , а лестница установлена под углом α к вертикальной стене?

Совет. Учтите, что лестница лёгкая, значит, её массой можно пренебречь.

493. На шероховатом полу лежит куб массой m .

- Какой горизонтальной силой можно опрокинуть этот куб через ребро?
- Какой минимальной силой можно опрокинуть этот куб через ребро?

Примите, что проскальзывания между полом и кубом нет.

Совет. б) Сила, приложенная к кубу, будет минимальной, если она направлена под углом 45° к боковой грани куба.

Равновесие жидкости и газа

Гидростатическое давление $p = \rho gh$

Закон Архимеда $F_A = \rho g V_{\text{погр}}$

Условие плавания тел $F_A = F_T$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Зависимость давления жидкости от глубины

494. В цилиндрический сосуд налита жидкость до высоты h . Плотность жидкости ρ , площадь основания сосуда S .

- Чему равна сила F давления жидкости на дно сосуда?
- Чему равно давление p жидкости на дно сосуда?

Совет. а) Сила давления жидкости на дно сосуда — это вес жидкости. Выразите массу жидкости через её плотность и объём.

На поверхность жидкости может оказывать внешнее давление атмосфера или поршень. В таком случае давление жидкости на глубине h является суммой внешнего и гидростатического давления.

495. На какой глубине в озере давление в 2 раза превышает давление атмосферы?

496. В цилиндрический сосуд налили воду и керосин (они не смешиваются). Общая высота столба жидкостей $h = 30$ см. Гидростатическое давление жидкости у дна сосуда $p = 2,8$ кПа.

а) Запишите формулу, выражающую давление p жидкости у дна сосуда через плотности жидкостей ($\rho_{\text{в}}$ и $\rho_{\text{к}}$) и высоты столбов жидкости $h_{\text{в}}$ и $h_{\text{к}}$.

б) Чему равна высота столба каждой жидкости?

Совет. б) Составьте систему уравнений с двумя неизвестными $h_{\text{в}}$ и $h_{\text{к}}$.

497. В U-образную трубку налита вода (рис. 129). В левое колено трубки доливают некоторую массу керосина. При этом вода в правом колене поднялась на 4 см по сравнению с начальным уровнем.

а) Нарисуйте в тетради U-образную трубку, в которую налиты вода и керосин в соответствии с условием. Отметьте пунктиром на чертеже *самый высокий* уровень, на котором давления жидкости в обоих коленах равны.

б) Чему равно отношение высот столбов жидкости в коленах над отмеченным вами уровнем?

в) Какова высота столба воды над отмеченным вами уровнем?

г) Какова высота столба керосина над отмеченным вами уровнем?

Совет. а) Давление в коленах одинаково на любом уровне: в противном случае жидкость будет перетекать вследствие разности давлений из колена с большим давлением в колено с меньшим давлением. б) Оба столба жидкости оказывают одинаковое давление на отмеченном уровне. в) Поскольку объём воды не изменился, уровень воды в коленах с керосином опустился по сравнению с начальным настолько же, насколько он поднялся в другом коленах.

498. В U-образную трубку налита вода. В правое колено трубки наливают керосин, а в левое — постепенно доливают воду так, чтобы уровень воды в коленах с керосином оставался на начальном уровне. Какую массу воды долили в левое колено трубки, когда высота столба керосина оказалась равной 25 см, если площадь внутреннего поперечного сечения трубки равна 2 см^2 ?

Закон Архимеда

499. На концах стержня, подвешенного в середине, уравновешены стальной и медный шары.

а) Объём какого шара больше?

б) Нарушится ли равновесие стержня, если шары опустить в воду? Почему?

в) Какой шар перевесит?

г) В сторону какого шара надо сдвинуть точку подвеса, чтобы восстановить равновесие стержня?

Совет. б) Равновесие стержня нарушится, потому что действующие на шары силы Архимеда не равны.

500. На дне аквариума лежит шар плотностью 2000 кг/м^3 . На сколько процентов уменьшилась сила давления шара на дно аквариума, когда в аквариум налили воду так, что половина шара оказалась в воде?

Совет. Сила давления шара на дно пустого аквариума равна весу шара.

Плавание тел

501. Плавающий деревянный брусок вынимают из воды и опускают в сосуд с керосином, где брусок также плавает.

а) Изменилась ли действующая на брусок сила тяжести?

б) Изменилась ли действующая на брусок сила Архимеда?

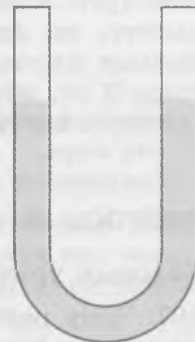


Рис. 129

в) Что изменилось при переносе бруска из воды в керосин?

Совет. б) Воспользуйтесь условием плавания тел.

502. Однородное (изготовленное из одного вещества) и не содержащее полостей тело плавает в жидкости. Обозначим $V_{\text{погр}}$ — объём погружённой в жидкость части тела, V — объём всего тела, $\rho_{\text{т}}$ — плотность вещества, из которого изготовлено тело, $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости. Докажите, что

$$\frac{V_{\text{погр}}}{V} = \frac{\rho_{\text{т}}}{\rho_{\text{ж}}}.$$

Совет. Воспользуйтесь условием плавания тел.

503. Когда деревянный брусок перенесли из сосуда с водой в сосуд с керосином, объём погружённой части бруска увеличился на 25 см^3 .

- Выразите объём погружённой в воду части бруска через объём бруска и плотности бруска и воды.
- Выразите объём погружённой в керосин части бруска через объём бруска и плотности бруска и керосина.
- Используя полученные выражения, выразите массу бруска через заданные в условии величины и плотность воды.
- Найдите, чему равна масса бруска.

504. Однородный брусок плавает на границе раздела воды и керосина. При этом брусок полностью погружён в жидкость и погружён в воду на 2 см . Чему равна плотность бруска, если высота бруска равна 5 см ?

Воздухоплавание

Тело плавает в воздухе на постоянной высоте, если действующая на тело со стороны воздуха сила Архимеда уравнивает силу тяжести.

505. Воздушный шар объёмом $V_1 = 400 \text{ м}^3$ находится в равновесии, когда плотность окружающего воздуха $\rho_1 = 1,28 \text{ кг/м}^3$. Из корзины шара сбрасывают балласт (мешки с песком), вследствие чего шар поднимается до высоты, на которой плотность окружающего воздуха уменьшается в 2 раза. При подъёме объём шара увеличился в 1,5 раза. Примите, что объёмом балласта можно пренебречь по сравнению с объёмом шара.

- Запишите условие равновесия шара вблизи поверхности земли. Введите обозначения всех необходимых для этого физических величин.
- Запишите условие равновесия шара после сброса балласта. Введите обозначения всех необходимых для этого физических величин.
- Выразите массу балласта m через заданные в условии величины.
- Чему равна масса балласта?

506. Груз какой массы сможет поднять наполненный гелием воздушный шар-зонд на высоту, на которой плотность воздуха равна 1 кг/м^3 ? Плотность гелия в 7,25 раза меньше плотности воздуха. Объём шара на искомой высоте равен 10 м^3 , масса оболочки шара 2 кг , объёмом оболочки и груза можно пренебречь.

Совет. Вес груза вместе с весом гелия в объёме шара равен весу воздуха в объёме, равном объёму шара.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

507. Чему равны силы давления воды на дно и стенку доверху наполненного аквариума, имеющего форму куба со стороной a ? Атмосферное давление не учитывайте.

Совет. При расчёте силы давления воды на боковую стенку аквариума воспользуйтесь усреднением.

508. На какой глубине в озере давление в 3 раза превышает давление атмосферы?

509. Какую вертикально направленную силу надо приложить к льдине массой 100 кг, чтобы утопить её в воде?

Совет. Приложенная к льдине сила вместе с силой тяжести уравнивают силу Архимеда.

510. К динамометру подвесили металлический брусок. Из какого металла может быть изготовлен этот брусок, если при его полном погружении в воду показания динамометра уменьшились на 14 %?

Совет. Используя закон Архимеда, найдите плотность вещества, из которого изготовлен брусок, и затем воспользуйтесь справочными данными.

Повышенный уровень

511. В левое колено U-образной трубки со ртутью налили керосин, высота столба керосина равна 13,6 см. Чему стала равной разность уровней ртути в сообщающихся сосудах?

Совет. На уровне границы раздела «ртуть — керосин» давление в обоих коленах одинаково.

512. Медный цилиндр, подвешенный к динамометру, погружают полностью сначала в воду, а затем в керосин. Разность показаний динамометра в этих опытах равна 2 Н. Чему равна масса цилиндра?

Совет. Запишите условия равновесия цилиндра в керосине и в воде.

513. Алюминиевый и железный кубики уравновешены на рычаге. Нарушится ли равновесие, если оба кубика полностью погрузить в воду? Какой из кубиков перевесит, если они:

- а) имеют одинаковую массу;
- б) имеют одинаковый объём?

Совет. б) Учтите, что плечи сил Архимеда, действующих на каждый кубик, различны.

514. Чему может быть равна масса полого стального шара, который не тонет в воде, если объём полости в шаре 200 см³?

Совет. Действующая на шар сила тяжести не должна превышать силу Архимеда при полном погружении шара.

515. Доска плавает на поверхности воды, причём нижняя поверхность доски находится на глубине 3,5 см. Как изменится глубина погружения доски в воду, если поверх воды налить слой керосина толщиной 1 см? Толщина доски 5 см.

Совет. Запишите условия равновесия для плавающей доски до наливания керосина и после этого.

516. С воздушного шара объёмом 100 м³, парящего вблизи поверхности земли, сбросили балласт массой 45 кг. В результате шар поднялся на высоту, на которой плотность воздуха в 2 раза меньше его плотности вблизи поверхности земли, и находился там в равновесии. Как изменился при этом подъёме объём шара? Плотность воздуха у поверхности земли равна 1,29 кг/м³.

Совет. См. задачу 505.

Высокий уровень

517. Ледяной куб с длиной ребра 10 см плавает в сосуде с водой.

- а) Какой толщины слой нефти надо налить поверх воды, чтобы уровень нефти находился на одном уровне с верхней гранью куба?
- б) Изменится ли при этом глубина погружения куба в воду? Если да, то насколько?

518. К деревянному кубу массой 20 кг и объёмом 50 дм³ прикреплена стальная цепь длиной 100 м и массой 200 кг. Когда куб с цепью погрузили в воду, он ушёл под воду, а часть цепи легла на дно. Считайте, что размерами куба по сравнению с глубиной погружения можно пренебречь. Чему равна длина вертикальной части цепи?

Совет. Куб находится в равновесии, когда выталкивающая сила, действующая на него и вертикальную часть цепи, уравнивает действующую на них силу тяжести.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Строение вещества

$$1 \text{ а. е. м.} = \frac{\text{масса атома углерода}}{12}$$

$$\text{Постоянная Авогадро} \\ N_A = 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

В одном моле любого вещества $6 \cdot 10^{23}$ молекул.

Молярная масса — масса одного моля.

$$N = \nu N_A \quad m = \nu M$$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Основные положения молекулярно-кинетической теории

519. Какое положение (или положения) молекулярно-кинетической теории подтверждает броуновское движение?

520. Какое положение (или положения) молекулярно-кинетической теории подтверждает диффузия?

521. Опыты показывают, что диффузия происходит в газах, жидкостях и даже твёрдых телах. Как вы думаете: где она происходит быстрее всего, а где — медленнее всего? Обоснуйте свой ответ.

522. Какие наблюдения указывают на то, что молекулы: притягиваются? отталкиваются?

Количество вещества

523. Сравните число молекул в трёх молях водорода и в одном моле кислорода.

Совет. В одном моле любого вещества содержится одно и то же число молекул.

524. Сколько молей водорода и кислорода нужно взять для того, чтобы в результате реакции между ними получить два моля воды?

Совет. Вспомните химическую формулу воды и учтите, что водород и кислород — двухатомные газы.

525. Выразите массу атома водорода в атомных единицах массы. Какой вывод можно сделать из этого сравнения?

526. Чему равно число молекул, содержащихся:

- а) в трёх молях воды;
- б) в пяти молях водорода;
- в) в 0,1 моля углекислого газа?

Чему равно число атомов в приведённых выше примерах?

527. Имеется несколько образцов вещества, число молекул в которых равно соответственно $6 \cdot 10^{24}$; $3 \cdot 10^{22}$; $3,3 \cdot 10^{24}$ и $6 \cdot 10^{20}$. Чему равно количество вещества в каждом образце?

528. Чему равна относительная атомная масса водорода? углерода?

529. Используя таблицу Менделеева, найдите и запишите в тетради химические элементы, относительные атомные массы которых отличаются: а) в 2 раза; б) в 4 раза; в) в 5 раз; г) в 10 раз.

530. Чему равна относительная молекулярная масса: а) воды; б) водорода; в) кислорода; г) гелия; д) углекислого газа?

Совет. Учтите, что молекулы водорода и кислорода — двухатомные.

Молярная масса

531. Выразите массу образца m через молярную массу M вещества, из которого состоит образец, и количество вещества ν в этом образце.

532. Докажите, что масса одного моля вещества, выраженная в граммах, численно равна относительной молекулярной массе.

Совет. Подставьте в соотношение $m = \nu M$ значение $\nu = 1$.

533. Чему равна молярная масса: а) воды; б) водорода; в) кислорода; г) гелия; д) углекислого газа?

534. Цилиндрический стакан высотой 10 см и диаметром 6 см наполнили водой. Вода полностью испарилась за 20 дней.

- Какой объём воды испарялся за день?
- Какой объём воды испарялся каждую секунду?
- Какая масса воды испарялась каждую секунду?
- Сколько молекул воды испарялось каждую секунду?
- Сколько молекул воды вылетало каждую секунду с каждого квадратного миллиметра поверхности?
- Во сколько раз это число больше числа жителей Земли (данные о числе жителей Земли можно найти в Интернете)?

Совет. г) Найдите, какому количеству вещества соответствует найденная масса воды.

535. Чему равно число молекул воды в капельке тумана радиусом 1 мкм?

536. В совершенно пресное озеро бросили чайную ложку соли (5 г). Площадь поверхности озера равна 1 км², а его средняя глубина равна 3 м. Через достаточно большое время ионы натрия и хлора распределились в озере равномерно.

- Сколько молей поваренной соли было в ложке?
- Сколько атомов натрия и хлора было в соли, содержащейся в чайной ложке?
- Чему равен объём воды в озере?
- Сколько ионов натрия и хлора содержится в каждом кубическом метре воды в озере?
- Сколько ионов натрия и хлора содержится в напёрстке воды, взятой из озера? Объём напёрстка равен 2 мл.

Совет. а) Найдите с помощью таблицы Менделеева молярную массу поваренной соли (NaCl).

537. Оцените, чего больше — молекул воды в столовой ложке воды или столовых ложек воды в Мировом океане? Во сколько раз больше? Для оценки примите, что в одной столовой ложке содержится 20 мл воды, океаны занимают 70 % поверхности Земли, а средняя глубина океанов составляет 3,7 км.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

538. Можно ли беспорядочное движение пылинок в воздухе считать броуновским движением? Обоснуйте свой ответ.

539. Как связаны между собой:

- число молекул N в образце вещества массой m с массой одной молекулы m_0 ;
- число молекул N в образце вещества объёмом V с размером одной молекулы d ? Примите для оценки, что объём молекулы равен объёму куба с ребром d .

540. Чему равна молярная масса: а) серной кислоты (H₂SO₄); б) азота; в) поваренной соли (NaCl)?

Совет. Воспользуйтесь таблицей Менделеева.

541. Как связаны между собой масса молекулы вещества m_0 , молярная масса M и постоянная Авогадро N_A ?

Совет. Воспользуйтесь формулами $\nu = \frac{m}{M}$; $\nu = \frac{N}{N_A}$; $m = m_0 N$.

542. Чему равна масса:

- а) 10 молей азота;
- б) $6 \cdot 10^{24}$ молекул кислорода;
- в) атома кремния?

543. В закрытом сосуде объёмом 10 л содержится аммиак (NH_3), плотность которого равна $0,8 \text{ кг/м}^3$.

- а) Чему равна молярная масса аммиака?
- б) Чему равна масса одной молекулы аммиака?
- в) Чему равна масса аммиака, содержащегося в сосуде?
- г) Какое число молекул аммиака содержится в сосуде?

Повышенный уровень

544. Сколько молей вещества содержится:

- а) в ведре воды объёмом 10 л;
- б) в баллоне, содержащем 8 кг кислорода;
- в) в кристалле поваренной соли кубической формы, если плотность соли равна 2100 кг/м^3 , а длина ребра куба составляет 2 см?

Совет. Найдите массу вещества, воспользуйтесь таблицей Менделеева и выражением для расчёта количества вещества.

545. Сравните число молекул, содержащихся в 28 г азота и 44 г углекислого газа. Сравните число содержащихся в этих газах атомов.

Совет. В одной молекуле азота содержится два атома, в одной молекуле углекислого газа содержится три атома.

546. На столе лежат алюминиевый и медный шары. Сравните количество атомов, содержащихся в шарах, если:

- а) шары имеют равные массы;
- б) шары имеют равные объёмы.

Высокий уровень

547. В наполненном пресной водой бассейне длиной 25 м, шириной 10 м и глубиной 2 м растворили кристаллик соли массой 0,1 г. Сколько ионов натрия окажется в стакане воды объёмом 200 мл, которую зачерпнули из бассейна спустя длительное время?

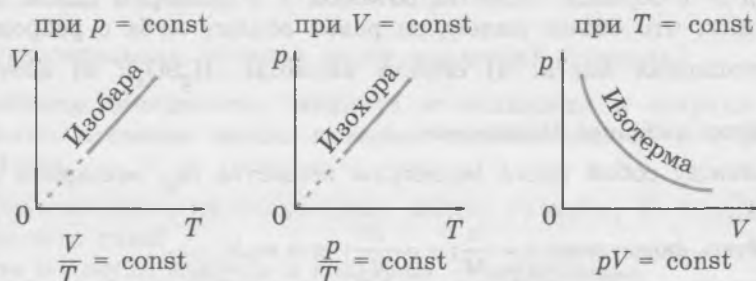
548. Оцените, сквозь какое число слоёв атомов золота пролетает альфа-частица в опыте Резерфорда, «пробивая» золотую фольгу толщиной 0,1 мкм. Помните ли вы, какое открытие сделал Резерфорд в этом опыте?

Совет. Для оценки примите, что каждый атом «занимает» ячейку кубической формы, причём все атомы расположены вплотную друг к другу.

Изопроцессы и другие газовые процессы

Соотношение между значениями температуры по шкале Кельвина и шкале Цельсия $T = t + 273$

Изопроцессы



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Изобарный процесс (при постоянном давлении)

549. Чему равны по шкале Кельвина: а) температура таяния льда; б) температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении?

550. Температура тела увеличилась на $10\text{ }^\circ\text{C}$. Какому изменению температуры по шкале Кельвина это соответствует?

551. Газ находится при $0\text{ }^\circ\text{C}$. Какой станет его абсолютная температура, если увеличить её в 2 раза?

552. Как изменяется объём данной массы газа при увеличении его абсолютной температуры в 3 раза, если давление газа не изменяется?

553. Данная масса газа расширяется изобарно. Начальная и конечная температура газа $27\text{ }^\circ\text{C}$ и $327\text{ }^\circ\text{C}$. Изобразите в тетради графики зависимости $V(T)$, $p(V)$ и $p(T)$ для данного процесса, поставьте два вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Во сколько раз увеличилось значение абсолютной температуры газа? б) Во сколько раз увеличился объём газа? При построении графиков зависимости $p(V)$ и $p(T)$ учтите, что по условию данная масса газа расширяется *изобарно*.

Изохорный процесс (при постоянном объёме)

554. Как изменяется давление данной массы газа при уменьшении абсолютной температуры в 2 раза, если объём газа не изменяется?

555. Начальная и конечная температура данной массы газа в изохорном процессе равны соответственно $327\text{ }^\circ\text{C}$ и $27\text{ }^\circ\text{C}$. Изобразите графики зависимости $p(T)$, $V(T)$ и $p(V)$ для данного процесса, поставьте два вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Во сколько раз уменьшилась абсолютная температура газа? б) Во сколько раз уменьшилось давление газа?

Изотермический процесс (при постоянной температуре)

556. Как изменяется давление данной массы газа при увеличении его объёма в 3 раза, если температура газа не изменяется?

557. При изотермическом расширении объём данной массы газа увеличился в 2 раза. Начальное давление газа равно *нормальному атмосферному давлению* (10^5 Па).

а) Изобразите графики зависимости $p(V)$, $p(T)$ и $V(T)$ для данного процесса.

б) Во сколько раз уменьшилось давление газа?

в) Насколько уменьшилось давление газа?

Газовые процессы, не являющиеся изопроцессами

558. На рисунке 130 изображён график процесса, происходящего с данной массой газа при переходе из состояния 1 в состояние 2.

а) Является ли данный процесс каким-либо изопроцессом?

б) Перенесите рисунок 130 в тетрадь и проведите изобары a и b , проходящие соответственно через состояния 1 и 2.

в) Как изменяется давление газа в изотермическом процессе при переходе из состояния 1 в некоторое состояние, лежащее на изобаре b ?

г) Как изменяется давление газа в изохорном процессе при переходе из состояния 1 в некоторое состояние, лежащее на изобаре b ?

д) Как изменяется давление газа при переходе из состояния 1 в состояние 2?

Совет. а) По графику видно, что ни объём, ни температура газа не остаются постоянными. А чтобы выяснить, остаётся ли постоянным давление газа, определите, лежат ли все точки графика на *одной изобаре*.

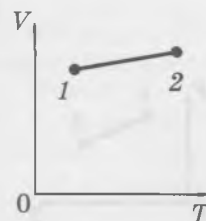


Рис. 130

559. Поставьте три вопроса по графику на рисунке 131 и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Как изменилась температура газа при данном переходе? б) Как изменилось давление газа при данном переходе? в) Как изменился объём газа при данном переходе?

560. Поставьте три вопроса по графику на рисунке 132 и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Как изменился объём газа при данном переходе? б) Как изменилось давление газа при данном переходе? в) Как изменилась температура газа при данном переходе?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

561. Во сколько раз увеличивается давление данной массы газа, когда его объём изотермически изменяют от 12 м^3 до 3 м^3 ? Постройте графики зависимости $V(T)$, $p(V)$ и $p(T)$ для данного процесса.

562. По графику зависимости давления p данной массы газа от объёма V (рис. 133) определите, чему равна температура газа в состояниях 2 и 3, если температура в состоянии 1 равна 50 К .

563. По графику зависимости объёма V данной массы газа от абсолютной температуры T (рис. 134) определите, чему равно давление газа в состояниях 2 и 3, если давление в состоянии 1 равно 10^5 Па .

Повышенный уровень

564. Чему равна начальная температура газа данной массы, если при изобарном нагревании на $15 \text{ }^\circ\text{C}$ его объём увеличился на 4% ?

565. Чему равно начальное давление газа данной массы, если при изохорном нагревании от 27 до $127 \text{ }^\circ\text{C}$ его давление возросло на 40 кПа ?

566. Газ данной массы, находящийся в сосуде под поршнем, сначала изотермически сжимают, а затем изобарно расширяют до первоначального объёма. Начертите в тетради графики зависимости $p(T)$, $V(T)$ и $p(V)$ для указанных процессов.

567. Газ данной массы, находящийся в сосуде под поршнем, сначала изобарно охлаждают, затем изотермически расширяют и наконец изохорно возвращают в состояние с первоначальными макроскопическими параметрами. Начертите в тетради графики зависимости $p(T)$, $V(T)$ и $p(V)$ для указанных процессов.

568. За время, пока пузырёк воздуха всплывает со дна озера на поверхность, его объём увеличивается в 6 раз. Чему равна глубина озера, если давление воздуха равно нормальному атмосферному давлению? Считайте процесс изотермическим.

Совет. Давление на начальной глубине равно сумме гидростатического давления и давления атмосферы.

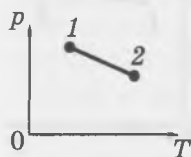


Рис. 131

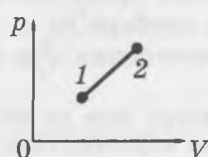


Рис. 132

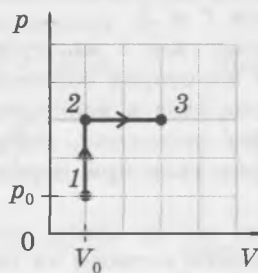


Рис. 133

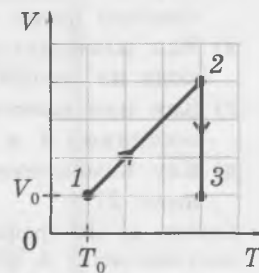


Рис. 134

569. По графику зависимости давления p данной массы газа от абсолютной температуры T (рис. 135) определите, в каком состоянии объём газа минимальный.

Совет. Проведите через каждую из точек 1, 2, 3 и 4 изохору.

570. По графику зависимости объёма V данной массы газа от абсолютной температуры T (рис. 136) определите, в каком состоянии давление газа максимально.

Совет. Проведите через каждую из точек 1, 2, 3 и 4 изобару.

Высокий уровень

571. По графику зависимости давления p данной массы газа от температуры T (рис. 137) определите, какая из указанных точек соответствует наибольшему объёму газа, а какая — наименьшему.

572. По графику зависимости давления p данной массы газа от объёма V (рис. 138) определите, на каких этапах процесса температура газа увеличивалась, а на каких уменьшалась.

Совет. Воспользуйтесь тем, что каждый из четырёх этапов представляет собой изобарный или изохорный процесс, для которого легко определить, как изменялась температура.

573. Чему равна абсолютная температура данной массы газа в состоянии 2 (рис. 139), если температура газа в состоянии 1 равна T_1 , в состоянии 3 она равна T_3 , а состояния 2 и 4 лежат на одной изотерме?

Совет. Докажите, что в процессе 1—2 температура повышается во столько же раз, во сколько раз она понижается в процессе 3—4.

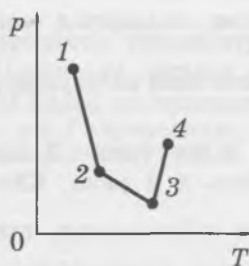


Рис. 135

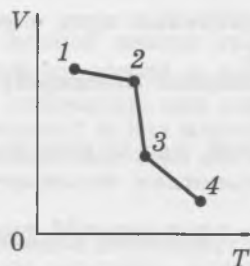


Рис. 136

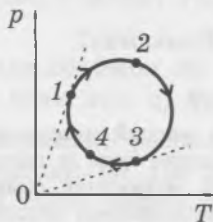


Рис. 137

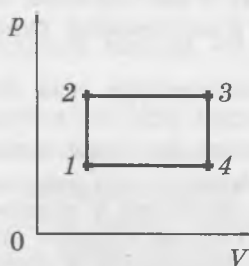


Рис. 138

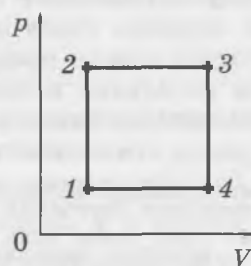


Рис. 139

Уравнение состояния идеального газа

Уравнение Клапейрона

$$\frac{pV}{T} = \text{const}$$

Уравнение состояния идеального газа
(уравнение Менделеева — Клапейрона)

$$pV = \frac{m}{M} RT$$

$$pV = \nu RT$$

Закон Дальтона

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Уравнение Клапейрона

574. Докажите, что уравнения всех трёх изопроцессов являются частными случаями уравнения Клапейрона.

Совет. Рассмотрите уравнение Клапейрона при условии, что один из параметров газа (p , V или T) остаётся постоянным.

575. При переходе данной массы газа из состояния 1 в состояние 2 давление газа увеличилось в 3 раза, а абсолютная температура увеличилась в 2 раза. Как изменился объём газа?

Совет. Воспользуйтесь уравнением Клапейрона.

576. В цилиндрическом сосуде под лёгким поршнем площадью $S = 10 \text{ см}^2$ находится газ при нормальном атмосферном давлении. Цилиндр помещён в смесь воды со льдом. Затем цилиндр перемещают в кипяток, а на поршень начинают давить с силой 100 Н и ждут, когда поршень снова окажется в положении равновесия. Трением между поршнем и стенкой сосуда можно пренебречь.

а) Каковы начальная и конечная температура газа по шкале Кельвина?

б) Как изменилось давление газа?

в) Чему равно отношение конечного объёма газа к начальному?

Совет. б) Согласно условию поршень лёгкий — это означает, что его массой можно пренебречь. Чтобы в конечном состоянии поршень находился в равновесии, давление газа в сосуде должно увеличиться так, чтобы сила давления газа на поршень стала равной возросшей силе внешнего давления. в) Воспользуйтесь уравнением Клапейрона и известными отношениями давления и температуры газа в двух рассматриваемых состояниях.

577. В цилиндрическом сосуде под лёгким поршнем площадью $S = 10 \text{ см}^2$, на котором стоит гиря массой 10 кг, находится некоторая масса газа при $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Газ нагревают до некоторой температуры и с поршня убирают гирю. В результате объём газа увеличивается в 4 раза по сравнению с начальным. Внешнее давление равно нормальному атмосферному давлению. Трением между поршнем и стенкой сосуда можно пренебречь. Поставьте три вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Чему равны начальное давление газа и его начальная температура по шкале Кельвина? б) Чему равно отношение конечной абсолютной температуры газа к начальной? в) Чему равна конечная температура газа по шкале Кельвина и Цельсия?

578. В некотором газовом процессе давление данной массы газа прямо пропорционально объёму газа.

- а) Может ли данный процесс быть каким-либо изопроцессом?
- б) Запишите систему двух уравнений, одно из которых справедливо только для *данного* процесса, а другое представляет собой уравнение Клапейрона.
- в) Используя полученную систему уравнений, напишите соотношение, в которое входят только p и T , и соотношение, в которое входят только V и T .
- г) Как изменяется в данном процессе давление, когда абсолютная температура газа увеличивается в 4 раза?
- д) Как изменяется в данном процессе температура, когда объём газа увеличивается в 2 раза?

Совет. б) Введите обозначения для величин, которые остаются постоянными. в) Чтобы получить соотношение, в которое входят только p и T , умножьте уравнение $\frac{p}{V} = a$ на уравнение $\frac{pV}{T} = c$.

Чтобы получить соотношение, в которое входят только V и T , разделите уравнение $\frac{p}{V} = a$ на уравнение $\frac{pV}{T} = c$. г) Воспользуйтесь соотношением $\frac{p^2}{T} = b$.

579. В некотором процессе давление данной массы газа обратно пропорционально абсолютной температуре. Как изменяется давление газа, когда его объём увеличивается в 4 раза?

Совет. Введите обозначение для постоянной величины — произведения давления на абсолютную температуру.

580. В некотором процессе температура и объём данной массы газа связаны соотношением $TV^2 = \text{const}$. Поставьте четыре вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Какое соотношение между p и V справедливо для данного процесса? б) Какое соотношение между p и T справедливо для данного процесса? в) Как изменится давление газа, если его объём увеличится в 2 раза? г) Как изменится давление газа, если его абсолютную температуру уменьшить в 2 раза?

Уравнение состояния идеального газа (уравнение Менделеева — Клапейрона)

Напомним, что *нормальными условиями* называют давление, равное нормальному атмосферному давлению (10^5 Па), и температуру, равную 0°C .

Воздух представляет собой смесь газов (в основном азота и кислорода). В расчётах воздух обычно считают газом с молярной массой $29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

581. В сосуде объёмом 20 л содержится газ при нормальных условиях. Чему равна масса этого газа, если это: а) водород; б) кислород; в) углекислый газ?

582. Горизонтально расположенный цилиндрический сосуд разделён подвижным металлическим поршнем на две части. В одной части находится водород, а в другой — кислород. Массы газов равны. Какую часть всего объёма сосуда занимает водород, а какую — кислород?

Совет. По условию поршень *подвижный* — следовательно, *давления газов равны*. Кроме того, поршень *металлический*, а металлы обладают хорошей теплопроводностью. Значит, *температуры газов тоже равны*. Запишите уравнение Менделеева — Клапейрона для водорода и кислорода и учтите, какие параметры газов одинаковы.

583. Докажите, что плотность газа ρ можно найти по формуле

$$\rho = \frac{pM}{RT}.$$

Совет. Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона и определением плотности $\rho = \frac{m}{V}$.

584. Найдите плотность воздуха при нормальных условиях (для большей точности найдите значение нормального атмосферного давления в Интернете). Во сколько раз она меньше плотности воды?

Концентрацией молекул газа n называют отношение числа молекул в данном образце газа к его объёму:

$$n = \frac{N}{V}.$$

585. Докажите справедливость формулы

$$p = nkT.$$

Совет. Воспользуйтесь уравнением $\frac{pV}{T} = kN$ и определением концентрации молекул.

586. Сколько молекул содержится в 1 мм^3 воздуха при нормальных условиях? Сравните это число с числом звёзд в нашей Галактике (по современным представлениям, в ней около 300 миллиардов звёзд).

Совет. Воспользуйтесь формулой $p = nkT$.

587. В погружённом в кипяток сосуде объёмом 0,5 л содержится 0,9 г газа при давлении, в 2 раза большем нормального атмосферного. Поставьте два вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Чему равна молярная масса газа? б) Какой это может быть газ?

588. В цилиндре под поршнем находился озон (трёхатомный кислород O_3) при температуре 727°C под постоянным давлением. Когда температуру понизили до 127°C , весь озон превратился в кислород O_2 . Поставьте два вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Как изменилось количество вещества в газе? б) Как изменился объём газа?

589. В вертикальном цилиндрическом сосуде под не очень плотно пригнанным подвижным поршнем находится газ. Сосуд погружён в кипяток. Когда сосуд перенесли в ванну, содержащую воду со льдом, объём газа уменьшился в 2 раза. Трением между поршнем и стенкой сосуда можно пренебречь.

а) Какой была начальная и конечная температура газа по шкале Кельвина?

б) Изменилось ли давление газа?

в) Во сколько раз изменился бы объём газа, если бы не было утечки?

г) Какая доля начальной массы газа осталась в сосуде?

Закон Дальтона

Давление смеси газов равно сумме их парциальных давлений:

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$$

590. В сосуде объёмом 2 л при нормальных условиях содержится смесь газов, состоящая из 4 г кислорода и 4 г гелия. Поставьте три вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

Совет. Например: а) Чему равно парциальное давление кислорода? б) Чему равно парциальное давление гелия? в) Чему равно давление смеси газов?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

591. Какой объём займёт данная масса газа при давлении $1,5 \cdot 10^5$ Па и температуре -73°C , если при нормальных условиях эта масса газа занимала объём 300 см^3 ?

592. В сосуде под поршнем содержится данная масса воздуха при температуре 300 К . Объём воздуха уменьшают в 16 раз, при этом его давление увеличивается в 20 раз. Чему равна конечная температура воздуха?

593. В баллоне объёмом 50 л содержится 0,29 кг воздуха при температуре 27°C . Чему равно давление воздуха в баллоне?

594. Азот массой 2,8 г находится в закрытом сосуде объёмом 500 см^3 при давлении 400 кПа. Чему равна температура газа?

595. В закрытом сосуде объёмом 100 см^3 содержится газ при давлении 1 МПа и температуре 27°C . Чему равно количество вещества в газе?

596. Во сколько раз при нормальных условиях плотность гелия меньше плотности кислорода?

Совет. Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона и учтите, что $m = \rho V$. Учтите, что молекула кислорода состоит из двух атомов.

597. Чему равно давление аргона, помещённого в сосуд при температуре 25°C , если концентрация молекул газа равна $2 \cdot 10^{25}\text{ м}^{-3}$?

598. В сосуде объёмом 5 л при температуре 0°C содержится смесь газов, состоящая из 16 г кислорода и 8 г гелия. Чему равно давление смеси газов?

Совет. Воспользуйтесь законом Дальтона.

Повышенный уровень

599. В открытом стеклянном сосуде нагрели воздух до 100°C , затем сосуд герметично закрыли и понизили температуру воздуха в нём до 20°C . На сколько процентов изменилось в результате давление воздуха в сосуде?

600. По графику зависимости давления данной массы газа от объёма (рис. 140) определите, чему равна температура газа в состоянии 2, если в состоянии 1 она равна T_1 .

601. Половину массы азота, находящегося в сосуде при температуре 400 К и давлении 400 кПа, выпустили из сосуда, а затем температуру оставшегося газа понизили до 300 К. Каким стало давление оставшегося в сосуде азота?

Совет. Запишите уравнение Менделеева — Клапейрона для обоих случаев. Разделите одно уравнение на другое.

602. В сосуде объёмом 2 см^3 содержится 10^{20} молекул газа при температуре 27°C . Чему равно давление газа в сосуде?

603. Газ, находящийся в вертикальном цилиндрическом сосуде под неплотно подогнанным подвижным поршнем при температуре 46°C , охлаждают до -7°C . При этом объём газа уменьшается в 3 раза по сравнению с начальным. Какая доля начальной массы газа вытекла из сосуда? Давление газа остаётся постоянным.

Высокий уровень

604. Вертикальный закрытый цилиндрический сосуд высотой 0,8 м разделён на две части лёгким скользящим без трения поршнем. В верхней части сосуда находится гелий, а в нижней — азот. На какой высоте находится поршень, если массы газов одинаковы?

Совет. Оговорка в условии о том, что поршень лёгкий, означает, что его массой можно пренебречь.

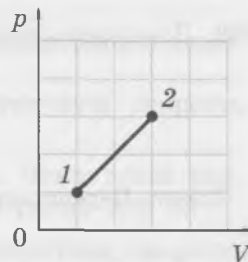


Рис. 140

605. Оцените, чему равно среднее расстояние между молекулами газа, находящегося при температуре 123 °С и давлении 100 кПа.

Совет. Среднее расстояние между центрами молекул равно корню кубическому из объёма, приходящегося на одну молекулу.

606. В вертикальном цилиндре под лёгким поршнем, находящимся на высоте 0,6 м от дна цилиндра, содержится воздух при температуре 7 °С. Площадь поршня 100 см², давление над поршнем равно 150 кПа. На сколько сантиметров и в каком направлении сместится поршень по сравнению с первоначальным положением, если воздух в цилиндре нагреть до 47 °С, а давление над поршнем увеличить на 100 кПа? Примите, что трением можно пренебречь.

Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул

Связь между абсолютной температурой
и средней кинетической энергией
поступательного движения молекул

$$\bar{E} = \frac{3}{2}kT$$

Среднеквадратичная скорость молекул

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Основное уравнение
молекулярно-кинетической теории идеального газа

$$p = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2 \quad p = \frac{2}{3}n\bar{E}$$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

607. В сосуде объёмом 20 л содержится 1 моль неона при нормальном атмосферном давлении.

- Сколько молекул газа в сосуде?
- Чему равна концентрация молекул?
- Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул?
- Есть ли в условии лишние данные?

608. В сосуде содержится смесь аргона и неона. Чему равна средняя кинетическая энергия молекул¹⁾ этих газов при нормальных условиях? Есть ли в условии задания лишние данные?

Среднеквадратичной скоростью молекул \bar{v} называют корень квадратный из среднего квадрата скорости молекул:

$$\bar{v} = \sqrt{\overline{v^2}}.$$

609. Докажите, что

$$\overline{v^2} = \frac{3kT}{m_0}.$$

Совет. Перепишите формулу $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$ в виде $\frac{m_0\overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2}kT$.

¹⁾ Это одноатомные молекулы, поэтому их кинетическая энергия — это кинетическая энергия только поступательного движения.

610. Докажите, что

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}.$$

Совет. Воспользуйтесь соотношениями $k = \frac{R}{N_A}$ и $m_0 N_A = M$.

Обратите внимание: чем меньше молярная масса данного газа, тем больше среднеквадратичная скорость молекул этого газа при той же температуре.

611. Чему равны среднеквадратичные скорости молекул водорода, кислорода и радона при 20 °С? Ответы округлите до двух значащих цифр.

612. Выразите среднеквадратичную скорость молекул через давление газа и его плотность.

Совет. Воспользуйтесь формулами: $p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2$; $m_0 = \frac{m}{N}$; $n = \frac{N}{V}$; $\rho = \frac{m}{V}$.

613. В сосуде находится 30 г криптона при нормальных условиях. Объем сосуда 5 л. Чему равна среднеквадратичная скорость молекул газа? Есть ли в условии лишние данные?

Совет. Воспользуйтесь формулой $\bar{v} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}$.

614. Как изменилось бы давление газа на стенку сосуда, если бы она стала *поглощать* все налетающие на неё молекулы?

Совет. Найдите, чему была бы равна в этом случае передача импульса одной молекулой.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

615. Как изменится давление газа, если

- концентрацию молекул газа увеличить в 4 раза при неизменной среднеквадратичной скорости молекул;
- среднеквадратичную скорость молекул газа увеличить в 4 раза при неизменной концентрации молекул;
- среднюю кинетическую энергию молекул увеличить в 3 раза при неизменной концентрации молекул;
- среднюю кинетическую энергию молекул увеличить в 4 раза, а концентрацию молекул уменьшить в 2 раза;
- концентрацию молекул газа увеличить в 2 раза, а среднеквадратичную скорость уменьшить в 4 раза?

616. Средняя кинетическая энергия молекул газа увеличилась в 2 раза. Чему стала равной абсолютная температура газа, если его начальная температура была равна 200 К?

617. Чему равно давление газа плотностью 1,2 кг/м³, если среднеквадратичная скорость его молекул равна 600 м/с?

618. Чему равна среднеквадратичная скорость молекул газа массой 2 кг, находящегося в сосуде объёмом 3 м³, если давление в сосуде равно 200 кПа?

619. Как изменятся кинетическая энергия поступательного движения молекул и среднеквадратичная скорость их движения, если газ нагреть от 27 °С до 627 °С?

Повышенный уровень

620. Сколько молекул газа содержится в сосуде объёмом 2 л при нормальном атмосферном давлении, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул равна $1,5 \cdot 10^{-19}$ Дж?

Совет. Воспользуйтесь формулой, связывающей давление газа с его концентрацией и средней кинетической энергией поступательного движения молекул.

621. Чему равна концентрация молекул кислорода при давлении $2 \cdot 10^5$ Па, если среднеквадратичная скорость их поступательного движения равна 700 м/с?

622. В сосуде, разделённом на две части теплонепроницаемой перегородкой, находятся: в одной части — гелий при температуре 300 К, а во второй части — неон при температуре 600 К.

- Чему равно отношение средних кинетических энергий атомов неона и гелия?
- Чему равно отношение среднеквадратичных скоростей атомов неона и гелия?

623. В открытом сосуде находится воздух. Как изменятся при увеличении его абсолютной температуры на 25 %:

- давление газа;
- концентрация молекул газа;
- средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа;
- среднеквадратичная скорость движения молекул?

Совет. Учтите, что давление газа в открытом сосуде не изменяется.

Высокий уровень

624. В баллоне с очень малым отверстием поддерживается температура воздуха T_1 . Температура окружающего воздуха равна T_2 , а его давление равно p_2 . Чему равно давление p_1 воздуха в баллоне?

Совет. При установившемся давлении воздуха в баллоне число молекул воздуха, вылетающих за некоторое время через малое отверстие из баллона, равно числу молекул, влетающих через это же отверстие из окружающего воздуха в баллон.

625. Чему равна начальная температура газа, если при его нагревании на 150 К среднеквадратичная скорость движения молекул увеличилась с 500 м/с до 600 м/с?

626. В баллоне находится смесь двух инертных газов общей массой 6 г. Среднеквадратичная скорость молекул первого газа в 3,16 раза больше среднеквадратичной скорости молекул второго газа, а суммарная кинетическая энергия молекул первого газа в 2 раза больше суммарной кинетической энергии второго газа.

- Какие газы находятся в баллоне?
- Чему равна масса каждого газа?

Совет. а) Воспользуйтесь формулой для среднеквадратичной скорости молекул газа. б) Учтите, что средние кинетические энергии молекул разных газов при одной и той же температуре одинаковы.

Насыщенный пар. Влажность

Насыщенный пар

Находится в динамическом равновесии с жидкостью.

Давление насыщенного пара зависит только от температуры.

При температуре кипения давление насыщенного пара равно внешнему давлению: $p_{\text{н}} = p_{\text{внеш}}$



Относительная влажность

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{н}}} 100 \%$$

Точка росы — температура, при которой водяной пар становится насыщенным

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

В таблице приведены значения давления насыщенного водяного пара при некоторых значениях температуры. Эта таблица понадобится для решения следующих задач.

$t, ^\circ\text{C}$	0	20	40	60	80	100	120
$p_{\text{н}}, \text{кПа}$	0,61	2,34	7,4	20	47	100	200

627. Пустой герметически закрытый сосуд объёмом 20 л заполнили насыщенным водяным паром при температуре 100°C .

а) Чему равно давление пара?

б) Чему равна масса пара?

Совет. а) Воспользуйтесь приведённой в тексте таблицей значений давления насыщенного пара при различных температурах. б) Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона (не забудьте выразить температуру по шкале Кельвина). Молярная масса водяного пара равна молярной массе воды.

628. Используя таблицу зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры, найдите температуру кипения воды: а) при давлении, равном одной пятой нормального атмосферного давления; б) при давлении, в 2 раза большем нормального атмосферного давления.

Совет. Кипение жидкости происходит при температуре, при которой давление насыщенного пара этой жидкости равно внешнему давлению.

629. Чему равна относительная влажность воздуха, если лужи после дождя не высыхают?

630. Чему равна относительная влажность воздуха в помещении, если сухой термометр показывает 20°C , а влажный показывает 16°C ?

Совет. Воспользуйтесь психрометрической таблицей в справочных данных.

631. О чём «говорит» столбец психрометрической таблицы, в котором все числа одинаковы?

632. Почему роса выпадает часто в предутренние часы?

Приведённая ниже таблица понадобится для решения следующей задачи.

$t, ^\circ\text{C}$	8	9	10	11	12	13	14	15	20
$p_{\text{н}}, \text{кПа}$	1,07	1,15	1,23	1,31	1,40	1,50	1,60	1,70	2,34

633. Когда Саша зашёл в дом, его очки запотели. Посмотрев на термометр и психрометр, Саша установил: температура равна 20°C , относительная влажность 60% . Примите, что сразу после входа в дом температура стёкол очков равна наружной температуре.

- Почему стёкла очков дома запотели?
- Чему равно парциальное давление водяного пара в комнате?
- При какой температуре содержащийся в воздухе комнаты водяной пар стал бы насыщенным?
- Какова температура воздуха на улице?

Совет. б) Воспользуйтесь данными из условия об относительной влажности воздуха в комнате и таблицей зависимости давления насыщенного пара от температуры. в) Воспользуйтесь таблицей зависимости давления насыщенного пара от температуры. г) Учтите, что в воздухе, прилегающем к стёклам очков, началась конденсация водяного пара. Температуру прилегающего к стёклам воздуха можно приближённо считать равной температуре стёкол.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ¹⁾

Базовый уровень

634. В одной части сосуда, разделённого перегородкой, находится насыщенный водяной пар, а во второй части — ненасыщенный при той же температуре. Если убрать перегородку, то каким станет пар в сосуде — насыщенным или ненасыщенным?

635. При температуре 7°C насыщенный водяной пар оказывает давление 1 кПа . Чему равна плотность этого пара?

Совет. Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона.

636. Используя таблицу зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры, найдите температуру кипения воды при внешнем давлении $47,3 \text{ кПа}$.

637. Чему равна относительная влажность воздуха, если:

- сухой термометр психрометра показывает 25°C , а разность показаний сухого и влажного термометров составляет 2°C ;
- влажный термометр психрометра показывает 26°C , а разность показаний сухого и влажного термометров составляет 4°C ;
- сухой термометр психрометра показывает 20°C , а показания влажного термометра равны 17°C ?

Совет. Воспользуйтесь психрометрической таблицей.

638. Парциальное давление водяного пара при температуре 20°C равно $1,5 \text{ кПа}$. Чему равна относительная влажность воздуха?

Совет. Воспользуйтесь таблицей зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры.

639. Чему равно парциальное давление водяного пара, если при температуре 30°C относительная влажность воздуха составляет 40% ?

Совет. Воспользуйтесь таблицей зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры.

¹⁾ При решении задач этого раздела считайте, что при неизменной массе водяной пар удовлетворяет уравнению Менделеева — Клапейрона, а объёмом воды, образовавшейся в результате конденсации пара, можно пренебречь по сравнению с объёмом сосуда.

640. Когда температура воздуха была равна $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха составляла 80% . Чему будет равна относительная влажность воздуха, если его нагреть на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Совет. Используя таблицу зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры, найдите давление насыщенного водяного пара при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

641. Является ли водяной пар, находящийся при температуре $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, насыщенным, если его парциальное давление равно $1,23\text{ кПа}$? Какова точка росы для этого пара?

Совет. Воспользуйтесь таблицей зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры.

642. После того как в пустой стакан, стоящий на столе в комнате, температура воздуха в которой равна $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, налили холодную воду, стенки стакана запотели. Чему может быть равна температура воды, налитой в стакан, если относительная влажность воздуха в комнате составляет 53% ? Примите, что изменением температуры воды за рассматриваемый промежуток времени можно пренебречь.

Совет. Определите, при какой температуре водяной пар становится насыщенным.

Повышенный уровень

643. В запаянном сосуде, объём которого равен $1,1\text{ л}$, содержится 100 г кипятка и водяной пар при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чему равна масса водяного пара?

Совет. Давление водяного пара при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно нормальному атмосферному давлению. Найдите объём, занимаемый водяным паром, и воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона.

644. В сосуде объёмом 3 м^3 содержится насыщенный водяной пар при температуре $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чему равно число молекул водяного пара в этом сосуде?

Совет. Воспользуйтесь таблицей зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры и формулой $p = nkT$.

645. В герметично закрытом сосуде объёмом 10 л содержится насыщенный водяной пар при температуре $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Содержимое сосуда охлаждают на $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- Чему равно начальное давление пара?
- Чему равна начальная масса насыщенного водяного пара?
- Чему равно конечное давление пара в сосуде?
- Чему равна конечная масса водяного пара?
- Чему равна масса воды в сосуде в конечном состоянии?

646. Как изменятся давление насыщенного водяного пара в сосуде, его плотность и концентрация молекул, если объём сосуда уменьшить с 13 до 3 л при неизменной температуре, равной $60\text{ }^{\circ}\text{C}$? Какая масса водяного пара сконденсируется при этом?

Совет. Давление насыщенного пара зависит только от его температуры.

647. Чему равна масса водяного пара, содержащегося в воздухе в комнате объёмом 60 м^3 при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, если относительная влажность воздуха равна 60% ?

Совет. Воспользуйтесь таблицей зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры и уравнением Менделеева — Клапейрона.

648. В закрытом сосуде объёмом 5 л находится воздух при температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 80% . Какая масса воды образуется в сосуде, если его охладить до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Совет. Учтите, что водяной пар в сосуде стал насыщенным.

Высокий уровень

649. В закрытом сосуде объёмом $0,01\text{ м}^3$ находится сухой воздух при температуре $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении 100 кПа . Каким станет давление в сосуде, если в него налить 10 г воды, а сосуд нагреть до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Совет. Используя уравнение Менделеева — Клапейрона, выясните, вся ли вода испарится. Учтите, что сосуд закрытый, значит, процесс можно считать изохорным. Давление влажного воздуха равно сумме парциальных давлений сухого воздуха и водяного пара.

650. В цилиндрическом сосуде под поршнем содержится воздух при температуре 10°C и относительной влажности 60% .

- Какой станет влажность воздуха, если воздух в сосуде нагреть до 100°C , а его объём уменьшить в 4 раза?
- Как изменится ответ, если начальная температура воздуха была равна 80°C ?

Совет. Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона и таблицей зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры.

651. В сосуде под поршнем содержится водяной пар. Поршень медленно вдвигают в сосуд, при этом температура содержимого сосуда остаётся постоянной. По графику зависимости давления пара от его объёма (рис. 141) определите:

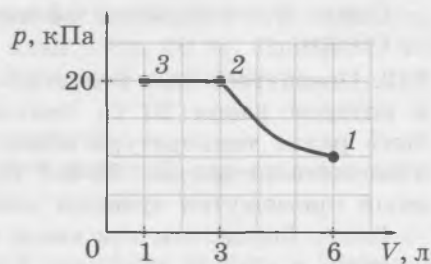


Рис. 141

- температуру пара;
- массу пара в начальном состоянии;
- массу воды в конечном состоянии.

Совет. Конденсация пара начнётся тогда, когда давление пара в сосуде станет равным давлению насыщенного пара. Воспользуйтесь таблицей зависимости давления насыщенного водяного пара от температуры и уравнением Менделеева — Клапейрона.

652. В помещении надо подать 10^4 м^3 воздуха при температуре 20°C и относительной влажности 50% . Осушать или увлажнять придётся наружный воздух, находящийся при температуре 10°C и относительной влажности 60% ? Какой объём воды для этого потребуются испарить или сконденсировать?

Совет. Определите массу водяного пара, содержащегося в воздухе помещения, а также массу водяного пара в забираемом снаружи таком же объёме воздуха.

Механические свойства твёрдых тел

$$F = ES \frac{\Delta l}{l} \quad \sigma = \frac{F}{S} \quad \sigma = E\varepsilon \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

E — модуль Юнга

σ — механическое напряжение

ε — относительное удлинение

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

653. Алюминиевый стержень длиной 50 см и площадью поперечного сечения 5 мм^2 растягивают силой 350 Н . Модуль Юнга для алюминия 70 ГПа .

- Чему равно механическое напряжение стержня σ ?
- Чему равно относительное удлинение стержня ε ?
- Чему равно удлинение стержня Δl ?

Совет. б) Воспользуйтесь формулой $\sigma = E\varepsilon$.

654. Стальная вертикальная опора в виде цилиндрической колонны высотой 2 м должна выдерживать нагрузку 10^6 Н , причём сжатие опоры не должно превышать 2 мм . Каков минимально допустимый диаметр d колонны? Модуль Юнга для стали примите равным 200 ГПа .

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

655. Чему равен диаметр стального стержня, если при растягивающей или сжимающей силе 25 кН механическое напряжение в нём составляет $6 \cdot 10^7$ Па?

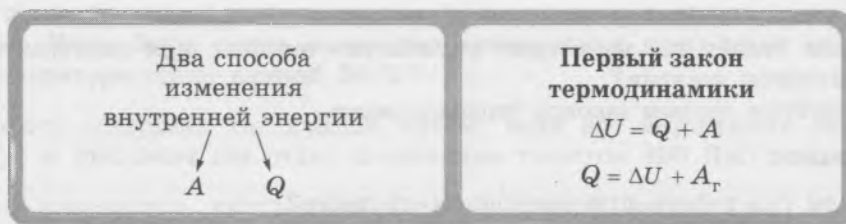
Совет. Воспользуйтесь формулой для расчёта механического напряжения и учтите, что сечение стержня имеет форму круга.

656. Стальную проволоку длиной 3,6 м и площадью поперечного сечения 10^{-6} м² растягивают, прикладывая некоторую силу \vec{F} . Чему равен модуль этой силы, если проволока удлинилась на 2 мм, а модуль Юнга для стали равен 200 ГПа?

657. К медной проволоке подвешен груз массой 5 кг. Чему равны механическое напряжение в проволоке и её относительное удлинение, если площадь её поперечного сечения равна 0,5 мм², а модуль Юнга для меди 120 ГПа?

ТЕРМОДИНАМИКА

Первый закон термодинамики



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Какими формулами выражается количество теплоты?

658. При изучении тепловых явлений в курсе физики основной школы вы встречались с формулами:

$$Q = cm(t_k - t_n),$$

$$Q = qm.$$

Что обозначает каждая буква в приведённых формулах?

659. Какое количество теплоты надо передать двум литрам воды, чтобы нагреть воду от 0 °С до температуры кипения? Оцените, на какой этаж можно было бы поднять всех учеников вашего класса, совершив работу, равную этому количеству теплоты. Удельная теплоёмкость воды $4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$.

660. Какое количество теплоты выделяется при сгорании 1 кг бензина? Оцените, на какую высоту можно было бы поднять легковой автомобиль, совершив работу, равную этому количеству теплоты. Удельная теплота сгорания бензина $44 \cdot 10^6$ Дж/кг.

661. Как изменяется температура газа при адиабатном сжатии и при адиабатном расширении?

Совет. Адиабатный процесс происходит без теплообмена с окружающей средой. Воспользуйтесь первым законом термодинамики и учтите, что абсолютная температура газа пропорциональна его внутренней энергии.

662. Попробуйте объяснить образование облаков.

663. При адиабатном расширении данной массы газа газ совершил работу, равную 200 Дж. Чему равно изменение внутренней энергии газа?

Совет. Воспользуйтесь первым началом термодинамики и тем, что в адиабатном процессе $Q = 0$.

664. На рисунке 142 приведены графики зависимости $p(V)$ для данной массы газа при изотермическом и адиабатном расширении. Какой график описывает адиабатное расширение?

Совет. При адиабатном расширении температура газа уменьшается, поэтому при одном и том же объёме давление газа будет меньше, чем в изотермическом процессе.

Следствия первого закона термодинамики для изопроцессов и для адиабатного процесса

Изотермический процесс

665. Изменяется ли внутренняя энергия данной массы газа в изотермическом процессе?

Совет. Внутренняя энергия данной массы газа зависит только от температуры.

666. Запишите первый закон термодинамики для изотермического процесса.

667. Какой знак имеет работа газа при изотермическом расширении? при изотермическом сжатии?

668. Получает или отдаёт газ некоторое количество теплоты при изотермическом расширении? изотермическом сжатии?

Совет. Воспользуйтесь первым законом термодинамики.

Изохорный процесс

669. Совершает ли газ работу при изохорном процессе?

670. Запишите первый закон термодинамики для изохорного процесса.

671. Как изменяется внутренняя энергия данной массы газа при изохорном нагревании? при изохорном охлаждении?

672. Получает или отдаёт газ некоторое количество теплоты при изохорном нагревании? при изохорном охлаждении?

Изобарный процесс

673. Как изменяется внутренняя энергия данной массы газа при изобарном нагревании? при изобарном охлаждении?

Совет. Внутренняя энергия данной массы газа зависит только от температуры.

674. Какой знак имеет работа газа при изобарном нагревании? при изобарном охлаждении?

Совет. При изобарном нагревании газ расширяется, а при изобарном охлаждении — сжимается.

675. Получает или отдаёт газ некоторое количество теплоты при изобарном нагревании? при изобарном охлаждении?

Совет. Воспользуйтесь первым законом термодинамики.

Адиабатный процесс

676. Получает или отдаёт газ некоторое количество теплоты в адиабатном процессе?

Совет. Воспользуйтесь определением адиабатного процесса.

677. Запишите первый закон термодинамики для адиабатного процесса.

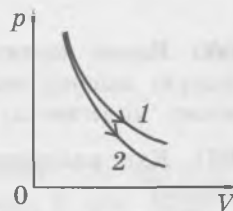


Рис. 142

678. Какой знак имеет работа газа при адиабатном расширении? при адиабатном сжатии?

679. Как изменяется внутренняя энергия данной массы газа при адиабатном расширении? при адиабатном сжатии?

Совет. Воспользуйтесь тем, что при адиабатном процессе $\Delta U + A_T = 0$.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ¹⁾

Базовый уровень

680. По графику зависимости температуры двух тел массой по 100 г от переданного им количества теплоты (рис. 143) определите, чему равна удельная теплоёмкость вещества, из которого изготовлено каждое тело.

Совет. Воспользуйтесь формулой $Q = cm(t_k - t_n)$.

681. Чему равна температура смеси 37 л воды, взятой при температуре 20 °С, и 20 л воды, взятой при температуре 60 °С?

Совет. Учтите, что горячая вода отдаёт такое же количество теплоты, какое холодная вода получает.

682. Медный цилиндр вынули из кипятка и погрузили в воду, масса которой равна массе цилиндра. Чему была равна начальная температура воды, если при тепловом равновесии её температура стала равной 30 °С?

683. Какую работу совершил газ данной массы, если его внутренняя энергия уменьшилась на 300 Дж и при этом газ отдал количество теплоты 300 Дж?

684. Насколько изменилась внутренняя энергия данной массы газа, если газ получил 300 Дж количества теплоты и совершил при этом работу 200 Дж?

685. Какую работу совершила данная масса газа при адиабатном расширении, если внутренняя энергия газа при этом уменьшилась с 300 до 150 Дж?

686. Какую работу совершил газ данной массы, если его внутренняя энергия увеличилась от 100 до 500 Дж и при этом газу передали количество теплоты 2 кДж?

Повышенный уровень

687. Данная масса газа в некотором изопроцессе совершила работу 300 Дж. При этом количество теплоты, полученное газом, оказалось тоже равным 300 Дж. Каким был данный газовый процесс?

Совет. Определите, изменилась ли внутренняя энергия газа.

688. Количество теплоты, отданное данной массой газа в некотором изопроцессе, равно 500 Дж. При этом внутренняя энергия газа уменьшилась тоже на 500 Дж. Каким изопроцессом был данный газовый процесс?

Совет. Определите, чему равна работа газа.

689. После того, как в некотором процессе газ данной массы получил количество теплоты, равное 6 кДж, внутренняя энергия газа стала равной 7 кДж. Начальная внутренняя энергия газа равна 1 кДж. Каким был данный процесс?

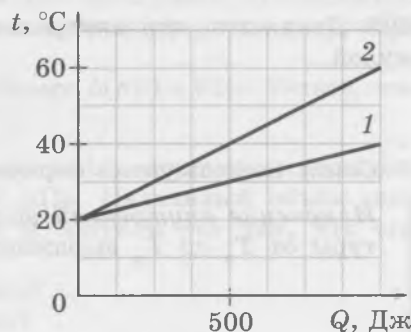


Рис. 143

¹⁾ В задачах этого раздела предполагается, что теплообменом с окружающей средой можно пренебречь (если иное не оговорено в условии).

Высокий уровень

690. Какое количество теплоты получила данная масса газа, если работа, совершённая газом, равна 200 Дж, а полученное газом количество теплоты в 3 раза больше изменения его внутренней энергии? Чему равно изменение внутренней энергии газа?

691. Чтобы определить удельную теплоёмкость вещества, тело из этого вещества массой 0,4 кг, нагретое до температуры 100 °С, опустили в железный стакан калориметра массой 0,1 кг, содержащий 200 мл воды при температуре 30 °С. Чему равна удельная теплоёмкость вещества, если после установления теплового равновесия температура оказалась равной 40 °С?

692. По трубе внутренним диаметром 15 мм течёт вода. Чему равна скорость течения воды в трубе, если ей каждую секунду сообщают 50 кДж количества теплоты и при этом вода нагревается на 25 °С?

Совет. Найдите объём воды, проходящей через поперечное сечение трубы за 1 с.

Применение первого закона термодинамики к газовым процессам

<p>Внутренняя энергия одноатомного идеального газа</p> $U = \frac{3}{2} \nu RT \quad U = \frac{3}{2} pV$	<p>Изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа</p> $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \quad \Delta U = \frac{3}{2} \Delta(pV)$	
<p>Работа газа</p> 	<p>Полезная работа газа</p> 	<p>Адиабатный процесс</p> $Q = 0$ $\Delta U = -A_r$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Изменение внутренней энергии газа

693. Докажите, что внутренняя энергия одноатомного идеального газа выражается формулой

$$U = \frac{3}{2} \nu RT.$$

Совет. Воспользуйтесь формулами $N = \nu N_A$, $kN_A = R$.

Изменение внутренней энергии одноатомного идеального газа при изменении температуры от T_H до T_K выражается формулой

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T,$$

где $\Delta T = T_K - T_H$.

694. Два моля гелия нагрели от 300 до 500 °С. Как изменилась внутренняя энергия газа?

Совет. Гелий — одноатомный газ.

695. В баллоне, погружённом в воду с тающим льдом, содержится неон. После того как баллон погрузили в кипяток, внутренняя энергия газа увеличилась на 500 Дж.

а) Чему равно количество вещества в газе?

б) Чему равна масса неона?

Совет. а) Воспользуйтесь формулой для изменения внутренней энергии одноатомного газа.

Внутренняя энергия газа зависит только от его температуры и количества вещества. Однако при решении многих задач требуется найти изменение внутренней энергии при некотором изменении давления и объёма газа.

696. Докажите, что внутреннюю энергию одноатомного идеального газа можно найти по формуле

$$U = \frac{3}{2}pV.$$

Совет. Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона.

Изменение внутренней энергии одноатомного газа можно выразить формулой

$$\Delta U = \frac{3}{2}\Delta(pV).$$

Обратите внимание: $\Delta(pV)$ — это изменение *произведения* давления на объём. Обозначим давление и объём газа в состоянии 1 соответственно p_1 и V_1 , а в состоянии 2 — p_2 и V_2 . Тогда при переходе газа из состояния 1 в состояние 2 изменение произведения давления на объём можно найти по формуле

$$\Delta(pV) = p_2V_2 - p_1V_1.$$

Следовательно, *изменение* внутренней энергии одноатомного газа выражается формулой

$$\Delta U = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1).$$

697. Запишите выражение для изменения внутренней энергии данной массы одноатомного идеального газа при изобарном расширении, если начальное давление газа равно p_0 , а объём газа увеличился от V_0 до $3V_0$.

Совет. При изобарном процессе давление газа не изменяется, поэтому в данном случае

$$\Delta(pV) = p_0\Delta V = p_0(3V_0 - V_0) = 2p_0V_0.$$

698. Чему равно изменение внутренней энергии 2 л аргона при изохорном охлаждении, если начальное давление газа было в 3 раза больше нормального атмосферного давления, а конечное — равно нормальному атмосферному давлению?

Совет. При изохорном процессе объём газа не изменяется, поэтому $\Delta(pV) = V\Delta p$. Учтите, что аргон — одноатомный газ.

699. В вертикальном цилиндрическом сосуде под лёгким подвижным поршнем площадью 5 см^2 находится криптон. Давление над поршнем равно 200 кПа. Начальный объём газа равен 5 л. Давление над поршнем увеличили на 200 кПа и нагрели газ так, что его объём стал равным 10 л.

а) Чему равно начальное значение внутренней энергии газа?

б) Чему равно конечное значение внутренней энергии газа?

в) Чему равно изменение внутренней энергии газа при переходе из начального состояния в конечное?

Совет. а) Давление газа равно сумме внешнего давления и давления, оказываемого поршнем.

в) Криптон — одноатомный газ. Воспользуйтесь формулой $\Delta U = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1)$.

Работа газа

700. Докажите, что при изобарном расширении работа газа выражается формулой

$$A_r = p \cdot \Delta V.$$

Совет. Обозначьте площадь поршня S , а его смещение Δx . Тогда сила давления газа $F = pS$, работа газа $A_r = F \cdot \Delta x$, а изменение объёма газа $\Delta V = S \cdot \Delta x$.

701. Докажите, что в изобарном процессе работа газа численно равна площади фигуры под графиком зависимости давления от объёма (рис. 144).

Это свойство графика зависимости $p(V)$ сохраняется и тогда, когда давление газа *изменяется* (рис. 145).

Для нахождения работы газа удобнее всего использовать график зависимости давления газа от объёма, то есть $p(V)$. Поэтому если в условии задачи спрашивается о работе газа и приведён график газового процесса в координатах (p, T) или (V, T) , то первым делом надо изобразить график этого же процесса в координатах (p, V) .

702. На рисунке 146 изображён график зависимости объёма от температуры для ν молей одноатомного газа. Начальная и конечная температуры газа равны соответственно T_1 и T_2 .

а) Выразите работу газа через величины, данные в условии.

б) Выразите изменение внутренней энергии газа ΔU через величины, данные в условии.

в) Выразите полученное газом количество теплоты Q через величины, данные в условии.

Совет. а) По графику видно, что объём газа прямо пропорционален абсолютной температуре газа — следовательно, это *изобарный* процесс. Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона. б) Воспользуйтесь формулой $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$. в) Воспользуйтесь первым законом термодинамики.

703. Данную массу газа переводят из состояния 1 в состояние 2 двумя различными способами: а и б (рис. 147).

а) При каком способе работа газа больше? Во сколько раз больше?

б) При каком способе изменение внутренней энергии газа больше? Во сколько раз больше?

Совет. а) Воспользуйтесь тем, что работа газа при расширении равна площади фигуры под графиком $p(V)$. б) Воспользуйтесь тем, что начальное состояние газа, как и конечное, при обоих способах перехода одно и то же.

704. Данную массу газа переводят из состояния 1 в состояние 2 двумя различными способами: а и б (рис. 148). При каком из этих способов перехода переданное газу количество теплоты больше? Во сколько раз больше?

Совет. Воспользуйтесь первым законом термодинамики.

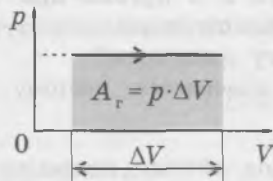


Рис. 144

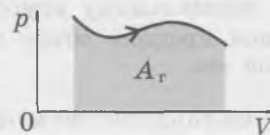


Рис. 145

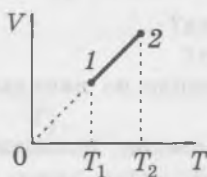


Рис. 146

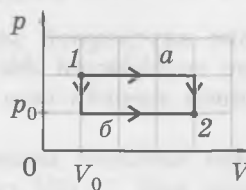


Рис. 147

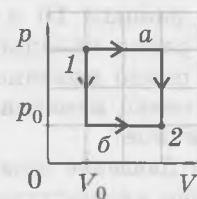


Рис. 148

Циклические процессы

Полезная работа газа за один цикл численно равна площади фигуры, заключённой внутри цикла в координатах (p, V) . Эта фигура закрашена на рисунке 149.

705. На рисунке 150 изображён график циклического процесса, состоящий из четырёх этапов: a, b, c, d .

- На каких этапах внутренняя энергия газа увеличивалась, а на каких — уменьшалась?
- На каком этапе газ совершал положительную работу?
- На каком этапе положительную работу совершали внешние силы?
- На каких этапах газ получал некоторое количество теплоты, а на каких — отдавал?
- Выразите полезную работу газа через приведённые на рисунке значения давления и объёма.

Совет. Этапы цикла представляют собой изохорные и изобарные процессы. Воспользуйтесь первым законом термодинамики.

706. На рисунке 151 изображён график циклического процесса, происходящего с некоторой массой одноатомного идеального газа. Одним из этапов этого процесса является изотермический процесс, а другим — адиабатный.

- Какой из этапов процесса представляет собой изотермический процесс, а какой — адиабатный?
- На каких этапах процесса работа газа положительна, а на каких этапах работа газа отрицательна (то есть работу совершают над газом)?
- На каких этапах процесса газ получает некоторое количество теплоты, а на каких этапах — отдаёт?

Совет. а) Воспользуйтесь тем, что при адиабатном расширении температура газа понижается, а при адиабатном сжатии — повышается. б) Газ совершает положительную работу при *любом расширении* и отрицательную — при *любом сжатии*. в) Воспользуйтесь определением адиабатного процесса и первым законом термодинамики.

707. Рассмотрим тот же циклический процесс (см. рис. 151). Обозначим ν количество вещества в одноатомном газе, T_1, T_2 и T_3 — значения его абсолютной температуры соответственно в состояниях 1, 2, 3.

- Есть ли среди значений T_1, T_2 и T_3 одинаковые?
- Выразите работу газа в изобарном процессе через величины, приведённые в условии.
- Выразите изменение внутренней энергии газа в изобарном процессе через величины, приведённые в условии.
- Выразите количество теплоты, полученное газом в изобарном процессе, через величины, приведённые в условии.
- Выразите работу газа в адиабатном процессе через величины, приведённые в условии.
- Как связано количество теплоты, отданное газом в изотермическом процессе, с работой внешних сил над газом?

Совет. а) При изотермическом процессе температура не изменяется. б) Воспользуйтесь уравнением Менделеева — Клапейрона. д) Учтите, что в адиабатном процессе $Q = 0$, воспользуйтесь первым законом термодинамики и выражением для изменения внутренней энергии газа. е) Учтите, что в изотермическом процессе внутренняя энергия газа не изменяется, и воспользуйтесь первым законом термодинамики.

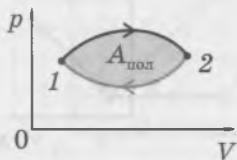


Рис. 149

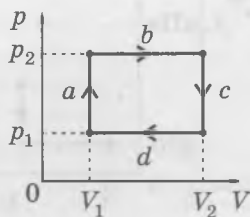


Рис. 150

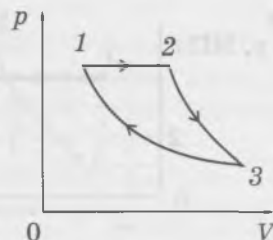


Рис. 151

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

708. Внутренняя энергия одноатомного газа, находящегося в сосуде объёмом 4 л, равна 1,5 кДж. Чему равно давление данной массы газа в сосуде?

709. Насколько изменилась при нагревании внутренняя энергия одноатомного газа, содержащегося в сосуде объёмом 10 л, если при этом давление газа увеличилось на 50 кПа?

710. По графикам зависимости давления данной массы газа от его объёма (рис. 152, а—в) найдите, чему равна работа газа в каждом случае.

Совет. Учтите, что работа газа численно равна площади фигуры под графиком зависимости давления от объёма. Обратите внимание на единицы физических величин.

711. Температуру пяти молей одноатомного газа, находящегося в закрытом стеклянном сосуде, увеличили на 20 К. Какое количество теплоты получил газ?

Совет. Процесс, происходящий с газом, — изохорный.

712. Как изменилась температура пяти молей одноатомного газа, находящегося в закрытом металлическом сосуде, если ему передали количество теплоты, равное 5 кДж?

Повышенный уровень

713. В закрытом сосуде содержится 5 г гелия и 30 г аргона при температуре 300 К. Чему равна внутренняя энергия этой смеси газов?

714. На сколько процентов увеличится внутренняя энергия данной массы одноатомного газа, если его температуру увеличить от 0 °С до 127 °С?

715. Чему равна концентрация молекул одноатомного газа, находящегося в сосуде объёмом 5 л при температуре 27 °С, если внутренняя энергия газа равна 300 Дж?

716. Чему равна работа газа в каждом из случаев, изображённых на рисунках 153, а—е?

Совет. Обратите внимание на единицы физических величин.

717. График зависимости давления данной массы газа от объёма представляет собой отрезок прямой. Чему равна работа газа, давление которого при расширении от 3 до 6 л уменьшилось с 300 до 100 кПа?

Совет. Изобразите график данного процесса в координатах (p, V).

Высокий уровень

718. Объём газа массой 20 г при изобарном расширении увеличился в 4 раза, при этом газ совершил работу 6,23 кДж. Какой это может быть газ, если его начальная температура равна 127 °С?

719. Начальная температура одного моля одноатомного газа равна 300 К. Насколько изменилась внутренняя энергия газа, если состояние газа изменялось по закону $p^3V = \text{const}$, а его объём увеличился в 8 раз?

Совет. Запишите систему уравнений, первое из которых справедливо только для данного процесса, второе представляет собой уравнение Клапейрона, а третье — изменение внутренней энергии одноатомного газа.

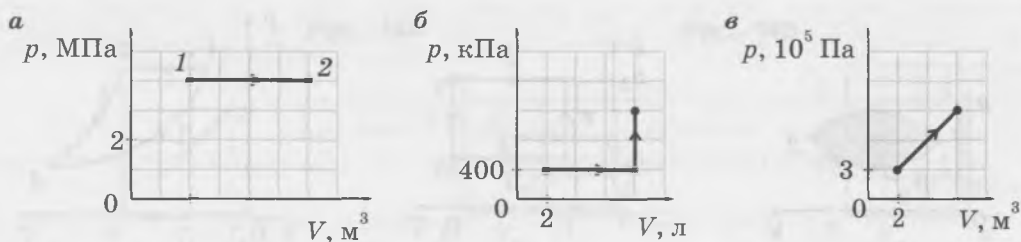


Рис. 152

720. Внутренняя энергия данной массы одноатомного газа при изохорном охлаждении уменьшилась на 120 кДж. Какое количество теплоты надо сообщить газу для последующего изобарного нагревания до начальной температуры?

Совет. Запишите первый закон термодинамики для изобарного нагревания, а также выражения для изменения внутренней энергии и работы газа через изменение температуры.

721. Какое количество теплоты получили 2 моля одноатомного газа в процессе 2—3 (рис. 154), если начальная температура газа равна 400 К?

Совет. Воспользуйтесь первым законом термодинамики для процесса 2—3. Воспользуйтесь клеточным фоном, чтобы найти соотношения между объёмами, а также температурами газа в различных состояниях.

722. Какое количество теплоты получили 4 моля одноатомного газа в результате изобарного нагревания и последующего изохорного нагревания, если в результате этих процессов как объём, так и давление газа увеличились в 3 раза, а начальная температура газа была 100 К?

Совет. Воспользуйтесь первым законом термодинамики для изобарного нагревания и изохорного нагревания.

723. Одноатомный газ сжимается сначала адиабатно, а затем изобарно так, что конечная температура газа равна начальной (рис. 155). Чему равна работа внешних сил в процессе 2—3, если при адиабатном сжатии внешние силы совершили работу, равную 6 кДж?

Совет. Воспользуйтесь первым законом термодинамики и уравнением Менделеева — Клапейрона, чтобы связать значения работы внешних сил в двух процессах.

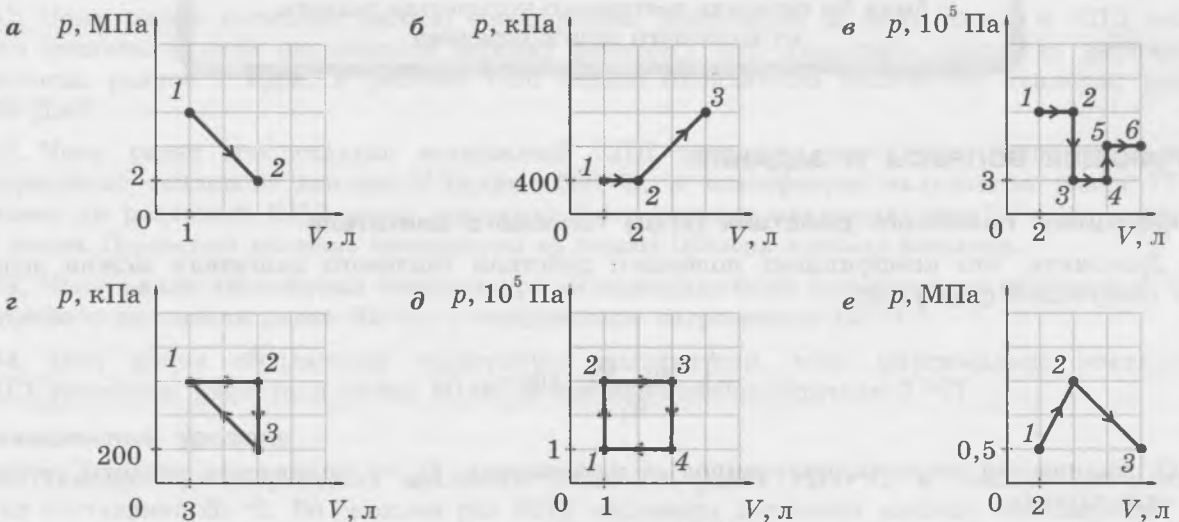


Рис. 153

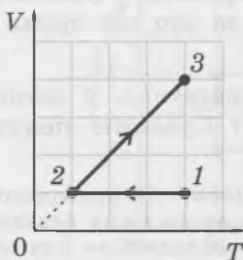


Рис. 154

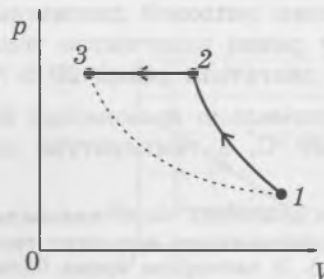
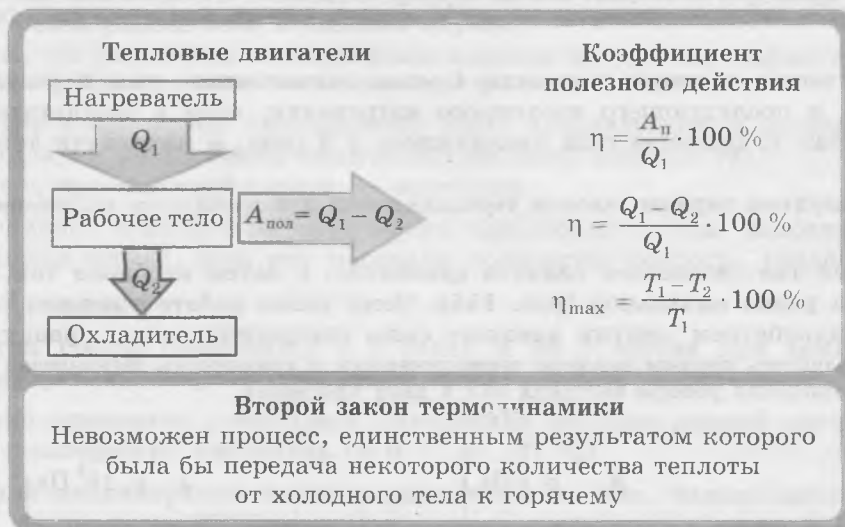


Рис. 155

724. В сосуде под поршнем содержится насыщенный водяной пар при температуре $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чему равна работа пара, если при медленном вдвигании поршня в сосуде образовался 1 г воды, а температура содержимого сосуда не изменилась?

Совет. Воспользуйтесь тем, что давление насыщенного пара остаётся постоянным, а также уравнением Менделеева — Клапейрона. Учтите, что при сжатии работа газа отрицательна.

Тепловые двигатели¹⁾. Второй закон термодинамики



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Коэффициент полезного действия (КПД) теплового двигателя

725. Докажите, что коэффициент полезного действия теплового двигателя можно выразить следующей формулой:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%,$$

где Q_1 количество теплоты, полученное от нагревателя, Q_2 — количество теплоты, отданное охладителю.

Совет. Воспользуйтесь определением КПД теплового двигателя и выражением для полезной работы теплового двигателя через количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя, и количество теплоты, отданное рабочим телом охладителю.

726. За некоторое время тепловой двигатель получил от нагревателя количество теплоты, равное 5 кДж. Чему равно количество теплоты, отданное за это же время охладителю, если КПД теплового двигателя равен 20 %?

727. Чему равен максимально возможный КПД теплового двигателя, у которого температура нагревателя $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура охладителя $20\text{ }^{\circ}\text{C}$? Сравните полученный ответ

¹⁾ Охладитель теплового двигателя часто называли ранее *холодильником*, что приводило к недоразумениям, потому что холодильником называют также устройство для охлаждения различных предметов (например, продуктов). В настоящее время более точное название «охладитель» для одного из основных элементов теплового двигателя получает всё большее распространение, что обусловлено также единообразием терминов *нагреватель* и *охладитель*.

с КПД реальных тепловых двигателей. Например, КПД двигателей внутреннего сгорания составляет 30—40 %.

Совет. Выразите приведённые в условии значения температуры по шкале Кельвина.

728. На рисунке 156 изображён график состоящего из четырёх этапов цикла для одноатомного идеального газа.

- Назовите четыре этапа цикла.
- На каком этапе газ совершает положительную работу? Выразите её через p_0 и V_0 .
- Чему равно количество теплоты Q_1 , полученное газом от нагревателя за один цикл?
- Чему равна полезная работа газа?
- Чему равен КПД данного цикла?

Совет. б) Воспользуйтесь тем, что работа газа численно равна площади фигуры под графиком зависимости $p(V)$. в) Воспользуйтесь первым законом термодинамики и выражением для внутренней энергии одноатомного газа через его давление и объём. г) Полезная работа газа равна площади фигуры, заключённой внутри графика цикла в координатах (p, V) .

729. На рисунке 157 изображён график циклического процесса, происходящего с некоторой массой одноатомного газа. Чему равен КПД цикла?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

730. Во сколько раз количество теплоты, полученное тепловым двигателем от нагревателя, больше совершённой двигателем работы, если КПД теплового двигателя равен 30 %?

731. Чему равны полезная работа, совершённая двигателем за один цикл, и КПД теплового двигателя, если нагреватель передал рабочему телу теплового двигателя количество теплоты, равное 1 кДж, а рабочее тело отдало охладителю количество теплоты, равное 650 Дж?

732. Чему равен максимально возможный КПД теплового двигателя, если температура нагревателя теплового двигателя равна 1500 К, а температура охладителя равна 77 °С? Может ли реальный КПД этого двигателя быть равным максимальному?

Совет. Переведите значение температуры из шкалы Цельсия в шкалу Кельвина.

733. Чему равна абсолютная температура охладителя, если максимально возможный КПД теплового двигателя равен 25 %, а температура нагревателя 127 °С?

734. Чему равна абсолютная температура нагревателя, если максимально возможный КПД теплового двигателя равен 80 %, а температура охладителя 7 °С?

Повышенный уровень

735. Температура нагревателя теплового двигателя равна 1200 °С, а температура охладителя составляет 20 °С. Во сколько раз КПД теплового двигателя меньше максимально возможного, если нагреватель передал рабочему телу теплового двигателя количество теплоты 5 кДж, а рабочее тело отдало охладителю 4 кДж?

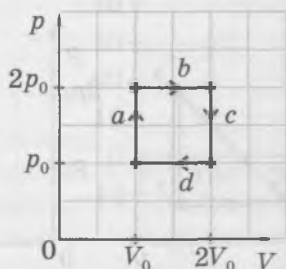


Рис. 156

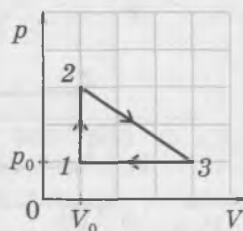


Рис. 157

736. Абсолютная температура нагревателя теплового двигателя в 5 раз больше абсолютной температуры охладителя. Чему равен максимально возможный КПД этого двигателя?

737. Количество теплоты, которое рабочее тело теплового двигателя отдаёт охладителю, увеличили на 10 %, а количество теплоты, которое он получает от нагревателя, увеличили на 15 %. Как изменился КПД двигателя — увеличился или уменьшился? Каким стал КПД, если первоначально он был равен 35 %?

Совет. Воспользуйтесь выражением для КПД теплового двигателя через количество теплоты, полученное от нагревателя, и количество теплоты, отданное охладителю.

738. Сколько керосина потребуется для одного часа полёта самолёта со скоростью 2000 км/ч, если сила тяги двигателя равна 90 кН, а его КПД равен 45 %? Удельная теплота сгорания керосина 45 МДж/кг.

Совет. Переведите значение скорости в единицы СИ. Двигатель самолёта совершает полезную работу за счёт количества теплоты, выделяющегося при сгорании керосина.

Высокий уровень

739. По графику зависимости давления данной массы одноатомного газа от объёма (рис. 158) определите:

- работу газа за один цикл;
- количество теплоты, которое получил газ за один цикл;
- КПД цикла.

740. С данной массой одноатомного газа осуществляют циклический процесс. Сначала при изохорном нагревании давление газа увеличивают в 3 раза, затем при изобарном нагревании объём газа увеличивают на 50 %. Потом газ изохорно охлаждают, и, наконец, возвращают в начальное состояние с помощью изобарного охлаждения. Изобразите график цикла в наиболее удобных координатах и найдите его КПД.

741. Чему равен КПД циклического процесса, происходящего с некоторой массой одноатомного газа (рис. 159)?

742. Чему равен КПД циклического процесса, происходящего с некоторой массой одноатомного газа (рис. 160)?

743. Циклический процесс, который осуществляется с пятью молями одноатомного газа, состоит из изотермического расширения, изохорного охлаждения и адиабатического сжатия. Чему равен КПД цикла, если в изохорном процессе температура газа уменьшается на 300 К, а работа, совершённая газом в изотермическом процессе, равна 25 кДж?

Совет. Определите, в каком из процессов газ получает количество теплоты, а в каком — отдаёт. Работа, совершённая рабочим телом за цикл, равна разности работ в изотермическом и адиабатном процессах.

744. На рисунке 161 изображён график циклического процесса, происходящего с некоторой массой одноатомного газа. Какое количество теплоты газ отдаёт за цикл охладителю, если при переходе из состояния 1 в состояние 2 газ совершает работу, равную 8 кДж?

Совет. Газ отдаёт некоторое количество теплоты охладителю на участке 2—3.

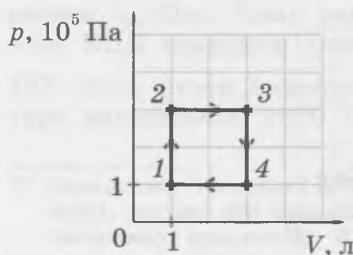


Рис. 158

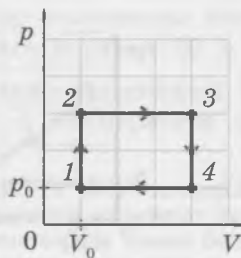


Рис. 159

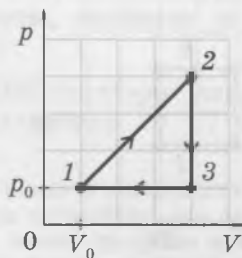


Рис. 160

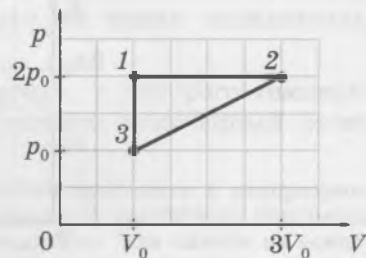


Рис. 161

Фазовые переходы

Количество теплоты Q , необходимое для того, чтобы полностью расплавить тело, взятое при температуре плавления, пропорционально массе m этого тела:

$$Q = \lambda m,$$

λ — удельная теплота плавления вещества

Количество теплоты Q , необходимое для того, чтобы превратить жидкость в пар при постоянной температуре, пропорционально массе m жидкости:

$$Q = Lm,$$

L — удельная теплота парообразования

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Плавление и кристаллизация

745. Кусок льда, взятый при температуре 0°C , полностью превратили в воду при той же температуре, сообщив ему некоторое количество теплоты. До какой температуры нагреется образовавшаяся вода, если сообщить ей такое же количество теплоты? Удельная теплота плавления льда равна 330 кДж/кг , а удельная теплоёмкость воды равна

$$4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

746. На рисунке 162 приведён график зависимости температуры образца вещества массой 1 кг от переданного ему количества теплоты.

- Какова удельная теплоёмкость вещества в твёрдом состоянии?
- Чему равна температура плавления вещества?
- Чему равна удельная теплота плавления вещества?
- Какова удельная теплоёмкость вещества в жидком состоянии?
- Какое это вещество?

Совет. а) Воспользуйтесь тем, что для нагревания образца на 10 градусов ему надо сообщить количество теплоты, равное 21 кДж . в) Определите по графику, какое количество теплоты надо сообщить образцу, взятому при температуре плавления, для полного плавления образца. г) Определите по графику количество теплоты, которое надо сообщить данному образцу для нагревания на 50 градусов.

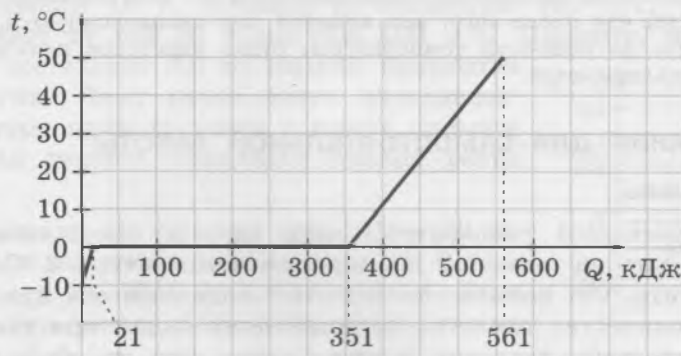


Рис. 162

Парообразование и конденсация

747. Почему при испарении жидкость охлаждается?

748. На какой этаж можно было бы поднять слона массой 4 т, совершив работу, численно равную количеству теплоты, необходимому для превращения 2 л воды в пар при постоянной температуре? Удельная теплота парообразования воды равна 2,3 МДж/кг. Высоту одного этажа примите равной 3 м.

749. Почему обжечься паром опаснее, чем кипятком?

Совет. При конденсации пара выделяется большое количество теплоты.

Уравнение теплового баланса при наличии фазовых переходов

При решении задач, в которых идёт речь о плавлении кристаллического тела, надо помнить, что если начальная температура тела не равна температуре плавления, то ему надо сообщить некоторое количество теплоты для того, чтобы нагреть его до этой температуры.

750. В атмосферу Земли влетает железный метеорит, имеющий температуру $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вследствие сопротивления воздуха при движении сквозь атмосферу 80 % кинетической энергии метеорита переходит в его внутреннюю энергию. Удельная теплоёмкость железа равна $460\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$, температура плавления $1540\text{ }^{\circ}\text{C}$, удельная теплота плавления 270 кДж/кг .

- При какой минимальной скорости входа в атмосферу метеорит нагреется до температуры плавления?
- Какая часть массы метеорита расплавится, если при входе в атмосферу его скорость равна $1,6\text{ км/с}$?

751. В калориметр, содержащий некоторую массу воды $m_{\text{в}}$, помещают кусок льда массой $m_{\text{л}}$. Каким может быть состояние вещества, когда в калориметре будет тепловое равновесие? Какой может быть конечная температура содержимого калориметра в каждом случае?

752. В калориметр, содержащий 1,5 л воды при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, кладут кусок льда при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чему равна масса льда, если после установления теплового равновесия в калориметре находится:

- только лёд;
- только вода;
- лёд и вода в тепловом равновесии?

753. В калориметр, в котором находится 1 л воды при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, впускают 100 г водяного пара при температуре $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чему будет равна температура в калориметре после установления теплового равновесия?

Совет. Прежде всего надо выяснить: сконденсируется ли весь водяной пар, который впустили в калориметр? Учтите, что после того, как водяной пар сконденсируется, образовавшаяся из него вода должна остыть до конечной температуры, отдав некоторое количество теплоты воде, уже содержащейся в калориметре.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Повышенный уровень

754. До какой наименьшей температуры надо нагреть алюминиевый куб, чтобы после того, как его положат на плоскую льдину при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, он полностью погрузился в лёд? Примите, что количество теплоты, выделившееся при остывании алюминиевого куба, равно количеству теплоты, поглощённому льдом при таянии.

Совет. Запишите уравнение теплового баланса с учётом того, что объём алюминиевого куба равен объёму растаявшего льда.

755. В калориметр поместили 100 г льда при температуре 0 °С, а затем впустили пар при температуре 100 °С. Чему будет равна масса воды в калориметре, когда весь лёд растает, а температура воды будет равна 0 °С?

Совет. Вода в калориметре образуется из имевшегося там льда и поступающего пара.

756. В калориметр, содержащий 1 кг льда, добавили 4 кг воды при температуре 20 °С. Какой была начальная температура льда в калориметре, если после установления теплового равновесия в калориметре оказалась только вода при температуре 0 °С?

757. Для нагревания на плите некоторой массы воды от 20 °С до температуры кипения потребовалось 6 мин. Сколько потребуется времени, чтобы эта вода выкипела, если потерями тепла можно пренебречь?

758. До какой температуры была нагрета вода, полученная из 100 кг снега, взятого при температуре -10 °С, если для этого в печи с КПД 20 % сожгли 22 кг дров? Удельная теплота сгорания дров равна 10 МДж/кг.

Совет. Учтите, что снег сначала надо нагреть до температуры таяния льда. Удельная теплоёмкость снега равна удельной теплоёмкости льда.

Высокий уровень

759. В воду объёмом 1,5 л, содержащуюся в калориметре при температуре 20 °С, кладут лёд, температура которого равна -10 °С. Теплообменом с окружающей средой и теплоёмкостью калориметра можно пренебречь. Какая температура установится в калориметре, если масса льда равна:

- а) 40 кг;
- б) 200 г?

Совет. Выясните, каким будет агрегатное состояние вещества, содержащегося в калориметре.

760. В калориметре начали нагревать некоторую массу вещества в кристаллическом состоянии. На рисунке 163 изображён график зависимости температуры содержимого калориметра от времени. Чему равна удельная теплота плавления данного вещества, если его удельная теплоёмкость в жидком состоянии равна $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$? Теплоёмкостью калориметра и тепловыми потерями можно пренебречь, мощность нагревателя считайте постоянной.

761. В калориметр налили 1 л воды при температуре 20 °С. Какой станет температура содержимого калориметра после того, как в воду опустят 100 г мокрого снега, содержание воды в котором (по массе) равно 60 %, и в калориметре установится тепловое равновесие? Потерями тепла можно пренебречь.

Совет. Учтите, что мокрый снег представляет собой смесь воды и льда при температуре 0 °С. В процессе установления теплового равновесия нагреваться будет вода, которая образуется из льда, а также вода, содержащаяся в мокром снеге.

762. Свинцовая пуля массой 10 г, летящая со скоростью 400 м/с, ударяется о стальную плиту и отскакивает от неё со скоростью 100 м/с. Примите, что изменение внутренней энергии пули составляет 0,6 от модуля изменения её механической энергии. Чему равна масса расплавленного свинца? Температуру пули до удара о плиту примите равной 50 °С. Удельная теплота плавления свинца равна 25 кДж/кг.

763. В калориметре смешали 40 мл воды при 5 °С и 20 мл воды при 10 °С. В образовавшуюся смесь поместили 0,4 кг льда при температуре -6 °С. Весь ли лёд растает? Если нет, то чему будет равна масса льда после установления теплового равновесия?

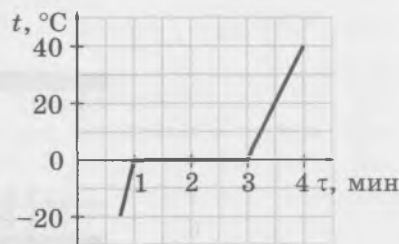


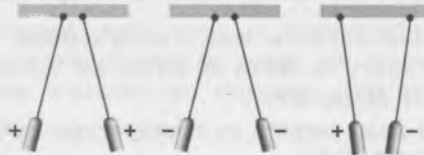
Рис. 163

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрические взаимодействия

Электрические заряды бывают двух знаков — положительные и отрицательные.

Одноимённо заряженные тела отталкиваются, а разноимённо заряженные притягиваются.



Свободные носители электрического заряда — электроны и ионы

Закон Кулона

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

Электризация через влияние



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

764. Имеются три заряженных шарика.

- Могут ли *любые* два шарика из этих трёх отталкиваться друг от друга? Обоснуйте свой ответ.
- Могут ли *любые* два шарика из этих трёх притягиваться друг к другу?

765. При трении двух нейтральных тел некоторая часть электронов перешла с тела 1 на тело 2. Какое из этих тел оказалось заряженным *отрицательно*?

766. Каков знак заряда иона, образовавшегося в результате потери атомом электрона?

767. Объясните, почему в опыте, показанном на рисунке 164, обе гильзы оказались заряженными, хотя их не касались заряженными телами.

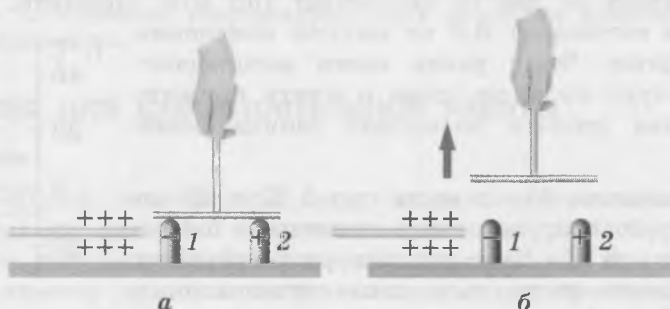


Рис. 164

768. На рисунке 165 схематически изображён опыт, в котором к незаряженной металлической гильзе подносят положительно заряженную палочку, не касаясь ею гильзы. Используя рисунок, объясните, почему незаряженная гильза притягивается к палочке.

769. На рисунке 166 изображено, как взаимодействует гильза В с положительно заряженной гильзой А. Что можно сказать о заряде гильзы В?

Совет. Учтите перераспределение заряда в гильзе В.

770. В столовую ложку налили 18 г воды.

- Сколько молекул воды содержится в ложке?
- Сколько электронов в одной молекуле воды?
- Сколько электронов в воде, находящейся в столовой ложке?
- Чему равен суммарный заряд всех электронов в воде, находящейся в столовой ложке?
- Чему равен суммарный заряд всех положительно заряженных частиц в воде, находящейся в столовой ложке?

Совет. а) Найдите молярную массу воды. б) Число электронов в атоме равно его порядковому номеру в таблице Менделеева.

771. Сравните силы электрического отталкивания двух электронов с силами их гравитационного притяжения: какие из них больше и во сколько раз? Имеет ли значение для нахождения ответа на этот вопрос расстояние между электронами? Масса электрона $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

772. Два небольших заряженных шарика поместили на некотором расстоянии друг от друга. Изменятся ли, и если да, то как, силы взаимодействия шариков, если:

- знак заряда каждого шарика изменить на противоположный, сохранив модули зарядов;
- изменить знак заряда только одного из шариков, сохранив модули зарядов;
- увеличить модуль заряда каждого шарика в n раз;
- уменьшить расстояние между шариками в n раз;
- увеличить заряд одного шарика и расстояние между шариками в n раз?

773. Два незаряженных шара массой 1 кг каждый находятся на расстоянии 5 м друг от друга. Сколько электронов надо перенести с одного шара на другой, чтобы силы электрического притяжения шаров сравнялись по модулю с силами их гравитационного притяжения? Есть ли в условии лишние данные?

Если на заряженное тело действуют силы со стороны нескольких заряженных тел, то их равнодействующая является векторной суммой сил, действующих на данное тело со стороны этих тел.



Рис. 165



Рис. 166

774. Небольшие шарики с положительными зарядами q и $4q$ закреплены на концах пластмассового стержня длиной 15 см. По стержню может скользить третий заряженный шарик. Трением можно пренебречь.

- Где надо поместить третий шарик, чтобы он находился в равновесии?
- Каким должен быть знак заряда третьего шарика, чтобы его положение равновесия было устойчивым?

Совет. а) Воспользуйтесь законом Кулона. б) Сравните силы, действующие на третий шарик со стороны первых двух при отклонении третьего шарика вдоль стержня от положения равновесия.

775. Небольшие шарики с зарядами q и $-4q$ закреплены на расстоянии 20 см друг от друга на длинном пластмассовом стержне. Где на этом стержне надо поместить третий заряженный шарик, который может скользить по стержню, чтобы шарик находился в равновесии?

776. На рисунке 167 показаны два закреплённых одинаковых положительных точечных заряда. Перенесите рисунок в тетрадь.

- Обозначьте на рисунке в тетради точку, в которую надо поместить третий заряд, чтобы он находился в равновесии.
- Обозначьте на рисунке в тетради все точки, в которые можно поместить третий заряд, чтобы равнодействующая приложенных к нему сил была перпендикулярна отрезку, соединяющему данные заряды.

В задачах иногда рассматривают взаимодействие *одинаковых металлических шариков*. При решении таких задач надо учитывать, что, когда такие шарики приводят в соприкосновение, их заряды становятся *равными*.

777. На некотором расстоянии друг от друга поместили два одинаковых разноимённо заряженных металлических шарика с зарядами q и $-5q$.

- Как изменятся направления действующих на шарики сил, если привести их в соприкосновение и раздвинуть на прежнее расстояние?
- Как изменится модуль сил взаимодействия шариков?

Совет. б) После соприкосновения заряды шариков станут равными. Воспользуйтесь законом сохранения электрического заряда.

778. У вас есть один заряженный металлический шарик с зарядом 8 нКл и большое количество таких же незаряженных металлических шариков. Запишите последовательность действий, с помощью которых можно получить шарик с зарядом 4 нКл; 2 нКл; 1 нКл; 3 нКл.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

779. На нитях одинаковой длины висят рядом две одинаковые гильзы: левая гильза заряжена, а правая — не заряжена. Какая нить сильнее отклонена от вертикали?

Совет. Воспользуйтесь третьим законом Ньютона.

780. Объясните, почему при электризации трением оба тела приобретают электрический заряд.

781. Почему незаряженная лёгкая металлическая гильза притягивается как к эбонитовой палочке, потёртой о шерсть, так и к стеклянной палочке, потёртой о шёлк? Сделайте схематические рисунки, на которых изображено перераспределение зарядов в гильзе.

Совет. Вспомните о перераспределении свободных электрических зарядов в гильзе под действием заряженной палочки. Учтите знак заряда обеих палочек.

782. Когда к сфере незаряженного электрометра поднесли отрицательно заряженную палочку, стрелка электрометра отклонилась.

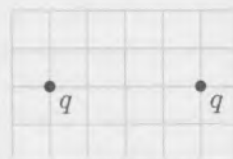


Рис. 167

- а) Приобрёл ли электрометр электрический заряд?
- б) Какой знак заряда образуется на сфере, стержне и стрелке электрометра?
- в) Что произойдёт, когда палочку удалят от электрометра?

Совет. Учтите электризацию через влияние.

783. Когда по сфере незаряженного электрометра провели отрицательно заряженной палочкой, стрелка электрометра отклонилась.

- а) Приобрёл ли электрометр электрический заряд?
- б) Какой знак заряда образуется на сфере, стержне и стрелке электрометра?
- в) Что произойдёт, когда палочку удалят от электрометра?

Совет. Часть электронов перейдёт с палочки на сферу.

784. Когда к заряженному электрометру поднесли заряженную палочку, отклонение стрелки электрометра *уменьшилось*.

- а) Что можно сказать о знаке зарядов палочки и электрометра: одинаковы они или противоположны? Поясните свой ответ.
- б) Увеличился или уменьшился по модулю заряд сферы электрометра при поднесении палочки? Поясните свой ответ.

Совет. б) Так как отклонение стрелки уменьшилось, то уменьшился заряд на стержне и стрелке. Значит, часть заряда перетекла на сферу электрометра вследствие притяжения к палочке.

785. Каплю, имеющую заряд $-8e$, освещают ультрафиолетовыми лучами. Каким стал заряд капли, когда она потеряла:

- а) три электрона;
- б) восемь электронов;
- в) одиннадцать электронов?

786. Одинаковые металлические гильзы с зарядами 5 нКл и -7 нКл привели в соприкосновение и развели в стороны. Какими стали заряды гильз?

Совет. Воспользуйтесь законом сохранения электрического заряда.

787. С какими силами взаимодействуют два одинаковых точечных заряда по 4 нКл каждый, находящиеся в вакууме на расстоянии 20 см друг от друга?

Совет. Воспользуйтесь законом Кулона.

788. Чему равен модуль каждого из двух одинаковых точечных зарядов, взаимодействующих в вакууме с силами 6 мН , если расстояние между ними $0,5 \text{ м}$?

Совет. Воспользуйтесь законом Кулона.

789. Два точечных заряда 2 нКл и 5 мкКл отталкиваются с силами, равными по модулю 3 мН . На каком расстоянии друг от друга находятся эти заряды?

Совет. Воспользуйтесь законом Кулона.

Повышенный уровень

790. Можно ли утверждать, что если лёгкий шарик, подвешенный на нити, притягивается к положительно заряженной палочке, то шарик обязательно заряжен отрицательно?

791. Когда к подвешенной на лёгкой нити незаряженной алюминиевой гильзе поднесли стеклянную палочку, потёртую о шёлк, гильза сначала притянулась к палочке, а коснувшись её, оттолкнулась от палочки. Объясните наблюдаемые явления.

792. Между двумя металлическими пластинами подвешен шарик из фольги (рис. 168). Что будет происходить, если сообщить пластинам разноимённые заряды и затем коснуться шариком одной из них?

Совет. Шарик, коснувшись любой пластины, приобретает часть заряда этой пластины.

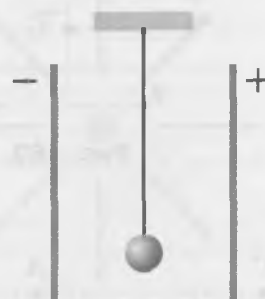


Рис. 168

793. Если расстояние между двумя точечными зарядами уменьшить на 0,5 м, то силы взаимодействия между ними увеличатся в 2 раза. На каком расстоянии друг от друга находятся точечные заряды первоначально?

794. Перенесите рисунок 169 в тетрадь и укажите на рисунке направление силы, действующей на заряд, помещённый в центр квадрата.

795. Точечный заряд -8 нКл помещают в точку A , а точечный заряд 4 нКл — в точку B (рис. 170). В точку C помещают третий точечный заряд, равный 5 нКл. Определите модуль и направление силы, действующей на заряд, помещённый в точку A , со стороны других зарядов, если $AB = 0,4$ м, $AC = 1$ м.

796. Снизу к подвешенному на нити маленькому шарiku массой 2 г с зарядом 30 нКл подносят на изолированной ручке другой шарик с зарядом $0,2$ мкКл, причём расстояние между шариками составляет 6 см (рис. 171). Найдите силу натяжения нити, если шарики заряжены: а) одноимённо; б) разноимённо.

Совет. Сделайте в тетради рисунок с указанием всех сил, действующих на шарик, подвешенный на нити. Воспользуйтесь вторым законом Ньютона и законом Кулона.

Высокий уровень

797. Два металлических шара A и B , закреплённые на изолирующих подставках, привели в соприкосновение и сообщили им положительный заряд. Какими станут заряды этих шаров после того, как к ним поднесут положительно заряженную палочку, как показано на рисунке 172, затем шар A отодвинут от шара B и уберут палочку?

Совет. Учтите электризацию через влияние и перераспределение зарядов.

798. Суммарный заряд двух маленьких металлических шариков равен 6 мкКл. Во сколько раз заряд одного шарика больше заряда другого, если они отталкиваются с силами, равными 72 мН, когда находятся на расстоянии 1 м друг от друга?

799. Когда расстояние между одинаковыми металлическими заряженными шариками равно $0,8$ м, они притягиваются с силами, равными 211 мН. Шарики касаются друг друга, и их удаляют на прежнее расстояние один от другого, после чего они отталкиваются с силами, равными $14,1$ мН. Определите начальные заряды шариков.

Совет. Найдите все ответы!

800. Заряженные равными зарядами шарики подвешены на нитях (рис. 173), причём силы натяжения нитей равны. Масса каждого шарика $8,1$ г, длина каждой нити $0,2$ м. Чему равен заряд каждого шарика? Чему равна сила натяжения каждой нити?

Совет. Изобразите силы, действующие на каждый шарик, и воспользуйтесь законами Кулона и Ньютона.

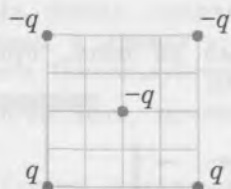


Рис. 169



Рис. 170



Рис. 171

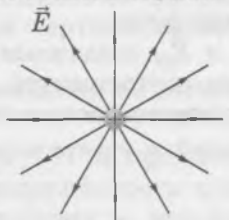
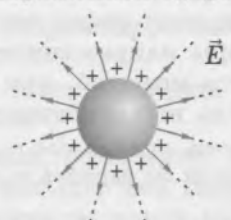
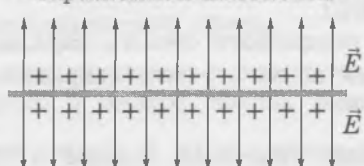
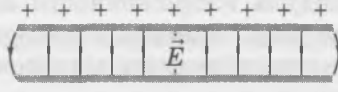


Рис. 172



Рис. 173

Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости

Напряжённость поля	Принцип суперпозиции полей
$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$	$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$
<p>Поле точечного заряда</p> 	<p>Поле равномерно заряженной сферы</p> 
<p>Поле равномерно заряженной плоскости</p> 	<p>Поле двух разноимённо заряженных плоскостей</p> 

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Напряжённость электрического поля

801. Чему равна сила, действующая на отрицательный заряд, равный -20 нКл, в точке пространства, в которой напряжённость электрического поля составляет 100 Н/Кл? Как направлена эта сила, если напряжённость поля \vec{E} направлена вверх?

Совет. Воспользуйтесь формулой $\vec{F} = q\vec{E}$.

802. На рисунке 174 изображены векторы напряжённости электрического поля, созданного *положительным* точечным зарядом в некоторых точках пространства, находящихся на одинаковых расстояниях от данного заряда. Почему напряжённость поля во всех точках направлена *от положительного заряда*?

803. Изобразите в тетради векторы напряжённости электрического поля, созданного *отрицательным* точечным зарядом в некоторых точках пространства, находящихся на одинаковых расстояниях от данного заряда.

804. Запишите выражение для модуля напряжённости поля точечного заряда Q в точке пространства, находящейся на расстоянии r от этого заряда.

Совет. Воспользуйтесь законом Кулона и определением напряжённости поля.

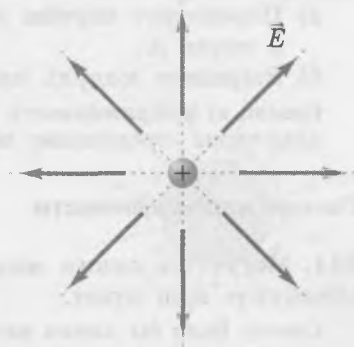


Рис. 174

805. Чему равен модуль напряжённости поля точечного заряда, равного по модулю 10 нКл, на расстоянии 3 м от заряда?

806. Модуль напряжённости поля, создаваемого точечным зарядом на расстоянии 10 см от заряда, равен 3,6 кН/Кл.

а) Чему может быть равен данный заряд?

б) Чему равен модуль напряжённости поля на расстоянии 20 см от данного заряда? 30 см от данного заряда? 1 м от данного заряда?

807. Два положительных точечных заряда 1 и 2 по 1 нКл каждый расположены на расстоянии 6 см друг от друга.

а) Изобразите в тетради положение этих зарядов в масштабе 1 : 1 и отметьте на рисунке точку A , находящуюся точно посередине между ними.

б) Изобразите векторы напряжённости полей \vec{E}_1 и \vec{E}_2 , созданных каждым из зарядов в точке A . Выберите масштаб, при котором 1 см соответствует 10^4 Н/Кл.

в) Чему равен модуль напряжённости поля, созданного *обоими* зарядами в точке A ?

Совет. в) Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей и учтите направления напряжённости поля, созданного каждым из зарядов в данной точке.

808. Два точечных заряда 1 и 2, равные соответственно 1 нКл и -1 нКл, расположены на расстоянии 60 см друг от друга.

а) Чему равен модуль напряжённости поля, созданного каждым зарядом в точке A , находящейся точно посередине между ними?

б) Чему равен модуль напряжённости поля, созданного *обоими* зарядами в точке A ?

Совет. в) Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей и учтите направления напряжённости поля, созданного каждым из зарядов в данной точке.

809. На рисунке 175 изображены положительные точечные заряды и точка A , которая находится на серединном перпендикуляре к отрезку, соединяющему заряды.

а) Перенесите чертёж в тетрадь и изобразите на нём направление напряжённости поля в точке A .

б) Выразите модуль напряжённости поля, создаваемого *одним* из зарядов q в точке A , через q , l и h .

в) Выразите модуль напряжённости поля, создаваемого *обоими* зарядами в точке A , через q , l и h .

Совет. а) Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей. б) Воспользуйтесь выражением для напряжённости поля точечного заряда и теоремой Пифагора. в) Воспользуйтесь подобием треугольников.

810. Два разноимённых точечных заряда q и $-q$ находятся на расстоянии $2l$ друг от друга. Точка A находится на серединном перпендикуляре к отрезку, соединяющему заряды, на расстоянии h от этого отрезка.

а) Перенесите чертёж в тетрадь и изобразите на нём направление напряжённости поля в точке A .

б) Выразите модуль напряжённости поля в точке A через q , l и h .

Совет. а) Напряжённость поля, созданного обоими зарядами в точке A , перпендикулярна серединному перпендикуляру.

Линии напряжённости

811. Могут ли линии напряжённости электрического поля пересекаться? Обоснуйте ваш ответ.

Совет. Если бы линии напряжённости пересекались, то в точке их пересечения направление напряжённости поля не было бы определено.

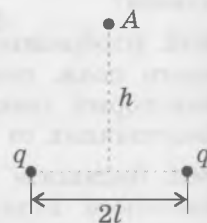


Рис. 175

812. Чем отличается напряжённость поля, созданного равномерно заряженной плоскостью с *положительным* зарядом (рис. 176, а), от поля, созданного равномерно заряженной плоскостью с *отрицательным* зарядом (рис. 176, б)?

813. Чем отличается напряжённость поля, созданного равномерно заряженной плоскостью, по разные стороны от плоскости?

814. В однородном электрическом поле напряжённостью 1 кН/Кл находится точечный заряд, равный по модулю $0,1 \text{ нКл}$.

а) Изобразите в тетради линии напряжённости однородного электрического поля и поместите точечный заряд на одной из изображённых линий напряжённости.

б) На каком расстоянии от точечного заряда напряжённость созданного им поля равна по модулю напряжённости однородного поля?

в) Укажите на своём чертеже точку, в которой *резльтирующая* напряжённость поля равна нулю.

Совет. в) Эта точка находится на расстоянии 3 см от точечного заряда на той же линии напряжённости однородного поля, на которой находится заряд.

815. Используя рисунок 177 и принцип суперпозиции, объясните, почему в пространстве *между пластинами* напряжённость поля в 2 раза больше, чем напряжённость поля, создаваемого каждой из пластин, а вне пластин практически равна нулю.

Поле равномерно заряженной сферы

На рисунке 178 изображены линии напряжённости электрического поля равномерно заряженной металлической сферы.

Вне сферы это поле совпадает с полем точечного заряда, равного суммарному заряду сферы и расположенного в центре сферы, а внутри сферы напряжённость поля равна нулю.

816. Электрический заряд 6 нКл равномерно распределён по поверхности металлической сферы радиусом 5 см . Чему равна по модулю напряжённость созданного этим зарядом поля:

а) на расстоянии 3 см от центра сферы;

б) на расстоянии 6 см от центра сферы?

Совет. б) Воспользуйтесь тем, что вне равномерно заряженной сферы созданное ею поле совпадает с полем точечного заряда, равного суммарному заряду сферы и расположенного в центре сферы.

817. В центре металлической равномерно заряженной сферы радиусом 10 см с *отрицательным* зарядом, равным -9 нКл , помещён точечный *положительный* заряд 6 нКл . Чему равна по модулю напряжённость результирующего поля:

а) на расстоянии 6 см от центра сферы;

б) на расстоянии 12 см от центра сферы?

Совет. б) Учтите, что вне сферы векторы напряжённости поля, созданного точечным зарядом, и поля, созданного равномерно заряженной сферой, направлены противоположно.

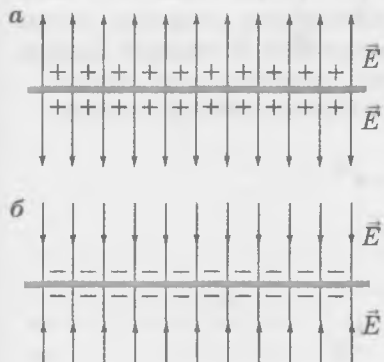


Рис. 176

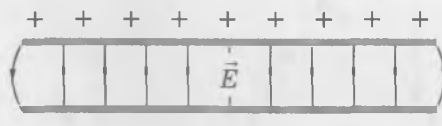


Рис. 177

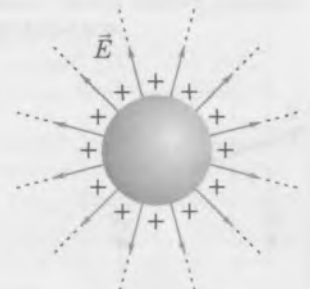


Рис. 178

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

818. Чему равен модуль напряжённости электрического поля, действующего на отрицательный точечный заряд -20 нКл с силой $0,2$ мН? Как направлен вектор напряжённости электрического поля, если под действием этой силы первоначально покоившийся заряд начал двигаться вниз?

Совет. На отрицательный заряд действует сила, направление которой противоположно направлению напряжённости поля.

819. Чему равен модуль напряжённости поля, создаваемого точечным зарядом 2 мкКл, на расстоянии 1 м от этого заряда? С какой по модулю силой это поле будет действовать на заряд 5 нКл, если заряды находятся на указанном расстоянии друг от друга?

820. Как направлен вектор напряжённости \vec{E} электрического поля, созданного двумя равными по модулю зарядами в точке O , равноудалённой от зарядов (рис. 179, а—г)?

Совет. Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей.

821. Каждый из четырёх одинаковых по величине и знаку зарядов, расположенных в вершинах квадрата, создаёт в точке A электрическое поле, модуль напряжённости которого равен E (рис. 180, а, б). Чему равен в каждом случае модуль напряжённости поля в точке A ?

Совет. Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей.

822. Какое ускорение сообщает электрону электрическое поле, напряжённость которого равна $2,7$ кН/Кл?

Совет. Воспользуйтесь вторым законом Ньютона.

Повышенный уровень

823. Чему равна напряжённость электрического поля равномерно заряженной сферы радиусом $0,1$ м, несущей заряд 8 нКл:

- в центре сферы;
- на расстоянии 7 см от центра сферы;
- на расстоянии 15 см от центра сферы;
- на расстоянии 8 см от ближайшей точки поверхности сферы?

Совет. Учтите, что внутри сферы электрического поля нет. Вне сферы это поле совпадает с полем точечного заряда, равного суммарному заряду сферы и расположенного в центре сферы.

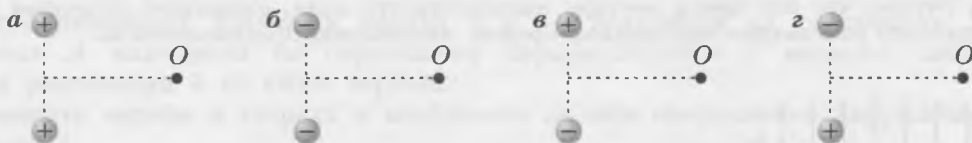


Рис. 179

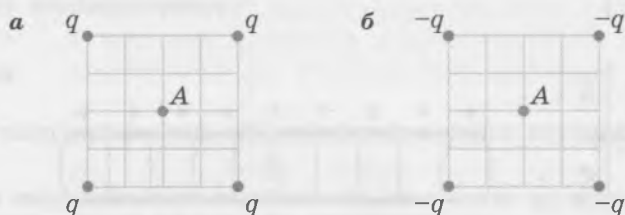


Рис. 180

824. В однородном электрическом поле, модуль напряжённости которого равен E , заряженная пылинка массой m движется с ускорением, равным по модулю a . С каким по модулю ускорением будет двигаться пылинка массой $2m$ в поле напряжённостью $E/3$, если заряды обеих пылинок одинаковы?

825. Перенесите рисунок 181 в тетрадь и изобразите на нём векторы напряжённости полей, создаваемых зарядами $-q$ и $2q$ в точке A , расположенной посередине отрезка, соединяющего эти заряды. Как направлена напряжённость результирующего электрического поля? Как изменится модуль напряжённости поля в точке A , если убрать заряд $2q$?

826. Неподвижные точечные заряды $-q$ и $-3q$ расположены в точках A и C , причём $AB = BC$ (рис. 182). Каким зарядом надо заменить заряд $-q$, чтобы:

- напряжённость поля в точке B стала равной нулю;
- модуль напряжённости поля в точке B стал в 2 раза больше по сравнению с начальным;
- модуль напряжённости поля в точке B стал в 2 раза меньше по сравнению с начальным?

Совет. б) Задача имеет два решения. в) Задача имеет два решения.

827. Маленький заряженный шарик массой $0,2$ г подвешен на нити в однородном электрическом поле, напряжённость которого направлена горизонтально. Чему равен заряд шарика, если угол отклонения нити от вертикали равен 30° , а модуль напряжённости поля равен 50 кН/Кл?

828. Капелька воды радиусом $0,01$ мм, потеряв тысячу электронов, находится в равновесии в однородном электрическом поле. Чему равен модуль напряжённости этого электрического поля и как направлен вектор напряжённости?

829. Большая однородно заряженная пластина создаёт электрическое поле напряжённостью 500 Н/Кл. Точечный заряд, равный по модулю 2 нКл, находится на расстоянии $0,2$ м от этой пластины. На каком расстоянии от пластины напряжённость результирующего электрического поля равна нулю, если:

- точечный заряд и пластина одноимённо заряжены;
- точечный заряд и пластина разноимённо заряжены?

Высокий уровень

830. Точечные заряды 10 нКл и -10 нКл расположены в двух вершинах равностороннего треугольника со стороной 1 м. Чему равен модуль напряжённости электрического поля в третьей вершине треугольника?

831. Два одинаковых заряда по 100 нКл каждый расположены на концах гипотенузы прямоугольного треугольника с катетами длиной 30 см и 40 см. Чему равен модуль напряжённости электрического поля в вершине прямого угла?

832. Точечные заряды q_A и q_B создают в точке C электрическое поле, вектор напряжённости которого изображён на рисунке 183. Каков знак каждого заряда? Модуль какого заряда больше и во сколько раз?

Совет. Воспользуйтесь принципом суперпозиции полей и клеточным фоном, чтобы найти направления и сравнить модули напряжённости, создаваемой в точке C каждым зарядом.

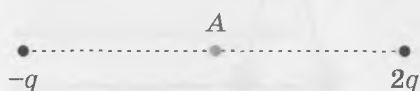


Рис. 181

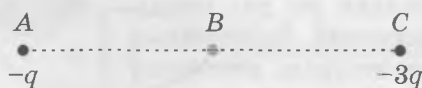


Рис. 182

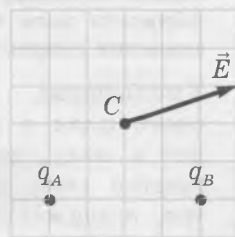


Рис. 183

833. На двух нитях равной длины, верхние концы которых закреплены в одной точке, подвешены два положительно заряженных шарика массой m каждый. Заряды шариков равны q_1 и q_2 . Шарик находится в равновесии, когда одна из нитей отклонена от вертикали на угол α .

а) На одинаковые ли углы отклонены нити от вертикали?

б) Чему равен модуль напряжённости электрического поля в точке, находящейся в середине отрезка, соединяющего шарик?

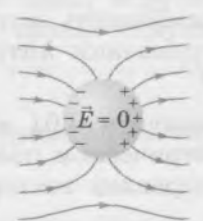
834. Шарик массой m , имеющий положительный заряд q , падает с высоты h на горизонтально закреплённую отрицательно заряженную пластину, создающую электрическое поле с модулем напряжённости E . Чему равен модуль импульса, который шарик передаст пластине в результате абсолютно упругого удара?

Совет. Воспользуйтесь вторым законом Ньютона в импульсной форме. Учтите, что в результате абсолютно упругого удара скорость шарика изменяется только по направлению.

Проводники и диэлектрики в электрическом поле

Проводники в электрическом поле

При равновесии зарядов электрическое поле внутри проводника равно нулю

$$\vec{E} = 0$$


Сила взаимодействия двух точечных зарядов, погружённых в диэлектрик

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{\epsilon r^2}$$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

835. На рисунке 184 схематически показано, что металлический шар вносят в однородное электрическое поле. В каком направлении начнут двигаться свободные электроны в шаре — влево или вправо?

Совет. Заряд электрона отрицательный, а направление напряжённости поля совпадает с направлением силы, действующей на помещённый в поле пробный положительный заряд.

836. Маленький шарик с зарядом 20 нКл помещают в большой аквариум с дистиллированной водой. Чему будет равна напряжённость поля на расстоянии 25 см от центра шарика?

Совет. Воспользуйтесь выражением для напряжённости поля точечного заряда и используйте значение диэлектрической проницаемости воды.

Уменьшение напряжённости электрического поля в диэлектрике в ϵ раз приводит к тому, что во столько же раз уменьшается сила взаимодействия заряженных тел, погружённых в диэлектрик, поскольку взаимодействие заряженных тел осуществляется посредством электрического поля.

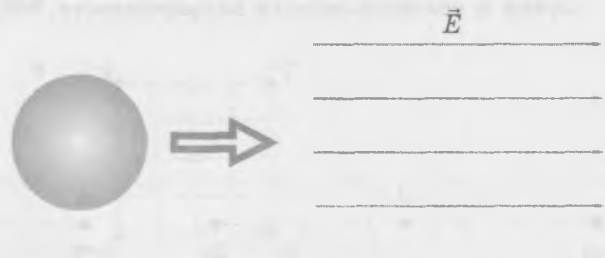


Рис. 184

837. Запишите выражение для модуля силы взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 , находящихся на расстоянии r друг от друга и погружённых в диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ .

Совет. Воспользуйтесь формулой закона Кулона.

838. Небольшие шарики с зарядом 30 нКл каждый погружены в некоторую жидкость и находятся на расстоянии 20 см друг от друга. Какая это может быть жидкость, если шарики отталкиваются с силами, равными 7,8 мкН?

Совет. Найдите, чему равна диэлектрическая проницаемость данной жидкости, и воспользуйтесь справочными данными.

839. На нитях одинаковой длины l подвешены в воздухе два шарика массой m каждый. Положительные заряды шариков равны q_1 и q_2 (рис. 185). Шарик находится в равновесии.

- Почему нити отклонились от вертикали?
- Одинаково ли отклоняются обе нити от вертикали?
- Сделайте чертёж и изобразите на нём все силы, действующие на каждый шарик.
- Запишите соотношение между действующими на один шарик силой тяжести, силой отталкивания со стороны другого шарика и углом α между нитью и вертикалью.
- Выразите расстояние r между шариками через l и α .
- Запишите соотношение, которое связывает m , l , α , q_1 и q_2 .
- Какие задачи можно поставить, используя это соотношение?

Совет. б) Воспользуйтесь третьим законом Ньютона. в) На каждый шарик действуют три силы: сила тяжести, сила натяжения нити и сила отталкивания со стороны другого шарика. г) Воспользуйтесь тем, что равнодействующая приложенных к шарiku сил равна нулю, когда он находится в равновесии.

840. Когда шарики (см. предыдущую задачу) погрузили в жидкий диэлектрик плотностью $\rho_{ж}$ с диэлектрической проницаемостью ϵ , угол между нитями *не изменился*. Плотность вещества, из которого изготовлены шарики, равна $\rho_{ш}$.

- Какие ещё физические явления надо учитывать в этой ситуации по сравнению с ситуацией, рассмотренной в предыдущей задаче?
- Выразите ϵ через $\rho_{ш}$ и $\rho_{ж}$.

Совет. б) Запишите условие равновесия для одного из шариков с учётом действующей на шарик силы Архимеда и того, что силы отталкивания уменьшились в ϵ раз.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

841. К состоящему из двух частей A и B незаряженному телу поднесли положительно заряженную палочку, как показано на рисунке 186. Части тела развели в стороны и после этого убрали палочку.

- Будут ли заряжены части, и если будут, то как, если тело изготовлено из проводника?
- Будут ли заряжены части, и если будут, то как, если тело изготовлено из диэлектрика?
- Как изменятся ответы, если палочка будет заряжена отрицательно?



Рис. 185

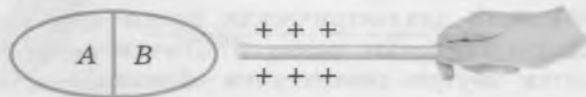


Рис. 186

842. К незаряженному шару, висящему на нити, поднесли такой же, но заряженный шарик на изолирующей подставке. Будет ли незаряженный шарик взаимодействовать с заряженным, и если да, то как: притягиваться или отталкиваться? Зависит ли результат от того, из чего изготовлены шарики: из проводника или из диэлектрика?

843. Как изменятся силы взаимодействия двух точечных зарядов после того, как их из воздуха перенесут в керосин, не изменяя расстояния между зарядами?

Совет. Напряжённость электрического поля, создаваемого точечным зарядом, в диэлектрике в ϵ раз меньше напряжённости поля, создаваемого этим же зарядом в вакууме. Воспользуйтесь таблицей «Диэлектрическая проницаемость» в справочных данных.

Повышенный уровень

844. Проводящему полому шару с толстыми стенками сообщили положительный заряд. На рисунке 187 показано сечение шара. В какой (каких) из областей A , B , C напряжённость электрического поля будет равна нулю? Изменится ли ответ, если шару сообщить отрицательный заряд?

845. Во сколько раз надо изменить расстояние между двумя точечными зарядами после того, как их перенесут из воздуха в дистиллированную воду, чтобы силы их электрического взаимодействия остались прежними?

846. Два одинаковых точечных заряда, находящихся в керосине, взаимодействуют с теми же по модулю силами, что и в случае, когда эти заряды находились в воздухе на расстоянии 20 см друг от друга. Чему равно расстояние между зарядами в керосине?

847. Чему равна диэлектрическая проницаемость жидкого диэлектрика, если заряд 8 нКл, помещённый в него, создаёт электрическое поле, напряжённость которого на расстоянии 5 см от заряда равна 4,8 кН/Кл?

848. Два точечных заряда взаимодействуют друг с другом в воздухе с силами 4 мН. Заряды помещают в парафин, уменьшив при этом расстояние между ними в 3 раза. С какими по модулю силами станут теперь взаимодействовать заряды?

849. В каком диэлектрике два точечных заряда, находящиеся на расстоянии 2 см друг от друга, будут взаимодействовать с силами, в 2,89 раз меньшими, чем силы взаимодействия этих же зарядов в воздухе, когда они находятся на расстоянии 6 см друг от друга?

Высокий уровень

850. Два одинаковых кусочка ваты лежат на пластинах: первый — на стеклянной, второй — на металлической. Объясните, почему второй кусочек ваты будет притягиваться к поднесённой к нему заряженной палочке сильнее, чем первый.

Совет. Напряжённость поля в области, в которой находится кусочек ваты, лежащий на металлической пластине, увеличивается вследствие перераспределения свободных зарядов в этой пластине.

851. Два одноимённо заряженных шарика соединены горизонтальной пружиной. Когда шарики находятся в воздухе, длина пружины равна 18 см, а когда шарики с пружиной погружены в керосин, длина пружины равна 16 см. Чему будет равна длина пружины, если её отсоединить от шариков?

Совет. Воспользуйтесь законами Кулона и Гука, а также тем, что силы взаимодействия шариков при погружении в керосин уменьшаются.

852. Проводящий шар радиусом 10 см с зарядом 6 нКл окружён сферической диэлектрической оболочкой радиусом 20 см. Чему равна напряжённость поля в точках A и B (рис. 188), если диэлектрическая проницаемость вещества оболочки равна 3? Точки A и B находятся внутри диэлектрика вблизи границ соответственно с заряженным шаром и с воздухом.

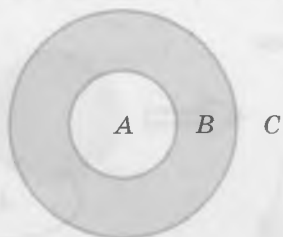


Рис. 187

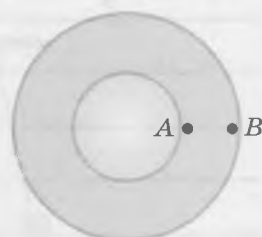
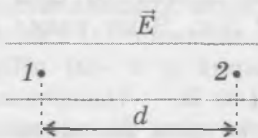


Рис. 188

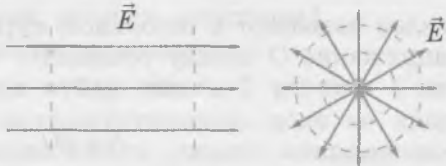
Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение)

Разность потенциалов (напряжение) $\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}$

В однородном поле $E = \frac{U}{d}$



Эквипотенциальные поверхности



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Работа поля при перемещении заряда

853. Положительный заряд движется вдоль линии напряжённости электрического поля, причём направление перемещения заряда совпадает с направлением вектора напряжённости. Каков *знак* работы поля по перемещению заряда? Изменится ли знак работы, если изменить знак заряда?

854. Отрицательный заряд перемещают перпендикулярно линиям напряжённости электрического поля. Чему равна работа поля по перемещению заряда?

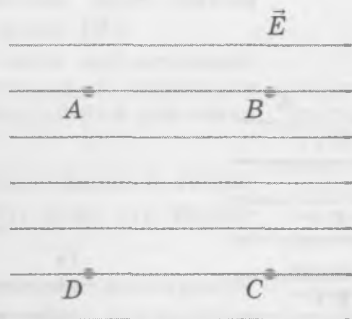
Совет. Воспользуйтесь формулой для работы $A = Fscos\alpha$, где α — угол между направлением силы и направлением перемещения.

855. Запишите выражения для работы поля по перемещению точечного заряда q по сторонам и диагоналям квадрата $ABCD$ в однородном электростатическом поле (рис. 189). Сторона квадрата равна a , модуль напряжённости поля равен E . Сколько различных значений работы вы получили?

Совет. Воспользуйтесь формулой $\vec{F} = q\vec{E}$ и выражением для работы силы.

856. Чему равна работа поля по перемещению заряда по *замкнутой* траектории, состоящей из четырёх сторон квадрата?

857. На рисунке 190 изображены линии напряжённости некоторого электростатического поля. Одинаковую ли работу совершает поле при перемещении заряда из точки 1 в точку 2 по траекториям a и b ?



Разность потенциалов (напряжение)

858. Положительный заряд перемещается в направлении линии напряжённости электростатического поля. Какой знак имеет работа поля? Как изменяется потенциальная энергия заряда — увеличивается или уменьшается?

Рис. 189

Рис. 190

859. На рисунке 191 показаны линии напряжённости электростатического поля и отмечено несколько точек. В начальный момент положительный заряд находится в точке M . Перенесите рисунок в тетрадь и обведите красным точки, в которых потенциальная энергия заряда была бы больше, чем в точке M , синим — точки, в которых потенциальная энергия заряда была бы меньше, чем в точке M , зелёным — точки, в которых потенциальная энергия заряда была бы равна потенциальной энергии заряда в точке M .

860. При перемещении заряда 10 нКл из точки 1 в точку 2 электростатическое поле совершило работу 10^{-6} Дж . Чему равна разность потенциалов между этими точками?

861. Отрицательный заряд $q = -50 \text{ нКл}$ перемещают из точки с потенциалом 300 В в точку с потенциалом 100 В .

- Каков знак работы поля по перемещению заряда?
- Чему равна работа поля?

Разность потенциалов называют в школьном курсе также *напряжением* и обозначают U . Если известно напряжение U между точками 1 и 2 , то работу поля A по перемещению заряда q из точки 1 в точку 2 можно найти по формуле

$$A = qU.$$

Соотношение между напряжением и напряжённостью для однородного поля

862. Докажите, что напряжение U между точками 1 и 2 (рис. 192) связано с модулем напряжённости поля E и расстоянием между этими точками соотношением

$$U = Ed.$$

Совет. Воспользуйтесь тем, что в данном случае работа поля $A = qEd$, а $U = \frac{A}{q}$.

863. Докажите, что $1 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$.

Совет. Воспользуйтесь тем, что $1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$, а $1 \text{ Н} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}}$.

864. Земля является огромным заряженным шаром. Напряжённость поля вблизи поверхности Земли направлена вертикально и составляет 130 В/м . Чему равно напряжение между точками, находящимися на одной вертикали на расстоянии 170 см друг от друга? Почему мы не ощущаем этого напряжения?

Эквипотенциальные поверхности

865. На рисунке 193 показаны линии напряжённости однородного электростатического поля. Пунктирной линией обозначена плоскость, перпендикулярная этим линиям. Чему равна разность потенциалов между любыми двумя точками, находящимися на этой плоскости?

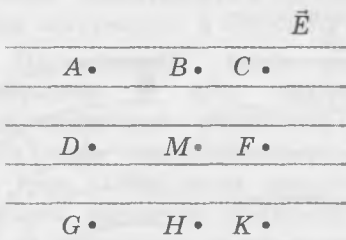


Рис. 191

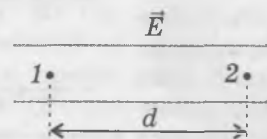


Рис. 192

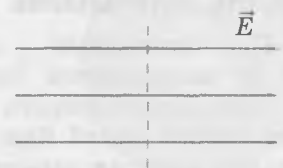


Рис. 193

866. Является ли эквипотенциальной поверхность проводника, если заряды на нём находятся в равновесии? Обоснуйте ваш ответ.

Совет. Если заряды на проводнике находятся в равновесии, напряжённость электрического поля внутри проводника равна нулю, а перенести заряд из одной точки поверхности проводника в любую другую точку его поверхности можно по траектории, лежащей внутри проводника.

Движение заряженной частицы в однородном электрическом поле

867. Электрон переместился в однородном электростатическом поле со скоростью, направленной *вдоль* линий напряжённости поля, из точки с потенциалом 700 В в точку с потенциалом 200 В.

- Увеличивается или уменьшается скорость электрона?
- Изменяется ли сумма потенциальной и кинетической энергий электрона?
- Чему равно изменение потенциальной энергии электрона?
- Чему равно изменение кинетической энергии электрона?
- Какова минимальная начальная скорость электрона?

Совет. а) Учтите знак заряда электрона.

868. Электрон влетает в однородное электростатическое поле со скоростью $8 \cdot 10^6$ м/с, направление которой совпадает с направлением линий напряжённости поля. Модуль напряжённости поля 10^4 В/м.

- Через какой промежуток времени электрон вернётся в начальную точку?
- Какой путь проделает электрон до возвращения в начальную точку?
- С какой скоростью электрон вернётся в начальную точку?

Совет. а) Найдите сначала ускорение электрона.

869. Заряженная частица с зарядом q и массой m влетает в однородное электростатическое поле с начальной скоростью v_0 , направленной перпендикулярно линиям напряжённости поля. Модуль напряжённости равен E .

- По какой траектории будет двигаться частица?
- Чему будет равен модуль a ускорения частицы?
- Чему будет равен модуль скорости частицы v через промежуток времени t ?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

870. Чему равна работа по перемещению заряда 10 мкКл в однородном электростатическом поле напряжённостью 2 кВ/м на расстояние 10 см, если:

- заряд перемещают *вдоль* линий напряжённости поля;
- заряд перемещают перпендикулярно линиям напряжённости поля?

Совет. Воспользуйтесь формулой для работы $A = Fscos\alpha$, где α — угол между направлением силы и направлением перемещения.

871. Сравните значения работы по перемещению протона из точки A в точки B , C , D в электростатическом поле, линии напряжённости которого изображены на рисунке 194.

Совет. Учтите, что работа электростатического поля при перемещении заряда из одной точки в другую зависит только от положения начальной и конечной точек и не зависит от траектории движения заряда.

872. Чему равен потенциал электростатического поля в точке, в которой находится точечный заряд 20 нКл, если его потенциальная энергия равна 40 мкДж?

873. Разность потенциалов между двумя точками электростатического поля равна 100 В. Какую работу надо совершить, чтобы переместить заряд 40 мкКл между этими точками?

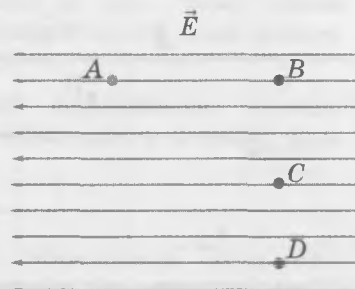


Рис. 194

Повышенный уровень

874. Точечный заряд 10 нКл переместили в однородном электростатическом поле, напряжённость которого 400 кВ/м . Вектор перемещения составляет угол 30° с вектором напряжённости, а модуль перемещения равен $0,2 \text{ м}$.

- Чему равна работа поля по перемещению заряда?
- Как при этом изменилась потенциальная энергия заряда?
- Потенциал какой точки выше — начальной или конечной? Насколько выше?

875. Точечный заряд 6 мкКл перемещают в однородном электростатическом поле напряжённостью 500 В/м из точки A в точку B (рис. 195). Чему равна работа электростатического поля по перемещению этого заряда?

876. Могут ли линии напряжённости электростатического поля иметь вид, показанный на рисунке 196? Обоснуйте свой ответ.

Совет. В таком поле работа поля по замкнутому контуру (например, вдоль прямоугольника, две стороны которого параллельны линиям напряжённости) не равна нулю.

877. Пылинка массой 20 мг находится в равновесии между двумя большими горизонтальными заряженными пластинами, разность потенциалов между которыми равна 50 В . Чему равно расстояние между пластинами, если заряд пылинки равен 1 мкКл ?

878. Шарик массой 10 г и зарядом 20 мкКл подвешен на нити между двумя горизонтальными непроводящими заряженными пластинами (рис. 197). Чему равна сила натяжения нити, если расстояние между пластинами равно 5 см , а напряжение между ними 80 В ?

879. Протон переместился на 20 см в однородном электростатическом поле со скоростью, направленной *вдоль* линий напряжённости поля. При этом его потенциальная энергия уменьшилась на $2 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$.

- Как при этом изменилась его кинетическая энергия?
- Чему равен модуль напряжённости поля?
- Изменились бы, и если да, то как, кинетическая и потенциальная энергии протона, если бы он двигался в противоположную сторону при прочих равных условиях?

Высокий уровень

880. Между двумя вертикальными пластинами на пружине жёсткостью 100 Н/м подвешен маленький шарик массой 3 г . Чему равен заряд шарика, если удлинение пружины $0,5 \text{ мм}$, напряжение между пластинами 5 кВ , а расстояние между ними 5 см ?

881. Шарик массой $0,3 \text{ г}$ с зарядом 6 нКл движется из состояния покоя в однородном горизонтальном электростатическом поле так, что его траектория образует с вертикалью угол 45° . Чему равен модуль напряжённости электростатического поля?

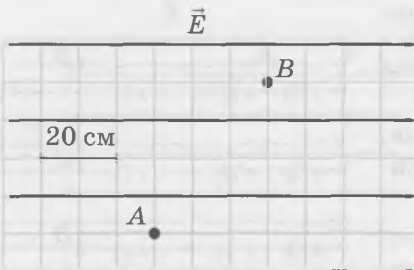


Рис. 195

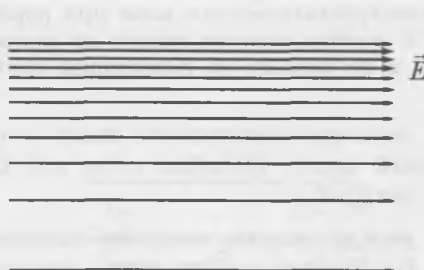


Рис. 196

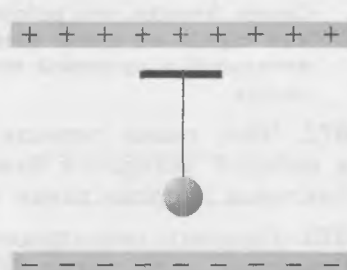



Рис. 197

882. Шарик массой m с зарядом $+q$, подвешенный на длинной нити, находится в вертикальном электростатическом поле, модуль напряжённости которого равен E , а вектор напряжённости направлен вниз. Нить отклоняют на 90° от вертикали и отпускают без толчка. Чему равен модуль силы натяжения нити, когда шарик проходит положение равновесия?

Електроёмкость. Энергия электрического поля

<p>Електроёмкость</p> $C = \frac{q}{U}$ <p>Энергия заряженного конденсатора</p> $W_p = \frac{qU}{2} \quad W_p = \frac{q^2}{2C} \quad W_p = \frac{CU^2}{2}$	<p>Плоский конденсатор</p>  $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$
---	--

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

883. Чему равна электроёмкость конденсатора, если при напряжении между обкладками, равном 200 В, заряд конденсатора равен 1 мКл?

884. Изменится ли электроёмкость конденсатора, и если да, то как, если:

- увеличить заряд конденсатора в 3 раза;
- уменьшить напряжение между обкладками в 10 раз?

Совет. Электроёмкость конденсатора не зависит ни от его заряда, ни от напряжения между его обкладками.

885. Найдите, как изменится электроёмкость плоского конденсатора, если:

- площадь каждой обкладки увеличить в 4 раза;
- расстояние между обкладками увеличить в 2 раза;
- заполнить всё пространство между обкладками диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 3$.

886. Расстояние между обкладками плоского конденсатора равно d . Докажите, что если напряжение между обкладками равно U , то напряжённость поля между обкладками конденсатора выражается формулой

$$E = \frac{U}{d}.$$

Совет. В пространстве между обкладками плоского конденсатора электрическое поле можно считать практически однородным.

887. Расстояние между обкладками плоского конденсатора равно 5 мм. Чему равен заряд конденсатора, если его электроёмкость равна 20 пФ, а напряжённость поля между обкладками равна 50 кВ/м?

888. Расстояние между двумя изолированными металлическими пластинами, заряды которых равны по модулю и имеют противоположные знаки, увеличили в 4 раза. Как изменились при этом:

- напряжённость поля между пластинами;
- напряжение между пластинами?

Совет. Данные пластины можно рассматривать как обкладки плоского конденсатора, заряд которого не изменяется. Воспользуйтесь тем, что поле между пластинами однородно, а также тем, что при неизменном заряде пластин напряжённость этого поля практически не зависит от расстояния между пластинами.

Энергия электрического поля

889. Изолированные обкладки заряженного конденсатора удаляют друг от друга. Как при этом изменится энергия конденсатора — увеличивается или уменьшается?

Совет. Разноимённо заряженные обкладки притягиваются друг к другу.

890. Докажите, что энергию заряженного конденсатора можно выразить формулами:

$$W_p = \frac{q^2}{2C}, \quad W_p = \frac{CU^2}{2}.$$

Совет. Воспользуйтесь формулой $C = \frac{q}{U}$.

Последние две формулы кажутся *противоречащими* друг другу: согласно первой формуле энергия заряженного конденсатора *обратно* пропорциональна его ёмкости, а согласно второй энергия заряженного конденсатора *прямо* пропорциональна его ёмкости.

Чтобы убедиться в том, что противоречия здесь нет, рассмотрим несколько примеров.

891. Обкладки заряженного конденсатора, *отключённого от источника тока*, удаляют друг от друга. Как при этом изменяются:

- заряд конденсатора;
- ёмкость конденсатора;
- напряжение между обкладками;
- энергия конденсатора?

892. Обкладки заряженного конденсатора, *отключённого от источника тока*, приближают друг к другу. Как при этом изменяются:

- заряд конденсатора;
- ёмкость конденсатора;
- напряжение между обкладками;
- энергия конденсатора?

893. Обкладки конденсатора, соединённые с полюсами источника *постоянного напряжения*, приближают друг к другу. Как при этом изменяются:

- напряжение между обкладками;
- ёмкость конденсатора;
- заряд конденсатора;
- энергия конденсатора?

д) Соответствует ли полученный вывод формуле $W_p = \frac{CU^2}{2}$?

894. Обкладки конденсатора, соединённые с полюсами источника *постоянного напряжения*, удаляют друг от друга. Как при этом изменяются:

- напряжение между обкладками;
- ёмкость конденсатора;
- энергия конденсатора?

г) Соответствует ли полученный вывод формуле $W_p = \frac{CU^2}{2}$?

Движение заряженной частицы в конденсаторе

895. Частица с зарядом q и массой m влетает в заряженный плоский конденсатор в точке, находящейся посередине между обкладками (рис. 198). Начальная скорость частицы равна по модулю v_0 и параллельна обкладкам. Расстояние между обкладками равно d , а напряжение между ними равно U . Длина каждой обкладки равна l .

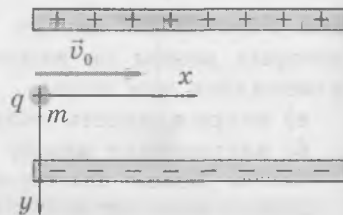


Рис. 198

- а) Запишите выражения для проекций ускорения частицы на показанные оси координат.
 б) Запишите выражения для проекций скорости частицы на те же оси координат.
 в) Запишите выражения для зависимости координат частицы от времени.
 г) При какой начальной скорости частица пролетит сквозь конденсатор, не попав на обкладку?

Совет. г) Частица не попадёт ни на одну из обкладок конденсатора, если за время пролёта сквозь весь конденсатор она сместится в направлении, перпендикулярном обкладкам, на расстояние, меньшее $\frac{d}{2}$. Время пролёта частицы сквозь весь конденсатор $t_{\text{прол}} = \frac{l}{v_0}$.

896. Частица с зарядом q и массой m влетает в заряженный плоский конденсатор с горизонтальными обкладками в точке, находящейся посередине между обкладками (рис. 198). Начальная скорость частицы равна по модулю v_0 и параллельна обкладкам, расстояние между которыми равно d , а напряжение равно U . Длина каждой обкладки равна l . Частица пролетает сквозь весь конденсатор и вылетает из него.

- а) Запишите выражение для тангенса угла α между скоростью частицы и горизонталью в тот момент, когда частица вылетает из конденсатора.
 б) Запишите выражение для модуля скорости частицы v в момент, когда она вылетает из конденсатора.

897. Точно посередине между обкладками конденсатора в начальный момент удерживают в покое шарик с зарядом q и массой m (рис. 199). Напряжение между обкладками U , а расстояние между ними d . Шарик отпускают, и через некоторый промежуток времени он сталкивается с одной из обкладок.

- а) По какой траектории движется шарик между обкладками?
 б) Запишите выражение для проекции ускорения шарика на показанную на рисунке ось x .
 в) Запишите выражение для модуля ускорения шарика.
 г) Запишите выражение для времени t движения шарика до столкновения с обкладкой.

Совет. а) Учтите, что начальная скорость шарика равна нулю.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

898. На какой конденсатор надо подать большее напряжение: на конденсатор ёмкостью 200 пФ или на конденсатор ёмкостью 600 пФ, чтобы заряды конденсаторов стали равными? Во сколько раз большее?

Совет. Воспользуйтесь выражением для ёмкости.

899. На каком конденсаторе будет больший заряд при подключении к одному и тому же источнику напряжения: на конденсаторе ёмкостью 200 пФ или на конденсаторе ёмкостью 600 пФ? Во сколько раз больший?

Совет. Воспользуйтесь выражением для ёмкости.

900. Конденсатор ёмкостью 30 мкФ зарядили до напряжения 40 В. Насколько изменится заряд конденсатора, если напряжение увеличат до 50 В?

Совет. Ёмкость конденсатора не зависит ни от его заряда, ни от напряжения между его обкладками.

901. Конденсатор зарядили до напряжения 400 В и отключили от источника напряжения. Чему будет равно напряжение на обкладках конденсатора, если после этого расстояние между пластинами увеличить с 0,1 мм до 0,5 мм?

Совет. Учтите, что заряд конденсатора, отключённого от источника напряжения, не изменяется.

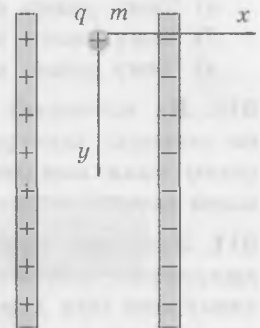


Рис. 199

902. Чему равен заряд конденсатора, если напряжение на его обкладках 30 В, а энергия его электрического поля 6 мкДж?

903. Чему равна ёмкость конденсатора, если напряжение на его обкладках 50 В, а энергия его электрического поля 0,5 мкДж?

904. Какая энергия выделится, если соединить пластины конденсатора ёмкостью 1 мкФ, заряженного до напряжения 100 В?

Повышенный уровень

905. Чему равна ёмкость плоского воздушного конденсатора с квадратными пластинами со стороной 10 см, расположенными на расстоянии 1 мм друг от друга?

906. Заряд плоского воздушного конденсатора увеличили в 3 раза, а пространство между пластинами заполнили диэлектриком с диэлектрической проницаемостью, равной 6. Увеличилась или уменьшилась энергия электрического поля конденсатора? Во сколько раз?

907. Конденсатор отключают от источника тока, а затем удаляют заполнявший конденсатор диэлектрик и увеличивают расстояние между пластинами в 2 раза. При этом энергия конденсатора увеличилась в 12 раз. Чему равна диэлектрическая проницаемость диэлектрика?

908. В пространство между обкладками плоского воздушного конденсатора влетает электрон с начальной скоростью $5 \cdot 10^7$ м/с, направленной параллельно обкладкам, на расстоянии 5 мм от каждой из них. Длина каждой обкладки 10 см.

- Какой должна быть разность потенциалов между обкладками конденсатора, чтобы электрон не смог пролететь сквозь весь конденсатор?
- На какую из обкладок попадёт электрон в этом случае?
- На каком расстоянии от положительно заряженной обкладки будет находиться электрон при вылете из конденсатора, если разность потенциалов между его обкладками будет равна 100 В?
- Чему будет равен тангенс угла между скоростью электрона и горизонталью в момент его вылета из конденсатора при разности потенциалов между его обкладками 100 В?
- Изменится ли потенциальная энергия электрона за время его движения в конденсаторе? Если да, то как: увеличится или уменьшится?
- Изменится ли кинетическая энергия электрона за время движения в конденсаторе? Если да, то как: увеличится или уменьшится?

Высокий уровень

909. Маленький заряженный шарик массой 0,2 г с зарядом 30 нКл подвешен на нити между вертикальными обкладками воздушного конденсатора, расстояние между которыми 5 см. Когда шарик находится в равновесии, нить отклонена на угол 30° от вертикали.

- Чему равна сила, действующая на шарик со стороны электрического поля?
- Чему равен модуль напряжённости электрического поля в конденсаторе?
- Чему равно напряжение на конденсаторе?

910. На точечный заряд 1 нКл, помещённый между пластинами плоского конденсатора, со стороны электрического поля действует сила 30 мкН. Чему равна энергия электрического поля конденсатора, если его ёмкость 100 пФ, а расстояние между обкладками конденсатора 1 см?

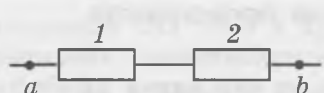

911. Электрон влетел в вертикально направленное однородное электрическое поле перпендикулярно линиям напряжённости. Во сколько раз увеличилась кинетическая энергия электрона при движении в электрическом поле, если в момент вылета из поля направление его скорости составляет угол 60° с направлением начальной скорости?

Совет. В данном случае модуль скорости электрона увеличился в 2 раза.

912. Электрон влетает в плоский конденсатор с начальной скоростью v_0 параллельно пластинам, расстояние между которыми равно d (рис. 200). Чему равно напряжение между пластинами конденсатора, если за время пролёта сквозь конденсатор вектор скорости электрона отклоняется от первоначального направления на угол α ? Длина пластин конденсатора L , причём $L \gg d$.

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Закон Ома для участка цепи

<p>Закон Ома для участка цепи</p> $I = \frac{U}{R}$	<p>Сопротивление провода</p> $R = \rho \frac{l}{S}$
<p>Последовательное соединение</p>  $I = I_1 = I_2$ $U = U_1 + U_2$ $R = R_1 + R_2$	<p>Параллельное соединение</p>  $I = I_1 + I_2$ $U = U_1 = U_2$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Сила тока

913. На рисунке 201 схематически изображено направление движения носителей заряда в металлах и направление электрического тока. Объясните, почему эти направления противоположны.

914. В чём проявляется *тепловое* действие электрического тока?

915. В чём проявляется *химическое* действие электрического тока?

916. В чём проявляется *магнитное* действие электрического тока?

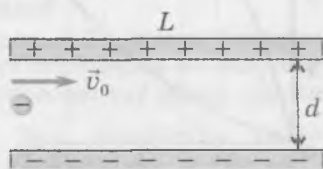


Рис. 200



Рис. 201

Закон Ома для участка цепи

917. На рисунке 202 изображены графики зависимости $I(U)$ для двух различных проводников.

- Сопrotивление какого проводника больше?
- Чему равны сопротивления проводников?

Совет. а) Сравните силу тока в проводниках при одном и том же напряжении и воспользуйтесь законом Ома для участка цепи. б) Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи.

Зависимость силы тока I в проводнике от напряжения U на его концах называют *вольтамперной характеристикой проводника*.

918. Почему провода обычно медные или алюминиевые?

919. Масса медного провода длиной 10 м равна 89 г. Плотность меди равна $8,9 \cdot 10^3$ кг/м³.

- Найдите площадь поперечного сечения провода.
- Найдите сопротивление провода.

Совет. а) Объём меди равен произведению длины провода на площадь поперечного сечения.

920. На рисунке 203 приведены примеры графиков вольтамперной характеристики металлического провода и электролита. Какой цифрой отмечен график, который соответствует вольтамперной характеристике металлического провода?

Совет. При увеличении силы тока любой проводник нагревается, а при нагревании сопротивление металлов увеличивается.

Последовательное и параллельное соединение проводников

921. Может ли сопротивление нескольких последовательно соединённых проводников быть равным 10 Ом, если сопротивление одного из них равно 12 Ом?

Совет. Из формулы для общего сопротивления нескольких последовательно соединённых проводников следует, что общее сопротивление цепи *больше* сопротивления любого из проводников.

922. Найдите выражение для общего сопротивления n одинаковых последовательно соединённых проводников сопротивлением r каждый.

923. Проводники сопротивлениями $R_1 = 1$ Ом и $R_2 = 3$ Ом соединены последовательно. На участке цепи, состоящем из этих проводников, напряжение $U = 40$ В.

- Чему равно отношение напряжений на проводниках $\frac{U_1}{U_2}$?
- Чему равны напряжения на проводниках?

Совет. а) Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи и тем, что при последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова.

Обратите внимание: при последовательном соединении проводников большее напряжение будет на проводнике с большим сопротивлением.

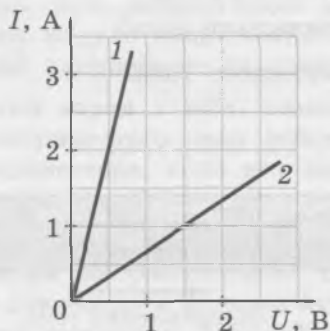


Рис. 202

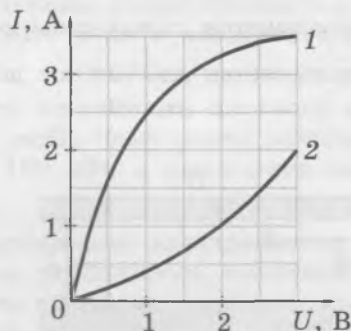


Рис. 203

924. Участок цепи состоит из двух последовательно соединённых проводников. Напряжение на всём участке 12 В, напряжение на первом проводнике 4 В, а сила тока во втором проводнике 2 А.

- Каково напряжение на втором проводнике?
- Чему равна сила тока в каждом проводнике?
- Чему равно сопротивление каждого проводника?

Совет. б) Воспользуйтесь тем, что при последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова.

925. Может ли сопротивление нескольких параллельно соединённых проводников быть равным 12 Ом, если сопротивление одного из них равно 10 Ом?

Совет. Из формулы для общего сопротивления нескольких параллельно соединённых проводников

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$
 следует, что общее сопротивление R цепи *меньше* сопротивления любого из

проводников. Например, из этой формулы следует, что $\frac{1}{R} > \frac{1}{R_1}$, откуда получаем: $R < R_1$.

926. Найдите выражение для общего сопротивления n одинаковых параллельно соединённых проводников сопротивлением r каждый.

927. Проводники сопротивлением $R_1 = 1$ Ом и $R_2 = 3$ Ом соединены параллельно. Во всём участке цепи, состоящем из этих проводников, сила тока $I = 4$ А.

- Чему равно отношение сил тока в проводниках $\frac{I_1}{I_2}$?
- Чему равна сила тока в каждом проводнике?

Совет. а) Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи и тем, что при параллельном соединении проводников напряжение на них одинаково.

Обратите внимание: *при параллельном соединении проводников сила тока больше в проводнике с меньшим сопротивлением.*

928. Сила тока в участке цепи, состоящем из двух проводников, равна 3 А. При этом сила тока в первом проводнике равна 1 А, а напряжение на втором проводнике равно 6 В.

- Как соединены эти проводники — последовательно или параллельно?
- Чему равна сила тока во втором проводнике?
- Чему равно сопротивление каждого проводника?

Совет. а) Если бы проводники были соединены последовательно, сила тока в каждом проводнике была бы равна силе тока во всём участке цепи.

929. Когда два проводника соединили *параллельно* и включили ток, оказалось, что сила тока в проводниках одинакова. Затем эти же проводники соединили *последовательно* и измерили напряжение на каждом из них. Оказалось ли оно одинаковым для обоих проводников?

Совет. Если сила тока в параллельно соединённых проводниках одинакова, то сопротивления этих проводников равны.

930. Когда два проводника соединили *параллельно*, сила тока в первом проводнике оказалась равной 2 А, а во втором — 6 А. Затем эти же проводники соединили *последовательно* и подключили к источнику напряжения 20 В. Чему равно напряжение на каждом проводнике?

Совет. Воспользуйтесь тем, что при параллельном соединении проводников отношение сил тока в них *обратно* отношению их сопротивлений, а при последовательном соединении отношение напряжений на проводниках *равно* отношению их сопротивлений.

931. Почему для измерения силы тока в проводнике *амперметр* надо подключать к этому проводнику *последовательно* (рис. 204)?



Рис. 204

932. Почему для измерения напряжения на концах проводника *вольтметр* надо подключать к этому проводнику *параллельно* (рис. 205)?

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

933. Чему равна сила тока в проводнике, если через его поперечное сечение за 7 мин проходит $4 \cdot 10^{20}$ электронов?

934. Чему равна длина никелиновой проволоки сопротивлением 11 Ом, если площадь поперечного сечения проволоки равна $0,5 \text{ мм}^2$?

935. Изменится ли, и если изменится, то как, сила тока, протекающего через алюминиевый провод при постоянной температуре, если:

- длину провода уменьшить в 2 раза, а напряжение на его концах увеличить в 2 раза;
- длину провода уменьшить в 1,5 раза, а напряжение на его концах уменьшить в 3 раза;
- длину провода уменьшить в 2 раза, а напряжение на его концах уменьшить в 2 раза?

936. Обмотка реостата изготовлена из никелиновой проволоки длиной 25 м и площадью поперечного сечения 1 мм^2 . Чему равна сила тока в реостате, если напряжение на его зажимах равно 42 В?

937. Сила тока в стальном проводнике длиной 3 м и площадью поперечного сечения $0,2 \text{ мм}^2$ равна 0,5 А. Чему равно напряжение на его концах?

938. Чему равна сила тока в каждой из 44 одинаковых ламп, соединённых последовательно и включённых в сеть напряжением 220 В, если сопротивление одной лампы равно 50 Ом?

Совет. Учтите, что при последовательном соединении проводников сила тока равна силе тока в каждом проводнике, а сопротивление участка цепи равно сумме сопротивлений каждого из проводников.

939. Общее сопротивление какого числа параллельно соединённых одинаковых резисторов, сопротивлением 80 Ом каждый, равно 4 Ом?

940. Чему равна сила тока в гирлянде, состоящей из 20 одинаковых соединённых параллельно лампочек сопротивлением 1,1 кОм каждая, если гирлянда подключена к источнику напряжения 220 В?

Повышенный уровень

941. Начертите схемы всех возможных соединений трёх резисторов сопротивлением 30 Ом каждый и найдите сопротивление для каждой схемы.

942. Сопротивления резисторов, изображённых на рисунке 206, равны $R_1 = 8 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 30 \text{ Ом}$. Напряжение между точками *a* и *b* равно 4 В. Чему равно напряжение на втором и третьем резисторах?

943. Сопротивления резисторов, изображённых на рисунке 207, равны $R_1 = 12 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_3 = 30 \text{ Ом}$. Сила тока в первом резисторе равна 5 А. Чему равно напряжение на каждом из резисторов и напряжение на концах участка цепи?

Совет. Определите тип соединения резисторов.

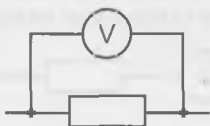


Рис. 205

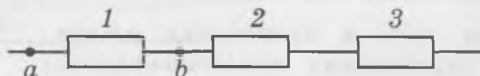


Рис. 206

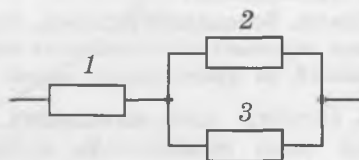


Рис. 207

944. Сила тока в каждом из двух резисторов равна 2 А. Можно ли утверждать, что они соединены последовательно? Если нет, то что можно сказать об этих резисторах? Поясните свой ответ рисунком.

Совет. Резисторы могут быть соединены и параллельно.

945. На рисунке 208 изображены графики зависимости сопротивления от длины для двух проводов, изготовленных из одинакового материала. Диаметр какого провода больше? Во сколько раз?

946. Чему равна длина медной проволоки массой 300 г, если сопротивление проволоки равно 57 Ом?

947. Напряжение на концах стальной спирали увеличили в 2 раза. Можно ли утверждать, что сила тока в спирали увеличилась при этом тоже в 2 раза? Обоснуйте свой ответ.

Совет. Учтите зависимость сопротивления металлического проводника от температуры.

948. Стальную проволоку длиной 3 м и площадью поперечного сечения $0,5 \text{ мм}^2$ соединили последовательно с никелиновой проволокой длиной 5 м и площадью поперечного сечения $0,25 \text{ мм}^2$. Поставьте по этой ситуации три вопроса и найдите ответы на них.

949. Три последовательно соединённых резистора подключили к источнику напряжения 30 В. Сопротивления резисторов $R_1 = 6 \text{ Ом}$, $R_2 = 14 \text{ Ом}$, напряжение на концах третьего резистора $U_3 = 20 \text{ В}$.

- Чему равна сила тока в цепи?
- Чему равны напряжения на первом и втором резисторах?
- Чему равно сопротивление третьего резистора?

Совет. Найдите силу тока в последовательно соединённых первом и втором резисторах и учтите, что общая сила тока в участке цепи равна силе тока в каждом проводнике.

Высокий уровень

950. Электрическая лампа сопротивлением 240 Ом рассчитана на напряжение 120 В. Какой длины нихромовый провод надо подключить последовательно с лампой к источнику напряжения 220 В, чтобы лампа горела нормальным накалом? Площадь поперечного сечения нихромового провода равна $0,55 \text{ мм}^2$.

951. К кольцу сопротивлением R подключают провода, как показано на рисунке 209. Поставьте три вопроса по этой ситуации и найдите ответы на них.

952. Перенесите рисунки 210, $a-g$ в тетрадь. Сопротивление каждого резистора 1 Ом, а напряжение на всей цепи 4 В. Возле каждой схемы напишите, чему равно соответствующее ей общее сопротивление. Напишите рядом с обозначением каждого резистора силу тока в нём и напряжение на нём.

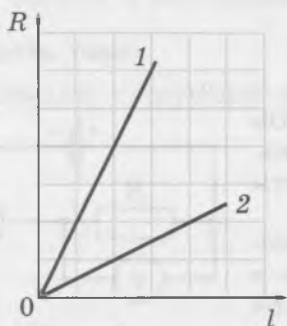


Рис. 208

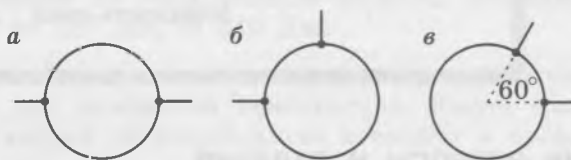


Рис. 209

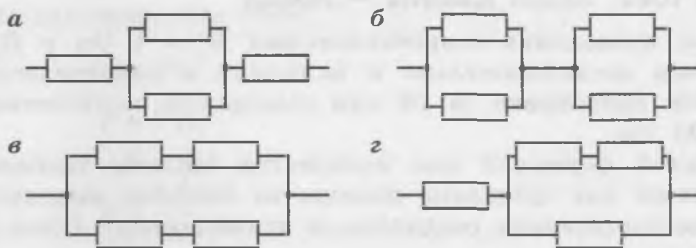


Рис. 210

953. Чему равны сопротивления двух резисторов, если при их последовательном соединении общее сопротивление равно 10 Ом, а при параллельном соединении — 1,6 Ом?

Совет. Составьте и решите систему двух уравнений с двумя неизвестными.

954. Резистор сопротивлением 4 Ом подключают к источнику постоянного напряжения: один раз последовательно с резистором неизвестного сопротивления, а другой раз — параллельно с ним. Сила тока в одном из опытов в 6,25 раза больше, чем в другом. При каком соединении резисторов сила тока в цепи больше? Чему равно сопротивление второго резистора?

Совет. В этой задаче больше одного ответа.

955. Чему равна напряжённость электрического поля в прямолинейном алюминиевом проводе площадью поперечного сечения $1,4 \text{ мм}^2$, если сила тока в нём равна 2 А? Электрическое поле внутри проводника считайте однородным.

Совет. Воспользуйтесь соотношением, связывающим напряжение на концах участка цепи и напряжённость однородного электрического поля на этом участке, законом Ома для участка цепи и выражением для сопротивления металлического проводника.

956. Последовательно соединённые резисторы 1 и 2 подключены к источнику постоянного напряжения. После того, как параллельно резистору 1 подключили резистор 3, напряжение на резисторе 1 уменьшилось в 3 раза, а сила тока в резисторе 2 увеличилась в 3 раза. Чему равно отношение сопротивлений резисторов 1 и 2?

957. На рисунке 211 изображена схема цепи для измерения сопротивления резистора R . Чему равно сопротивление резистора, если показания амперметра 0,5 А, показания вольтметра 120 В, а сопротивление вольтметра 3 кОм?

Совет. Найдите общее сопротивление и воспользуйтесь законом Ома для участка цепи.

Работа и мощность тока

Работа тока $A = IUt$

Закон Джоуля — Ленца $Q = I^2Rt$

Мощность тока $P = IU$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

Работа тока. Закон Джоуля — Ленца

958. Два проводника сопротивлениями $R_1 = 1 \text{ Ом}$ и $R_2 = 4 \text{ Ом}$ соединены *последовательно* и включены в электрическую цепь. В первом проводнике за 10 мин выделилось количество теплоты $Q_1 = 600 \text{ Дж}$.

- а) Какой формулой для количества теплоты удобнее пользоваться для сравнения количества теплоты, выделившегося в последовательно соединённых проводниках? Обоснуйте свой ответ.

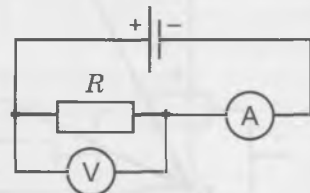


Рис. 211

- б) Какое количество теплоты выделилось за то же время во втором проводнике?
в) Чему равна сила тока в каждом проводнике?

Совет. а) В последовательно соединённых проводниках сила тока одинакова. в) Воспользуйтесь законом Джоуля — Ленца.

Обратите внимание: при *последовательном* соединении проводников большее количество теплоты выделяется в проводнике, сопротивление которого *больше*.

959. Два проводника соединены последовательно. Напряжение на первом проводнике равно 10 В, а на втором — 20 В. В каком проводнике выделится большее количество теплоты за одно и то же время? Во сколько раз?

Совет. Сравните сопротивления проводников.

960. Два проводника сопротивлениями $R_1 = 1$ Ом и $R_2 = 4$ Ом соединены *параллельно* и включены в электрическую цепь. В первом проводнике за 10 мин выделилось количество теплоты $Q_1 = 600$ Дж.

- а) Какой из трёх формул для количества теплоты удобнее пользоваться для сравнения количества теплоты, выделившегося в параллельно соединённых проводниках? Обоснуйте свой ответ.
б) Какое количество теплоты выделилось за то же время во втором проводнике?
в) Чему равно напряжение на каждом проводнике?

Совет. а) На параллельно соединённых проводниках напряжение одинаково. в) Воспользуйтесь

формулой $Q = \frac{U^2}{R}t$.

Обратите внимание: при *параллельном* соединении проводников большее количество теплоты выделяется в проводнике, сопротивление которого *меньше*.

961. Два проводника соединены параллельно. Сила тока в первом проводнике равна 1 А, а во втором — 0,5 А. В каком проводнике выделится большее количество теплоты за одно и то же время? Во сколько раз?

962. Участок цепи состоит из двух проводников и подключён к источнику тока. За некоторое время в проводниках выделилось количество теплоты $Q_1 = 300$ Дж, $Q_2 = 1,2$ кДж. Чему равно отношение сопротивлений проводников, если они соединены: а) параллельно; б) последовательно?

963. Имеются два проводника сопротивлением $R_1 = 1$ Ом и $R_2 = 2$ Ом, источник напряжения на 6 В и таймер на 10 с. Поставьте по этим данным вопросы, ответами на которые являются: а) 360 Дж; б) 180 Дж; в) 120 Дж; г) 540 Дж.

964. Нагревательный элемент электрочайника сильно нагревается, а последовательно соединённые с ним провода остаются при комнатной температуре. Какой вывод отсюда можно сделать о соотношении сопротивлений нагревательного элемента и проводов?

Мощность тока

965. Выведите следующие формулы для мощности тока:

$$P = IU,$$

$$P = I^2R,$$

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

966. Два проводника сопротивлениями $R_1 = 1$ Ом и $R_2 = 4$ Ом соединены *последовательно* и включены в электрическую цепь. В первом проводнике мощность тока $P_1 = 9$ Вт.

- Какой из трёх формул для мощности тока удобнее пользоваться для сравнения значений мощности в последовательно соединённых проводниках? Обоснуйте свой ответ.
- Чему равна мощность тока во втором проводнике?
- Чему равна сила тока в каждом проводнике?

Совет. а) В последовательно соединённых проводниках силы тока одинаковы.

Обратите внимание: при *последовательном* соединении проводников мощность тока больше в проводнике, сопротивление которого *больше*.

967. Два проводника соединены последовательно. Напряжение на первом проводнике равно 12 В, а на втором — 6 В. В каком проводнике мощность тока больше? Во сколько раз?

968. Два проводника сопротивлениями $R_1 = 1$ Ом и $R_2 = 4$ Ом соединены *параллельно* и включены в электрическую цепь. В первом проводнике мощность тока $P_1 = 64$ Вт.

- Какой из трёх формул для мощности тока удобнее пользоваться для сравнения значений мощности в параллельно соединённых проводниках? Обоснуйте свой ответ.
- Чему равна мощность тока во втором проводнике?
- Чему равно напряжение на каждом проводнике?

Совет. а) На параллельно соединённых проводниках напряжения равны.

Обратите внимание: при *параллельном* соединении мощность тока больше в проводнике, сопротивление которого *меньше*.

969. Два проводника соединены параллельно. Сила тока в первом проводнике равна 6 А, а во втором — 2 А. В каком проводнике мощность тока больше? Во сколько раз?

970. Имеются два проводника сопротивлением $R_1 = 1$ Ом и $R_2 = 2$ Ом, а также источник напряжения на 6 В. Поставьте по этим данным вопросы, ответами на которые являются:
а) 36 Вт; б) 18 Вт; в) 12 Вт; г) 54 Вт.

971. На электрочайнике указано, что он рассчитан на напряжение 220 В и его мощность равна 2 кВт.

- Чему равно сопротивление нагревательного элемента в рабочем режиме?
- Чему равна сила тока в чайнике в рабочем режиме?
- За какое время нагрелся бы в чайнике 1 л воды от 20 °С до кипения, если бы теплообменом с окружающим воздухом и другими предметами можно было пренебречь?

972. Два нагревательных элемента имеют сопротивления R_1 и R_2 . Напряжение в сети равно U . Как надо их соединить, чтобы общая мощность тока была максимальной? минимальной (но не равной нулю)? Запишите выражения для этих значений мощности.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

973. Какую работу совершает ток при прохождении через резистор в течение 10 мин, если напряжение на резисторе 20 В, а сила тока в нём 5 А?

974. В резисторе сопротивлением 5 Ом за 2 мин выделилось количество теплоты, равное 5,4 кДж. Чему была равна сила тока в резисторе?

975. Чему равен заряд, который проходит через резистор сопротивлением 20 Ом за 10 мин, если за это время в нём выделяется количество теплоты, равное 120 Дж?

Совет. Воспользуйтесь законом Джоуля — Ленца и тем, что сила тока $I = \frac{q}{t}$.

976. Проводники сопротивлениями 300 Ом и 100 Ом соединены последовательно и подключены к источнику постоянного напряжения. В первом проводнике за некоторое время выделилось количество теплоты, равное 21 кДж. Какое количество теплоты выделится во втором проводнике за это же время?

Совет. Для сравнения количества теплоты, выделившегося в последовательно соединённых проводниках, удобнее использовать формулу $Q = I^2Rt$.

977. Проводники сопротивлениями 300 Ом и 100 Ом соединены параллельно и подключены к источнику постоянного напряжения. В первом проводнике за некоторое время выделилось количество теплоты, равное 21 кДж. Какое количество теплоты выделится во втором проводнике за это же время?

Совет. Для сравнения количества теплоты, выделившегося в параллельно соединённых проводниках, удобнее использовать формулу $Q = \frac{U^2}{R}t$.

978. Какую мощность потребляет лампочка карманного фонаря, если напряжение на лампочке равно 3,5 В, а сила тока в ней равна 0,2 А?

979. Какое количество теплоты выделяется в лампочке мощностью 100 Вт за 10 мин, если её рабочее сопротивление равно 484 Ом?

Совет. В задаче есть лишнее данное.

980. По графику зависимости силы тока в резисторе от напряжения на нём (рис. 212) определите:

- чему равно сопротивление резистора;
- чему равна мощность тока в резисторе, если сила тока в нём равна 6 А.

Постройте в тетради график зависимости мощности тока в резисторе от напряжения на нём.

Повышенный уровень

981. Два соединённых последовательно резистора сопротивлениями 20 Ом и 40 Ом подключены к источнику постоянного напряжения 120 В. Чему равна мощность тока в каждом резисторе?

982. Электроплита, рассчитанная на напряжение 220 В, содержит два нагревательных элемента сопротивлением 100 Ом каждый. С помощью переключателя можно включать как один, так и оба нагревательных элемента. Чему равна мощность электроплитки в случае, если:

- включён один нагревательный элемент;
- последовательно включены два нагревательных элемента;
- параллельно включены два нагревательных элемента?

983. Электронагревателем, включённым в сеть с напряжением 220 В, можно нагреть 4 л воды на 40 °С за 10 мин. Нагревательный элемент изготовлен из никелиновой проволоки длиной 36 м и площадью поперечного сечения 0,5 мм². Чему равен КПД нагревателя?

984. Сколько электронов прошло через поперечное сечение проводника за время, в течение которого количество теплоты, выделившееся в проводнике, составило 4 кДж? Напряжение на проводнике равно 50 В.

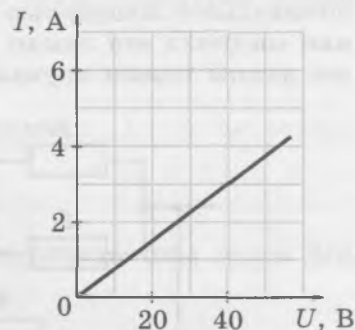


Рис. 212

985. Четыре одинаковых резистора соединены так, как показано на рисунке 213, и подключены к источнику постоянного напряжения. Зависимостью сопротивления резистора от температуры можно пренебречь.

- На каком из резисторов (или на каких резисторах) напряжение наибольшее? наименьшее?
- В каком из резисторов (или в каких резисторах) сила тока наибольшая? наименьшая?
- В каком из резисторов (или в каких резисторах) мощность тока наибольшая? наименьшая?
- Как изменится мощность тока в каждом из резисторов, если заменить резистор 1 соединительным проводом с пренебрежимо малым сопротивлением?
- Как изменится мощность тока в каждом из резисторов, если убрать из цепи резистор 1, оставив на его месте разрыв?

Высокий уровень

986. Чему равно отношение количеств теплоты $\frac{Q_2}{Q_3}$, выделившихся за одинаковое время на резисторах 2 и 3, если сопротивления $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 3 \text{ Ом}$, $R_4 = 5 \text{ Ом}$ (рис. 214)?

987. На сколько процентов увеличится мощность тока в проводе, если уменьшить длину провода на 25 % при том же напряжении на концах провода?

Совет. При постоянном напряжении выделяемая мощность обратно пропорциональна сопротивлению резистора.

988. Суммарная мощность тока в двух последовательно соединённых резисторах, подключённых к источнику тока с напряжением 100 В, равна 40 Вт. Если эти же два резистора соединить параллельно и подключить к тому же источнику, суммарная мощность тока в них будет равна 250 Вт. Чему равны сопротивления резисторов?

Совет. Запишите выражения для мощности тока при последовательном и параллельном соединениях резисторов. Решите систему двух уравнений с двумя неизвестными — сопротивлениями резисторов.

989. К источнику постоянного тока с напряжением 2 В подключают концы медного теплоизолированного провода длиной 10 м. За какой промежуток времени температура провода увеличится на 10 °С, если изменением сопротивления проводника при нагревании можно пренебречь?

990. В приборе для нагревания воды есть два нагревательных элемента. Если включить только первый элемент, вода закипит через 20 мин, а если только второй — через 30 мин. Через сколько времени закипит вода, если подключить оба элемента последовательно? параллельно? Считайте, что тепловыми потерями можно пренебречь. Масса и начальная температура воды во всех случаях одинаковы.

Совет. Время закипания обратно пропорционально мощности тока.

991. Имеются три электрические лампы номинальной мощностью по 4 Вт и две лампы номинальной мощностью по 6 Вт. Каждая из ламп рассчитана на напряжение 9 В. Ученик соединил эти лампы так, что при подключении к источнику тока напряжением 18 В все лампы горели нормальным накалом. Начертите схему такого соединения.

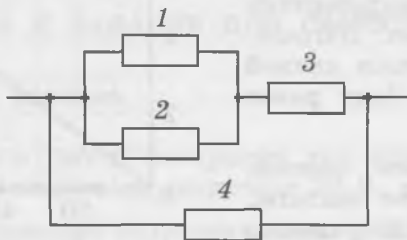


Рис. 213

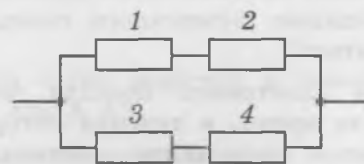
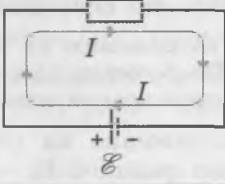


Рис. 214

Закон Ома для полной цепи

<p>Источник тока</p>		$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{стор}}}{q}$
Закон Ома для полной цепи		$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$
Напряжение на полюсах источника тока		$U = \mathcal{E} - Ir$
Сила тока при коротком замыкании		$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

992. ЭДС источника тока 24 В, а его внутреннее сопротивление равно 4 Ом.

- Выберите сами два различных значения сопротивления внешней цепи R и найдите силу тока в цепи при этих значениях.
- При каком сопротивлении внешней цепи сила тока в цепи максимальна? Чему она при этом равна?

993. Ученик решил измерить ЭДС источника тока \mathcal{E} и его внутреннее сопротивление r . Для этого он измерил значения силы тока I_1 и I_2 при двух известных значениях сопротивления внешней цепи R_1 и R_2 . В результате он получил систему двух уравнений с двумя неизвестными: \mathcal{E} и r .

- Запишите эту систему уравнений.
- Выразите внутреннее сопротивление r через R_1 , R_2 , I_1 , I_2 .
- Выразите ЭДС источника \mathcal{E} через R_1 , R_2 , I_1 , I_2 .

Совет. б) Удобно разделить одно уравнение на другое. в) Удобно переписать систему уравнений в

$$\text{виде } \begin{cases} R_1 + r = \frac{\mathcal{E}}{I_1}, \\ R_2 + r = \frac{\mathcal{E}}{I_2} \end{cases} \text{ и вычтись одно уравнение из другого.}$$

994. Если к источнику тока подключить резистор сопротивлением 2 Ом, то сила тока в цепи будет равна 1,5 А, а если последовательно соединить с этим резистором второй такой же, то сила тока в цепи станет равной 1 А.

- Чему равно внутреннее сопротивление источника?
- Чему равна ЭДС источника?

Напряжение U на полюсах источника тока выражается формулой

$$U = \mathcal{E} - Ir.$$

995. Докажите, что напряжение U на разомкнутых полюсах источника тока равно ЭДС этого источника.

Совет. Воспользуйтесь формулой $U = \mathcal{E} - Ir$.

Используя формулу $U = \mathcal{E} - Ir$, можно определить на опыте значение ЭДС источника \mathcal{E} и его внутреннее сопротивление r графически, не решая систему уравнений.

996. На рисунке 215 изображён полученный из опыта график зависимости напряжения U на полюсах источника от силы тока I в цепи.

- Чему равна ЭДС данного источника тока?
- Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

Совет. а) ЭДС источника тока равна напряжению на его полюсах, когда они разомкнуты. При этом сила тока в цепи равна нулю. б) Из формулы закона Ома для полной цепи следует, что наибольшая сила тока достигается при сопротивлении внешней цепи, равном нулю: $R = 0$.

997. При силе тока в цепи 2 А напряжение на полюсах источника равно 8 В, а при силе тока 4 А напряжение на полюсах равно 4 В.

- Нанесите по полученным данным точки в координатах (I, U) .
- Используя эти точки, постройте график зависимости $U(I)$.
- Найдите ЭДС источника тока и его внутреннее сопротивление.

998. Изображённый на рисунке 215 график зависимости напряжения U от силы тока I совершенно не похож на график прямой пропорциональности, который соответствует закону Ома для участка цепи: $U = IR$. Чем объясняется это отличие?

Соединение полюсов источника тока проводником с очень малым сопротивлением называют *коротким замыканием*. В этом случае можно считать, что сопротивление внешней цепи $R = 0$. Напряжение между полюсами источника тока при этом равно нулю.

999. Докажите, что сила тока короткого замыкания выражается формулой

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Совет. Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи.

1000. Когда полюса батарейки замыкают на амперметр, он показывает 2 А; а когда последовательно с амперметром подключают резистор сопротивлением 4 Ом, сила тока становится равной 1 А.

- Чему можно считать равным сопротивление внешней цепи в первом случае? во втором случае?
- Как изменилось полное сопротивление цепи после подключения резистора?
- Чему равно внутреннее сопротивление батарейки?

Совет. а) Если о сопротивлении амперметра в условии задачи ничего не сказано, его принимают равным нулю. б) Обратите внимание на то, как изменилась сила тока в цепи, и воспользуйтесь законом Ома для полной цепи. в) Составьте систему уравнений, выражающих закон Ома для полной цепи при коротком замыкании батарейки и при подключении к ней резистора.

1001. Докажите, что КПД источника тока с внутренним сопротивлением r при подключении к внешней цепи с сопротивлением R выражается формулой

$$\eta = \frac{R}{R + r} \cdot 100 \%.$$

Совет. Воспользуйтесь формулами: $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{стор}}} \cdot 100 \%$, $A_{\text{пол}} = I^2 R t$,

$$A_{\text{стор}} = I^2 R t + I^2 r t.$$

1002. ЭДС источника тока равна 12 В, а его внутреннее сопротивление равно 2 Ом.

- При каком значении сопротивления внешней цепи КПД источника тока равен 50 %? 80 %? 99 %?
- Чему равны соответствующие значения силы тока?
- Имеет ли смысл приближать КПД источника тока к 100 %, изменяя сопротивление внешней цепи?

Совет. в) Исследуйте, при каком сопротивлении внешней цепи КПД источника тока приближается к 100 %.

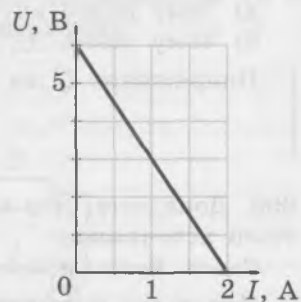


Рис. 215

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

1003. При протекании заряда 2 Кл по замкнутой электрической цепи сторонними силами была совершена работа 6 Дж. Чему равна ЭДС источника тока?

1004. Резистор сопротивлением 5 Ом подключён к источнику тока с ЭДС, равной 18 В, и внутренним сопротивлением 1 Ом. Чему равна сила тока в резисторе и напряжение на клеммах источника?

Совет. Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи и законом Ома для участка цепи.

1005. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока с ЭДС, равной 20 В, если сила тока короткого замыкания равна 10 А?

Совет. Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи и учтите, что в этом случае можно считать сопротивление внешней цепи R равным нулю.

1006. Нагреватель подключён к источнику тока с ЭДС, равной 24 В, и внутренним сопротивлением 2 Ом. Чему равно количество теплоты, выделившееся в нагревателе за 5 мин, если сила тока в цепи равна 2 А?

Совет. Используя закон Ома для полной цепи, найдите сопротивление нагревателя.

Повышенный уровень

1007. Сила тока в лампочке, подключённой к батарейке с ЭДС, равной 1,5 В, равна 0,1 А. Какую работу совершают сторонние силы за 10 мин?

Совет. Найдите заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за это время.

1008. Электрическую лампочку подключили к батарейке с внутренним сопротивлением 2 Ом. Чему равна ЭДС батарейки, если напряжение на лампочке равно 4 В, а сила тока в ней равна 0,25 А?

1009. Электрическая цепь состоит из источника тока, реостата и подключённого к нему вольтметра. При первом положении ползунка реостата сила тока в цепи равна 0,4 А, а при втором положении ползунка напряжение на реостате равно 1,6 В. ЭДС источника тока 2,4 В, его внутреннее сопротивление равно 4 Ом. При каком положении ползунка сопротивление реостата было больше? Насколько больше?

1010. Две параллельно соединённые лампы сопротивлениями 10 Ом и 40 Ом подключены к источнику тока с ЭДС, равной 20 В. Чему равно внутреннее сопротивление источника, если сила тока в цепи равна 2 А?

1011. Чему равна ЭДС источника тока и его внутреннее сопротивление, если при увеличении сопротивления подключённого к нему реостата от 4 Ом до 9,5 Ом сила тока в цепи уменьшается от 8 А до 3,6 А?

Совет. Запишите систему двух уравнений с двумя неизвестными \mathcal{E} и r .

1012. К батарее с ЭДС 120 В и внутренним сопротивлением 10 Ом подключают параллельно соединённые лампы, рассчитанные на силу тока 0,5 А и напряжение 100 В каждая. Сколько надо взять ламп, чтобы они горели полным накалом?

1013. Когда к источнику тока с ЭДС 16 В подключают резистор сопротивлением 24 Ом, мощность тока в резисторе равна 6 Вт. Чему будет равна сила тока короткого замыкания источника тока?

Совет. Найдите внутреннее сопротивление источника тока.

1014. Если к источнику тока подключить резистор сопротивлением 4 Ом, то мощность тока в резисторе равна 4 Вт. ЭДС источника тока равна 6 В. Чему равно внутреннее сопротивление источника?

1015. К источнику тока с внутренним сопротивлением 0,5 Ом подключают участок цепи, состоящий из трёх резисторов сопротивлением 1 Ом каждый. Начертите схему соединения этих резисторов, если известно, что КПД источника при таком соединении равен 75 %.

Высокий уровень

1016. Когда к источнику тока поочерёдно подключают по одному резисторы сопротивлениями 2 Ом и 8 Ом, мощность тока в резисторе оказывается одной и той же. Чему равно внутреннее сопротивление источника?

1017. При подключении к источнику тока только первого резистора сила тока равна 5 А, а мощность тока в резисторе равна 30 Вт. При подключении к тому же источнику только второго резистора сила тока в резисторе равна 10 А, а мощность тока равна 40 Вт. Чему равна сила тока короткого замыкания для этого источника?

Совет. Составьте систему двух уравнений с двумя неизвестными \mathcal{E} и r .

1018. Если подключить к источнику тока резистор сопротивлением 12 Ом, КПД источника будет равен 60 %. Чему будет равен КПД этого источника, если последовательно с первым резистором подключить второй сопротивлением 60 Ом?

Дополнительные примеры расчёта электрических цепей

Метод эквивалентных электрических схем

Соединение проводников, при котором часть проводников соединена друг с другом последовательно, а часть — параллельно, называют *смешанным*.

Для расчёта сопротивления участка цепи при смешанном соединении часто используют *метод эквивалентных схем*. Он состоит в том, что данную схему преобразуют в *более простую, но имеющую такое же сопротивление*.

ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1019. Рассмотрите схему участка цепи, изображённую на рисунке 216. Сопротивления резисторов (в омах) равны номерам резисторов (например, сопротивление резистора 3 равно 3 Ом).

- Какие пары резисторов можно заменить одним резистором? Каким должно быть сопротивление этого резистора, чтобы сопротивление участка цепи не изменилось? Начертите соответствующую эквивалентную схему.
- Какие следующие аналогичные упрощения схемы можно сделать, не изменяя сопротивления участка цепи?
- Чему равно общее сопротивление R данного участка цепи?

1020. На рисунке 217 изображена схема участка электрической цепи. Сопротивление каждого резистора 1 Ом.

- Используя метод эквивалентных схем, начертите схемы последовательного упрощения данной схемы, содержащие меньше резисторов.
- Для каждой схемы рассчитайте её сопротивление и найдите общее сопротивление R участка цепи.

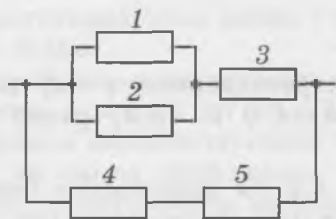


Рис. 216

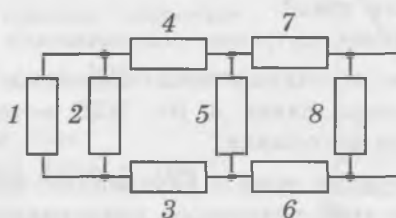


Рис. 217

Использование точек с равным потенциалом

С первого взгляда не всегда удаётся распознать вид соединения проводников в схеме: соединены они последовательно или параллельно.

В таком случае советуем найти точки схемы, *разность потенциалов между которыми равна нулю* (например, точки, соединённые проводом, сопротивление которого обычно принимают равным нулю). Затем попробуйте начертить эквивалентную схему, объединив указанные точки в одну. Рассмотрим примеры.

1021. На рисунке 218 изображена схема участка электрической цепи. Сопротивления резисторов (в омах) равны номерам резисторов.

- Для каких пар точек разность потенциалов равна нулю?
 - Перечертите схему данного участка цепи, объединив в одну точку те точки, разность потенциалов между которыми равна нулю.
 - Чему равно общее сопротивление R данного участка цепи?
- Совет.* в) Воспользуйтесь формулой для параллельного соединения проводников.

1022. На рисунке 219 изображена схема участка электрической цепи. Сопротивления резисторов (в омах) равны номерам резисторов.

- Для какой пары (или каких пар) точек разность потенциалов равна нулю?
- Перечертите схему данного участка цепи, объединив в одну точку точки, разность потенциалов между которыми равна нулю.
- Чему равно общее сопротивление R данного участка цепи?

Максимальная мощность во внешней цепи

1023. На рисунке 220 изображена схема электрической цепи. Выразите мощность тока во внешней цепи через \mathcal{E} , r и R .

Совет. Воспользуйтесь выражениями для мощности тока и законом Ома для полной цепи.

Из полученной формулы следует, что выделяемая во внешней цепи мощность P равна нулю при $R = 0$, а также стремится к нулю при бесконечно большом внешнем сопротивлении ($R \rightarrow \infty$).

Найти условие, при котором выделяемая во внешней цепи мощность максимальна, можно, используя свойства квадратичной функции.

1024. Выразите выделяемую во внешней цепи мощность P через силу тока I в цепи, ЭДС источника \mathcal{E} и его внутреннее сопротивление r .

Совет. Воспользуйтесь формулой $P = UI$ и законом Ома для полной цепи.

1025. Начертите график зависимости $P(I)$.

- Используя этот график, найдите выражение для силы тока, при котором функция $P(I)$ достигает максимума.
 - При каком соотношении между R и r сила тока максимальна?
- Совет.* б) Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи.

Ответ последней задачи означает, что *максимальная мощность тока во внешней цепи достигается, когда сопротивление внешней цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока.*

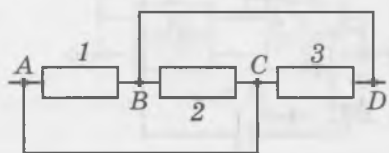


Рис. 218

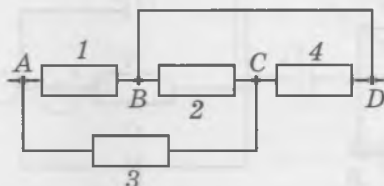


Рис. 219

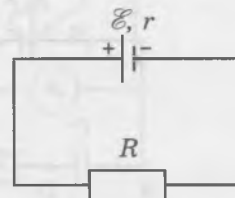


Рис. 220

1026. Чему равен КПД источника тока, когда выделяемая во внешней цепи мощность максимальна?

Совет. Воспользуйтесь формулой для КПД источника тока.

1027. Для данного источника тока мощность тока во внешней цепи максимальна, если сопротивление внешней цепи равно 2 Ом. Чему равен КПД этого же источника тока, если внешнее сопротивление равно 8 Ом?

Конденсаторы в цепи постоянного тока

1028. Может ли через конденсатор течь постоянный электрический ток? Обоснуйте свой ответ.

Совет. Между обкладками конденсатора находится диэлектрик.

С учётом ответа на последнюю задачу рассмотрим простейшие электрические цепи с конденсаторами.

1029. На рисунке 221 показана схема электрической цепи. ЭДС источника тока $\mathcal{E} = 12$ В, его внутреннее сопротивление $r = 2$ Ом, сопротивление резистора $R = 1$ Ом, ёмкость конденсатора $C = 2$ мкФ.

- Чему равно напряжение между точками A и B ?
- Чему равно напряжение между точками B и D ?
- Чему равно напряжение между точками A и D ?
- Чему равен заряд конденсатора?

Совет. а) Напряжение между полюсами разомкнутого источника равно его ЭДС. б) Учтите, что сила тока в цепи равна нулю, и воспользуйтесь законом Ома для участка цепи. в) Воспользуйтесь тем, что напряжение между полюсами разомкнутого источника равно его ЭДС, а также тем, что напряжение между точками B и D равно нулю. г) Воспользуйтесь соотношением между ёмкостью конденсатора, зарядом конденсатора и напряжением на нём.

1030. На рисунке 222 изображена схема электрической цепи, в которой $\mathcal{E} = 24$ В, $r = 2$ Ом, $R = 10$ Ом, $C = 4$ нФ.

- Чему равно напряжение U между полюсами источника?
- Чему равен заряд q конденсатора?

Совет. а) Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи и соотношением $U = IR$. б) Напряжение на конденсаторе равно в данном случае напряжению между полюсами источника.

1031. На рисунке 223 изображена схема электрической цепи, в которой $\mathcal{E} = 6$ В, $r = 1$ Ом, $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 8$ Ом, $C = 8$ мкФ.

- Перечертите схему в тетрадь и обведите те элементы цепи, через которые будет течь ток.
- Чему равно сопротивление внешней цепи R ?
- Чему равно полное сопротивление цепи?
- Чему равна сила тока в резисторе 3?
- Чему равно напряжение между точками A и D ?
- Чему равно напряжение на конденсаторе?
- Чему равен заряд конденсатора?
- Каков знак заряда обкладки конденсатора, соединённой с резистором 2?

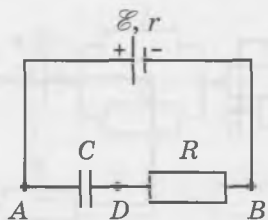


Рис. 221

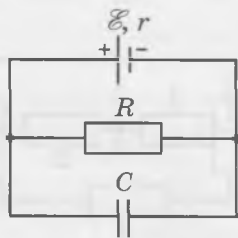


Рис. 222

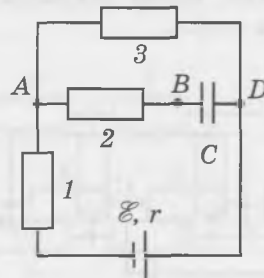


Рис. 223

Совет. в) Полное сопротивление цепи равно сумме сопротивлений внешней цепи и внутреннего сопротивления источника тока. г) Воспользуйтесь законом Ома для полной цепи и учтите, что ток будет течь только через резисторы 1 и 3. д) Напряжение между точками A и D равно напряжению на резисторе 3. Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи. е) Учтите, что напряжение на резисторе 2 равно нулю, потому что через него не течёт ток.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ¹⁾

Повышенный уровень

1032. На рисунке 224 изображена схема участка электрической цепи. Сопротивление каждого резистора 6 Ом. Что покажет амперметр, если на концы данного участка подать напряжение 18 В?

Совет. Используя метод эквивалентных схем, начертите схемы последовательного упрощения данной схемы, содержащие меньше резисторов; для каждой схемы рассчитайте её сопротивление и найдите общее сопротивление R всего участка.

1033. Напряжение на концах участка цепи, изображённой на рисунке 225, равно 36 В. Чему равна сила тока в каждом резисторе, если $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 3$ Ом, $R_3 = 20$ Ом, $R_4 = 24$ Ом?

Совет. Воспользуйтесь методом эквивалентных схем.

1034. Амперметр, включённый в цепь, схема которой изображена на рисунке 226, показывает силу тока 3 А. Чему равно напряжение на концах участка цепи, если сопротивления резисторов $R_1 = R_2 = 4$ Ом, $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 2$ Ом?

Совет. Воспользуйтесь методом эквивалентных схем.

1035. Чему равна сила тока в цепи, если ЭДС источника тока 36 В, его внутреннее сопротивление 1 Ом, а сопротивления резисторов $R_1 = 6$ Ом, $R_2 = 8$ Ом, $R_3 = 12$ Ом, $R_4 = 24$ Ом (рис. 227)?

Совет. Перечертите схему данного участка цепи, объединив в одну точку точки, разность потенциалов между которыми равна нулю.

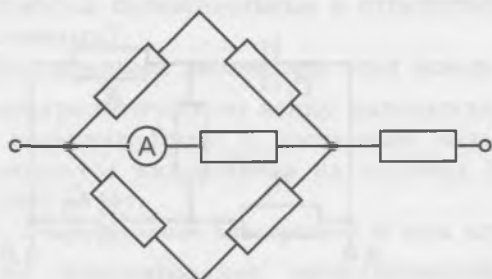


Рис. 224

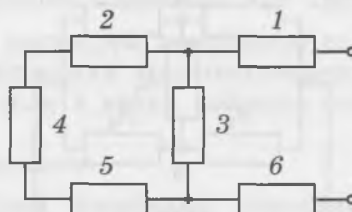


Рис. 225

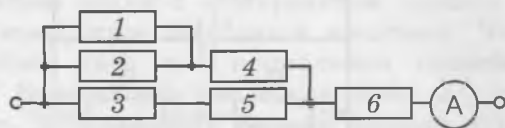


Рис. 226

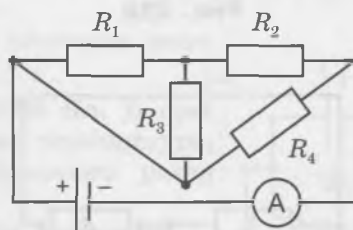


Рис. 227

¹⁾ Если сопротивления амперметра и вольтметра не указаны, считайте эти приборы идеальными: сопротивление амперметра равным нулю, а сопротивление вольтметра — бесконечно большим.

1036. В цепи, схема которой изображена на рисунке 228, ЭДС источника 30 В, его внутреннее сопротивление 2 Ом, а сопротивления резисторов $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 7$ Ом, $R_3 = 10$ Ом, $R_4 = 14$ Ом, $R_5 = 2$ Ом. Будет ли течь ток через резистор R_5 ? Чему равна сила тока в резисторе R_1 ?

Совет. Докажите, что через резистор R_5 ток идти не будет. Отсюда будет следовать, что этот резистор можно удалить, не изменив общего сопротивления цепи.

1037. Когда резистор сопротивлением 8 Ом подключён к источнику тока с ЭДС 4 В, сила тока в резисторе равна 0,4 А. Какова максимальная мощность тока при использовании данного источника тока?

Совет. Докажите, что мощность тока максимальна, когда сопротивление внешней цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока.

1038. К источнику тока с внутренним сопротивлением 2 Ом подключён реостат, сопротивление которого можно изменять в пределах от 1 до 5 Ом. Чему равна ЭДС источника, если максимальная мощность тока равна 4,5 Вт?

1039. Напряжение на концах участка цепи, изображённого на рисунке 229, равно 140 В. Известно, что $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 5$ мкФ, $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 40$ Ом. Заряд какого из двух конденсаторов больше? Во сколько раз больше?

Совет. Напряжение на конденсаторе C_1 равно сумме напряжений на резисторах R_1 и R_2 , а напряжение на конденсаторе C_2 равно сумме напряжений на резисторах R_2 и R_3 .

Высокий уровень

1040. Сопротивление каждого резистора в единицах СИ в цепи, схема которой изображена на рисунке 230, равно номеру этого резистора. ЭДС источника равна 7,5 В, сила тока в резисторе 2 равна 0,5 А. Чему равно внутреннее сопротивление источника?

Совет. Найдите внешнее сопротивление цепи и воспользуйтесь законом Ома для полной цепи.

1041. Заряд конденсатора ёмкостью 5 мкФ, включённого в электрическую цепь (рис. 231) равен 1 мКл. Сопротивления резисторов $R_1 = 90$ Ом, $R_2 = 30$ Ом, $R_3 = 60$ Ом, $R_4 = 40$ Ом. Чему равна ЭДС источника, если его внутреннее сопротивление 2 Ом?

Совет. Напряжение на конденсаторе равно в данном случае напряжению между полюсами источника.

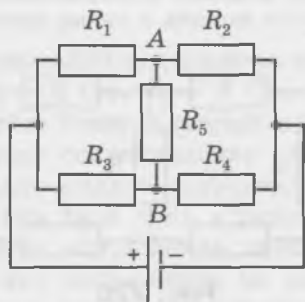


Рис. 228

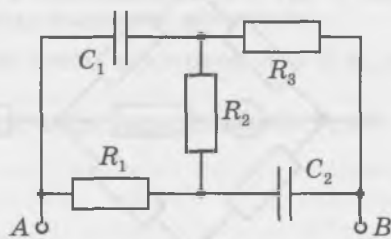


Рис. 229

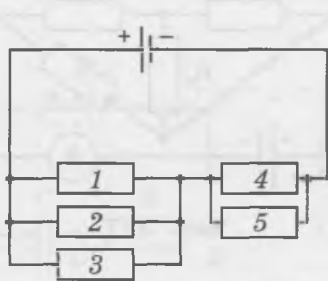


Рис. 230

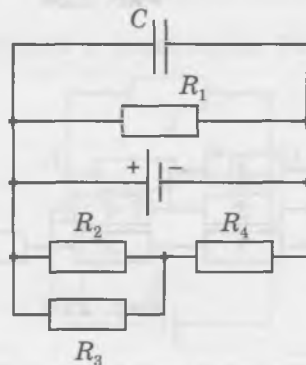


Рис. 231

1042. Какой заряд пройдёт через ключ после его замыкания (рис. 232)? Электроёмкости конденсаторов $C_1 = 4 \text{ мкФ}$, $C_2 = 2 \text{ мкФ}$, сопротивления резисторов $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$, $R_2 = 2 \text{ Ом}$, напряжение на полюсах источника тока $U = 10 \text{ В}$. Внутренним сопротивлением источника можно пренебречь.

Совет. До замыкания ключа заряды конденсаторов были одинаковыми, а после его замыкания напряжение на каждом из конденсаторов равно напряжению на параллельно соединённом с ним резисторе.

Электрический ток в жидкостях и газах

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Базовый уровень

1043. Как направлен ток, обусловленный направленным движением:

- положительных ионов;
- отрицательных ионов?

Совет. Вспомните, как определяют направление электрического тока.

1044. С каким полюсом источника тока надо соединить нагретый электрод, чтобы вследствие термоэлектронной эмиссии возник электрический ток?

Совет. Учтите знак заряда электрона.

1045. В каком направлении может течь ток вследствие термоэлектронной эмиссии — от нагретого электрода к холодному или от холодного к нагретому? В каком направлении будут при этом двигаться электроны?

Совет. Учтите знак заряда электрона и определение направления электрического тока.

Повышенный уровень

1046. Через электролит течёт ток.

- Двигутся положительные и отрицательные ионы в одном направлении или в противоположных?
- Обусловленный движением этих ионов ток направлен одинаково или противоположно?

1047. Электролитическую ванну наполнили слабым раствором поваренной соли и подключили к источнику тока с достаточно большим внутренним сопротивлением. Увеличится или уменьшится напряжение на полюсах батареи, если в ванну добавить ещё соли? Обоснуйте свой ответ.

Совет. Сопротивление электролита в этом случае уменьшится.

1048. Для никелирования металлической пластинки площадью поперечного сечения 48 см^2 через ванну в течение 4 ч пропускали ток. Чему равна толщина образовавшегося слоя никеля на пластинке, если сила тока равна $0,15 \text{ А}$, а валентность никеля 2? Плотность никеля 8900 кг/м^3 .

Совет. Воспользуйтесь законом Фарадея и формулой плотности вещества.

1049. Через ванну с электролитом прошёл заряд 2500 Кл . В процессе электролиза выделялся кислород. Чему равна температура, если объём газа при нормальном атмосферном давлении равен $0,18 \text{ л}$? Валентность кислорода равна 2.

Совет. Воспользуйтесь законом Фарадея и уравнением Менделеева — Клапейрона. Учтите, что в формулу для электрохимического эквивалента входит масса иона (которую можно считать равной массе атома). Не забудьте, что выделившиеся в результате электролиза атомы кислорода образуют двухатомные молекулы.

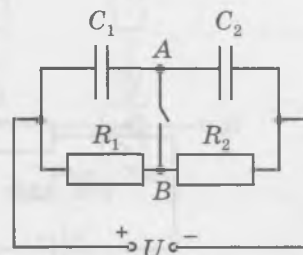


Рис. 232

1050. Для получения алюминия электролиз ведётся при напряжении 10 В. Чему равен в киловатт-часах расход электроэнергии для получения 1 кг алюминия, если КПД установки 80 %? Валентность алюминия равна 3.

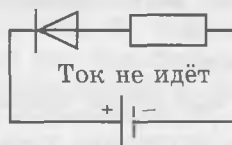
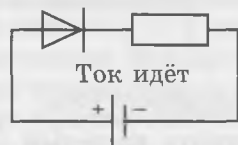
Совет. Воспользуйтесь законом Фарадея и формулами для расчёта работы тока и КПД.

Электрический ток в полупроводниках

В полупроводниках *n*-типа основные носители заряда — электроны

В полупроводниках *p*-типа основные носители заряда — дырки

Полупроводниковый диод



ОБУЧАЮЩИЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1051. Совпадает ли направление электрического тока, обусловленное движением электронов, с направлением электрического тока, обусловленного движением дырок?

Совет. Учтите, что электроны и дырки будут двигаться в противоположные стороны.

1052. Используя таблицу Менделеева, укажите, атомы каких химических элементов можно добавить в кристалл кремния, чтобы получить полупроводник:

- n*-типа;
- p*-типа?

Предлагаемые элементы для примесей: индий, сурьма, фосфор, скандий, галлий.

На рисунке 233 показана простейшая электрическая схема с *прямым* подключением диода, когда ток идёт через диод, а на рисунке 234 — с *обратным*, когда ток не идёт через диод. Обратите внимание на то, как обозначают диоды на электрических схемах: стрелка-треугольник показывает направление тока через диод при *прямом* подключении.

1053. К клеммам *A* и *B* (рис. 235) подключают источник тока с ЭДС, равной 12 В, и внутренним сопротивлением 2 Ом. Сопротивления резисторов $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 4$ Ом.

- Чему равно полное сопротивление цепи, если положительный полюс источника тока подключён к клемме *A*?



Рис. 233

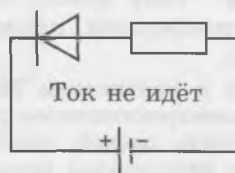


Рис. 234

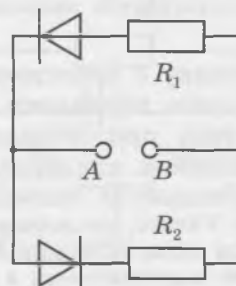


Рис. 235

- б) Чему равны при этом мощность тока в резисторе и КПД источника тока?
 в) Чему равны мощность тока в резисторе и КПД источника тока, если положительный полюс источника тока подключён к клемме *B*?

Совет. а) Определите, через какой резистор идёт ток.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ¹⁾

Базовый уровень

1054. Элемент с какой валентностью надо добавить в качестве примеси в кремний, чтобы получить полупроводник *n*-типа? полупроводник *p*-типа? Приведите примеры таких примесей.

Совет. Воспользуйтесь таблицей Менделеева.

1055. На рисунках 236, *a*, *б* изображены схемы цепей, в которые включён *p-n*-переход. На какой из схем *p-n*-переход изображён при прямом подключении, а на какой — при обратном?

1056. Начертите две схемы с диодами, используя обозначение диода на схеме. На первой схеме должно быть прямое подключение диода, а на второй — обратное.

Повышенный уровень

1057. Используя вольтамперную характеристику полупроводникового диода (рис. 237), определите, во сколько раз его сопротивление при обратном подключении больше, чем при прямом, если модуль напряжения при прямом подключении равен 0,2 В, а при обратном — 400 В.

Совет. Обратите внимание на *различные масштабы* на осях для прямого и обратного подключения. Воспользуйтесь законом Ома для участка цепи.

1058. В зависимости от полярности подключения источника тока напряжением 30 В к участку цепи, изображённому на рисунке 238, мощность тока в участке цепи равна либо 20 Вт, либо 60 Вт. Перенесите рисунок в тетрадь и укажите на нём направление тока в резисторах в обоих случаях, а также сопротивления резисторов. Внутренним сопротивлением источника тока можно пренебречь.

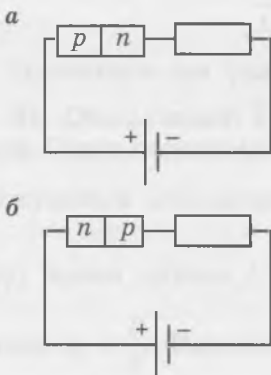


Рис. 236

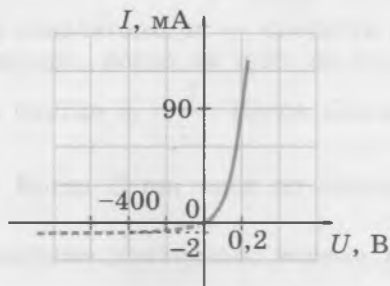


Рис. 237

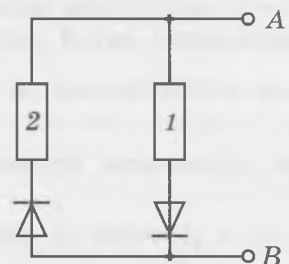


Рис. 238

¹⁾ При решении задач этого раздела примите, что если иное не оговорено в условии, то сопротивлением диода при его прямом подключении можно пренебречь, а его сопротивление при обратном подключении можно считать бесконечно большим.

Высокий уровень

1059. Сопротивление каждого резистора в цепи, схема которой изображена на рисунке 239, равно внутреннему сопротивлению источника тока r , ЭДС источника тока равна \mathcal{E} .

- Перенесите схему в тетрадь и укажите на ней направление электрического тока в каждом резисторе.
- Найдите сопротивление всей цепи.
- Найдите мощность тока в цепи.
- Найдите КПД источника.
- Как изменятся результаты, если изменить полярность подключения источника тока?

1060. В зависимости от полярности подключения источника тока напряжением 100 В к участку цепи, схема которого изображена на рисунке 240, мощность тока в участке цепи равна либо 150 Вт, либо 83 Вт. Перенесите рисунок в тетрадь и укажите на нём направление тока в резисторах при различных способах подключения источника тока. Чему равны сопротивления первого и третьего резисторов, если сопротивление второго резистора 200 Ом?

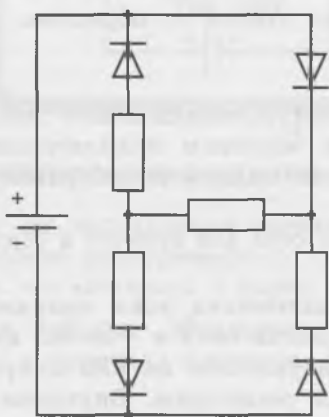


Рис. 239

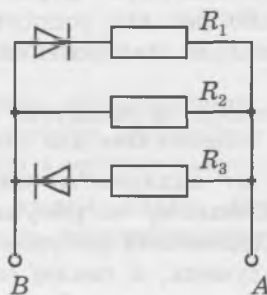


Рис. 240

УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ

НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ

МЕХАНИКА

Кинематика

13. Рассмотрим треугольник, две стороны которого — отрезки пути туриста длиной 2 км и 4 км. По условию угол между этими сторонами равен 135° . Используя теорему косинусов, находим длину третьей стороны — она равна модулю перемещения туриста. Используя далее теорему синусов применительно к этой третьей стороне и стороне, равной 4 км, находим синус угла между вектором перемещения и направлением на юг. Зная синус угла, находим сам угол.

20. Обозначения: $v_{\text{вер}}$ — скорость вертолёта относительно воздуха; $v_{\text{вет}}$ — скорость ветра; d — расстояние от A до B .

а) Время перелёта при попутном ветре

$$t_{\text{по}} = \frac{d}{v_{\text{вер}} + v_{\text{вет}}}. \quad (1)$$

Время перелёта при встречном ветре

$$t_{\text{прот}} = \frac{d}{v_{\text{вер}} - v_{\text{вет}}}. \quad (2)$$

б) Разделив уравнение (1) на уравнение (2), получим одно уравнение для нахождения

$$\frac{v_{\text{вер}}}{v_{\text{вет}}}.$$

в) Время перелёта при отсутствии ветра

$$t_{\text{безветр}} = \frac{d}{v_{\text{вер}}}. \quad (3)$$

Уравнения (1—3) можно переписать в виде

$$\frac{1}{t_{\text{по}}} = \frac{v_{\text{вер}} + v_{\text{вет}}}{d}, \quad \frac{1}{t_{\text{прот}}} = \frac{v_{\text{вер}} - v_{\text{вет}}}{d}, \quad \frac{1}{t_{\text{безветр}}} = \frac{v_{\text{вер}}}{d}.$$

Используя эти уравнения, можно выразить $t_{\text{безветр}}$ через $t_{\text{по}}$ и $t_{\text{прот}}$.

21. Обозначения: l — длина эскалатора, $v_{\text{э}}$ — скорость движения эскалатора, v — скорость Саши относительно эскалатора, когда он идёт по ступенькам. Когда Саша стоит на движущемся эскалаторе, время спуска $t_0 = \frac{l}{v_{\text{э}}}$. Когда Саша идёт по движущемуся эскалатору, время спуска $t_1 = \frac{l}{v_{\text{э}} + v}$. Когда Саша идёт по остановившемуся эскалатору, время спуска $t_2 = \frac{l}{v}$. Используя написанные уравнения, можно выразить t_2 через t_0 и t_1 . Для этого удобно предварительно «перевернуть» все три уравнения.

30. Обозначения: $v_{\text{тепл}}$ — скорость теплохода относительно воды, $v_{\text{теч}}$ — скорость течения (равная скорости плота), l — расстояние между городами M и N . Время движения теплохода по течению $t_{\text{по}} = \frac{l}{v_{\text{тепл}} + v_{\text{теч}}}$. Время движения теплохода против течения

$t_{\text{прот}} = \frac{l}{v_{\text{тепл}} - v_{\text{теч}}}$. Время движения плота $t_{\text{плот}} = \frac{l}{v_{\text{теч}}}$. Используя написанные уравнения,

можно выразить $t_{\text{плот}}$ через $t_{\text{но}}$ и $t_{\text{прот}}$. Для этого удобно «перевернуть» предварительно все три уравнения.

31. Обозначения: l — расстояние между посёлками, $v_{\text{ав}}$ — модуль скорости аиста относительно воздуха, $v_{\text{аз}}$ — модуль скорости аиста относительно земли во время перелёта при боковом ветре, $v_{\text{в}}$ — модуль скорости бокового ветра. Время перелёта в безветренную

погоду $t_1 = \frac{l}{v_{\text{ав}}}$. Время перелёта при боковом ветре $t_2 = \frac{l}{v_{\text{аз}}}$. Скорость аиста относительно

земли является векторной суммой скорости аиста относительно воздуха и скорости ветра.

По условию ветер направлен перпендикулярно отрезку АБ, вдоль которого летит аист. Поэтому векторы скорости аиста относительно воздуха, скорости ветра и скорости аиста относительно земли составляют прямоугольный треугольник, гипотенуза которого — скорость аиста относительно воздуха.

Следовательно, согласно теореме Пифагора $v_{\text{аз}} = \sqrt{v_{\text{ав}}^2 - v_{\text{в}}^2}$. Ис-

пользуя написанные уравнения, можно выразить t_2 через t_1 и отношение $\frac{v_{\text{в}}}{v_{\text{ав}}}$, заданное в

условии. Синус угла между скоростью аиста относительно воздуха и отрезком АБ выра-

жается формулой $\sin \alpha = \frac{v_{\text{в}}}{v_{\text{ав}}}$.

59. Обозначения: v_0 — модуль начальной скорости шарика, a — модуль ускорения шарика, t_1, t_2 — промежутки времени (1 с и 3 с), через которые шарик оказался на заданном в условии расстоянии от начальной точки (30 см). Модуль перемещения шарика за указанные в условии промежутки времени выражается формулами $s = v_0 t_1 - \frac{at_1^2}{2}$, $s = v_0 t_2 - \frac{at_2^2}{2}$.

Используя эти уравнения, можно выразить v_0 и a через величины, заданные в условии. Путь, пройденный шариком до возвращения в начальную точку, в 2 раза больше пути,

пройденного шариком вверх до остановки (тормозной путь). Следовательно, $l = 2 \frac{v_0^2}{2a}$. Под-

ставив в эту формулу полученные ранее выражения для v_0 и a , получим выражение для пройденного шариком пути.

103. Обозначения: $l_{\text{п}}$ — путь, пройденный телом за последнюю секунду падения, $l_{\text{пп}}$ — путь, пройденный телом за предпоследнюю секунду падения, $l_{2\tau}$ — путь, пройденный телом за последние две секунды падения, τ — промежуток времени, равный 1 с, t — время

падения тела. Из соотношений $l_{2\tau} = l_{\text{п}} + l_{\text{пп}}$ и $l_{\text{п}} = 2l_{\text{пп}}$ следует, что $l_{2\tau} = \frac{3}{2}l_{\text{п}}$. Путь, прой-

денный телом за последнюю секунду падения $l_{\text{п}} = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-\tau)^2}{2}$. Путь, пройденный телом

за последние две секунды падения $l_{2\tau} = \frac{gt^2}{2} - \frac{g(t-2\tau)^2}{2}$. Используя написанные уравнения,

получаем одно уравнение для нахождения времени падения тела t .

116. Обозначения: v_0 — начальная скорость камня, h — высота, на которой побывал камень с интервалом времени τ (4 с). Высота, на которой находится камень через про-

межуток времени t после броска: $h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$. Это квадратное уравнение относительно t

имеет два положительных корня, которые соответствуют двум моментам нахождения камня

на высоте h . По условию разность значений этих корней равна τ . Записав выражение для разности корней, получим уравнение, с помощью которого можно найти v_0 .

117. Обозначения: v_{0x} — проекция начальной скорости мяча на горизонтально направленную ось x , v_{0y} — проекция начальной скорости мяча на направленную вертикально вверх ось y , t — время полёта мяча от начального момента до верхней точки траектории, d — расстояние между мальчиками, v_0 — модуль начальной скорости мяча. Всё время полёта мяча в 2 раза больше, чем время полёта мяча до верхней точки траектории. Поэтому дальность полёта мяча, то есть расстояние между мальчиками выражается формулой $v_{0x} \cdot 2t = d$. Согласно теореме Пифагора $v_0^2 = v_{0x}^2 + v_{0y}^2$. Используя написанные уравнения, можно выразить v_{0x} через величины, заданные в условии. Зная время полёта мяча, можно найти расстояние между мальчиками.

118. Небольшая масса воды, вылетевшей из брандспойта, находится в воздухе в течение промежутка времени, равного времени полёта тела, брошенного под углом к горизонту, равным углу наклона брандспойта к горизонту, со скоростью, равной скорости бьющей из брандспойта струи. Отсюда следует, что масса воды, находящейся в воздухе, равна массе воды, выходящей из брандспойта за время полёта t указанного тела. За время t из брандспойта выходит объём воды V , равный объёму цилиндра с площадью основания S и высотой $v_0 t$. Следовательно, $V = v_0 t S$. Массу m воды, выходящей из брандспойта за это время, можно выразить через объём V и плотность воды.

139. Обозначения: d — расстояние между дисками, v — скорость пули на участке между дисками, ω — угловая скорость вращения дисков, ν — частота обращения дисков. Расстояние между дисками пуля пролетает за время $t = \frac{d}{v}$. За это же время диски поворачиваются на угол $\alpha = \omega t$. Угловая скорость дисков ω связана с частотой их вращения ν соотношением $\omega = 2\pi\nu$. Используя написанные уравнения, можно выразить v через величины, заданные в условии. При этом значение частоты обращения дисков надо выразить в об/с, а угол поворота дисков — в радианах.

Динамика

143. Модуль F равнодействующей двух сил, равных по модулю F_1 каждая, равен длине диагонали ромба со сторонами F_1 , проведённой из угла, равного углу между силами-слагаемыми.

154. Обозначения: l — длина каната, d — расстояние от лодки до берега, \vec{F}_T — сила, действующая на лодку со стороны текущей воды, \vec{F}_B — сила, действующая на лодку со стороны ветра, \vec{F}_K — сила, действующая на лодку со стороны каната. Изобразив на чертеже положение лодки и действующие на неё силы, можно заметить, что прямоугольный треугольник с катетами \vec{F}_T и \vec{F}_B подобен прямоугольному треугольнику, гипотенузой которого является длина каната l , а одним из катетов — расстояние d от лодки до берега: этому катету соответствует сила \vec{F}_K .

155. Обозначения: m — масса тела, \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 — силы, действующие на тело в описанных трёх опытах, a_1 , a_2 , a_3 — модули ускорения тела в этих опытах, t_1 , t_2 , t_3 — времена движения тела в этих опытах, l_1 , l_2 , l_3 — пути, пройденные телом в этих опытах.

Из формул для прямолинейного равноускоренного движения следует: $l_3 = \frac{a_3 t_3^2}{2}$. Согласно

второму закону Ньютона $a_3 = \frac{F_3}{m}$. Силы F_1 и F_2 можно выразить через модули ускорений тел a_1 , a_2 в первых двух опытах с помощью второго закона Ньютона, а a_1 и a_2 — через l_1 , t_1 и l_2 , t_2 с помощью формул для прямолинейного равноускоренного движения. Следует учесть, что силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 направлены противоположно.

171. Обозначения: R — радиус планеты, M — масса планеты, ρ — средняя плотность планеты, v_0 — начальная скорость камешков, l — максимальная дальность полёта камешков, g — ускорение свободного падения вблизи поверхности планеты. Максимальная дальность полёта тела, брошенного под углом к горизонту, достигается при угле бросания 45° и выражается через начальную скорость тела и ускорение свободного падения формулой $l = \frac{v_0^2}{g}$ (на экзаменах её надо выводить, а не брать в качестве готовой). Ускорение

свободного падения g можно выразить через массу планеты и её радиус: $g = G \frac{M}{R^2}$. Массу

планеты можно выразить через её среднюю плотность и радиус: $M = \frac{4\pi R^3}{3} \rho$. Используя написанные уравнения, можно найти ρ .

181. Обозначения: R — радиус планеты, ρ — средняя плотность планеты, h — высота обрыва, t — время падения камня с обрыва, g — ускорение свободного падения вблизи поверхности планеты. Справедливы следующие уравнения: $h = \frac{gt^2}{2}$, $g = G \frac{M}{R^2}$, $M = \frac{4\pi R^3}{3} \rho$.

Используя эти уравнения, можно найти ρ .

196. Обозначения: k_1, k_2 — жёсткости пружин, x — общее удлинение системы пружин при подвешивании груза массой m , k — жёсткость системы пружин. Справедливы следующие уравнения: $k_1 x_1 = mg$, $k_2 x_2 = mg$, $kx = mg$, $x_1 + x_2 = x$, $k_1 = 3k_2$. Используя эти уравнения, можно выразить искомые величины через величины, заданные в условии.

209. Обозначения: m — масса грузовика, v — модуль скорости грузовика, R — радиус дуги, a — модуль ускорения грузовика в верхней точке траектории, P — модуль веса грузовика в верхней точке траектории, N — модуль силы нормальной реакции, действующей на грузовик в верхней точке траектории, v_1 — модуль минимальной скорости грузовика в верхней точке траектории, при которой вес грузовика в этой точке равен нулю. Поскольку грузовик движется по дуге окружности, он испытывает направленное к центру окружности (в данном случае — вниз) центростремительное ускорение $a = \frac{v^2}{R}$. Уравнение второго

закона Ньютона для грузовика в верхней точке траектории в проекциях на направленную вертикально вниз ось x имеет вид $mg - N = \frac{mv^2}{R}$. Согласно третьему закону Ньютона вес грузовика равен по модулю силе нормальной реакции: $P = N$. Используя написанные уравнения, можно выразить P через величины, заданные в условии. Вес грузовика в верхней точке траектории будет равен нулю, если сила нормальной реакции в этой точке равна нулю. В таком случае уравнение второго закона Ньютона имеет вид $mg = \frac{mv_1^2}{R}$. Используя это уравнение, можно получить выражение для v_1 .

210. Обозначения: m_1, m_2 — массы грузов, $F_{\text{упр}}$ — модуль силы упругости пружины в начальный момент, a — модуль ускорения первого груза сразу после пережигания нити. До пережигания нити сила упругости пружины уравнивала силу тяжести обоих грузов: $F_{\text{упр}} = (m_1 + m_2)g$. Сразу после пережигания нити на первый груз будут действовать сила тяжести и такая же сила упругости пружины (она не изменится мгновенно, потому что первый груз не успеет сместиться из своего начального положения). Поэтому в этот момент второй закон Ньютона для первого груза в проекциях на направленную вертикально вверх ось x имеет вид $F_{\text{упр}} - m_1 g = m_1 a$. Используя написанные уравнения, можно выразить a через величины, заданные в условии.

211. Обозначения: k_1, k_2 — жёсткости пружин, x_1 — модуль деформации пружин при смещении бруска, F — модуль равнодействующей приложенных к бруску сил. Действующие на брусок сила тяжести и сила нормальной реакции уравнивают друг друга, поэтому равнодействующая всех приложенных к бруску сил — это равнодействующая сил упругости, действующих на него со стороны пружин. При смещении бруска влево или вправо из начального положения одна пружина растягивается, а другая — сжимается. Поэтому действующие на брусок силы упругости пружин направлены в одну сторону (противоположную направлению смещения бруска — независимо от того, смещают брусок влево или вправо). Поскольку величина деформации пружин одинакова, для модуля равнодействующей приложенных к бруску сил упругости можно записать: $F = (k_1 + k_2)x$. Используя это уравнение, можно выразить x через величины, заданные в условии.

212. Обозначения: m — масса тележки, v — модуль скорости тележки в верхней точке траектории, R — радиус «мёртвой петли», N — сила нормальной реакции, действующей на тележку со стороны рельсов в верхней точке траектории, N_1 — сила, с которой тележка давит на рельсы в верхней точке. Поскольку тележка движется по окружности, она испытывает направленное к центру окружности центростремительное ускорение $a = \frac{v^2}{R}$. Поэтому уравнение второго закона Ньютона для тележки в верхней точке траектории в проекциях на направленную вертикально вниз ось x имеет вид $mg + N = \frac{mv^2}{R}$. Согласно третьему закону Ньютона сила, с которой тележка давит на рельсы, равна по модулю силе нормальной реакции: $N_1 = N$. Используя написанные уравнения, можно выразить N_1 через величины, заданные в условии.

213. Обозначения: m — масса груза, k — жёсткость пружины, l — пройденный грузом путь, \bar{F} — сила упругости пружины, действующая на груз, t — время движения груза, x — проекция деформации пружины на направленную вверх ось x (знак этой деформации заранее не известен!). Проекция перемещения груза на направленную вверх ось x выражается формулой $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$. Используя в этом уравнении данные из условия, находим, что $a_x < 0$. Это означает, что ускорение груза направлено противоположно выбранному направлению оси x , то есть вниз. Уравнение второго закона Ньютона для груза в проекциях на ось x можно записать в виде $F_x - mg = ma_x$. Подставляя в это уравнение данные из условия, находим, что $F_x > 0$. Это означает, что пружина растянута. Согласно закону Гука $F = k|x|$. Используя написанные уравнения, можно выразить деформацию пружины через величины, заданные в условии, учитывая, что $s_x = l$.

223. Обозначения: m — масса бруска, \bar{F} — сила, с которой брусок прижимают к стене, \bar{a} — ускорение бруска, α — угол между силой \bar{F} и вертикалью, μ — коэффициент трения между бруском и стеной, N — модуль силы нормальной реакции, действующей со стороны стены на брусок. Направим ось x горизонтально в направлении стены, а ось y — вертикально вверх. Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на эти оси имеет вид

$$\begin{cases} O_x: F \sin \alpha - N = 0; \\ O_y: F \cos \alpha - mg - \mu N = ma_y. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить a_y через величины, данные в условии. Если $a_y < 0$, то ускорение бруска направлено вниз, а если $a_y > 0$, то вверх.

230. Обозначения: m — масса бруска, \bar{F}_1 — сила, приложенная к бруску при его равномерном движении вверх, \bar{F}_2 — сила, приложенная к бруску при его равномерном движении вниз, μ — коэффициент трения между бруском и стеной, α — угол между приложенной к бруску силой и вертикалью, N — модуль силы нормальной реакции, действующей со стороны стены на брусок. Направим ось x горизонтально к стене, а ось y — вертикально

вверх. Когда брусок движется вверх, действующая на него со стороны стены сила трения скольжения направлена вниз. Поэтому второй закон Ньютона при равномерном перемещении бруска вверх в проекциях на эти оси имеет вид

$$\begin{cases} O_x: F_1 \cos \alpha - mg - \mu N = 0; \\ O_y: F_1 \sin \alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить F_1 через величины, заданные в условии.

Когда брусок движется вниз, действующая на него со стороны стены сила трения скольжения направлена вверх. Поэтому второй закон Ньютона при равномерном перемещении бруска вниз в проекциях на эти оси имеет вид

$$\begin{cases} O_x: F_2 \cos \alpha - mg + \mu N = 0; \\ O_y: F_2 \sin \alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить F_2 через величины, заданные в условии.

231. Обозначения: m — масса бруска, k — жёсткость пружины, μ — коэффициент трения между бруском и столом, \vec{F} — прикладываемая к бруску горизонтальная сила, $F_{\text{упр}}$ — модуль силы упругости пружины, x — удлинение пружины.

Брусок сдвинется с места, если приложенная к нему сила \vec{F} превышает по модулю максимальную силу трения покоя, которую принимают равной силе трения скольжения. Поэтому должно выполняться неравенство: $F \geq \mu N$. Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на направленную вертикально вверх ось x имеет вид $F_{\text{упр}} + N - mg = 0$. Согласно закону Гука $F_{\text{упр}} = kx$. Используя написанные соотношения, можно получить искомое неравенство для F .

232. Обозначения: m — масса бруска, k — жёсткость пружины, x — начальное сжатие пружины, μ — коэффициент трения между бруском и столом, \vec{F}_1 — сила, которую нужно приложить к бруску, чтобы сдвинуть его влево, \vec{F}_2 — сила, которую нужно приложить к бруску, чтобы сдвинуть его вправо, $\vec{F}_{\text{упр}}$ — сила упругости, действующая на брусок со стороны пружины. Брусок сдвинется с места, если приложенная к нему горизонтальная сила \vec{F} превышает по модулю максимальную силу трения покоя, которую принимают равной силе трения скольжения. Поэтому должно выполняться неравенство: $F \geq \mu N$. Горизонтальная сила \vec{F} является равнодействующей приложенной к бруску силы и силы упругости пружины. По условию пружина сжата, поэтому действующая на брусок сила упругости направлена вправо. Согласно закону Гука $F_{\text{упр}} = kx$.

При сдвигании бруска влево равнодействующая \vec{F} сил \vec{F}_1 и $\vec{F}_{\text{упр}}$ направлена влево, причём $F = F_1 - F_{\text{упр}}$. Используя написанные соотношения, можно выразить неравенство для F_1 через величины, данные в условии.

При сдвигании бруска вправо равнодействующая \vec{F} сил \vec{F}_1 и $\vec{F}_{\text{упр}}$ направлена вправо, причём $F = F_2 + F_{\text{упр}}$. Используя написанные соотношения, можно выразить неравенство для F_2 через величины, данные в условии.

233. Обозначения: m — масса бруска, \vec{F} — сила, приложенная к бруску, μ — коэффициент трения между бруском и стеной, α — угол между приложенной к бруску силой и вертикалью, N — модуль силы нормальной реакции, действующей со стороны стены на брусок, \vec{a} — ускорение бруска. Направим ось x вертикально вверх, а ось y — горизонтально к стене. По условию брусок движется вниз, поэтому действующая на него со стороны стены сила трения скольжения направлена вверх. Следовательно, второй закон Ньютона в проекциях на указанные оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: F \cos \alpha - mg + \mu N = ma_x; \\ O_y: F \sin \alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить a_x через величины, заданные в условии. Если $a_x < 0$, то ускорение бруска направлено вниз, а если $a_x > 0$, то вверх.

243. Обозначения: m — масса бруска, l — длина наклонной плоскости, α — угол наклона плоскости, v_0 — модуль скорости бруска сразу после толчка, μ — коэффициент трения между бруском и плоскостью, \bar{a}_\uparrow — ускорение бруска при движении вверх вдоль наклонной плоскости, \bar{a}_\downarrow — ускорение бруска при движении вниз вдоль наклонной плоскости, t_\uparrow — время движения бруска вверх вдоль наклонной плоскости, t_\downarrow — время движения бруска вниз вдоль наклонной плоскости. Направим ось x вдоль наклонной плоскости вниз, а ось y — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

а) Когда брусок движется по наклонной плоскости вверх, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вниз. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha + \mu N = ma_\uparrow; \\ O_y: mg\cos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить a_\uparrow через g , α и μ .

Когда брусок движется по наклонной плоскости вниз, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha - \mu N = ma_\downarrow; \\ O_y: mg\cos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить a_\downarrow через g , α и μ .

Получив выражения для a_\uparrow и a_\downarrow , можно найти выражение и для их отношения.

б) При движении вверх по наклонной плоскости брусок проходит до остановки путь l , который выражается формулой $l = \frac{v_0^2}{2a_\uparrow}$. Начальная скорость связана с ускорением бруска и временем движения до остановки соотношением $v_0 = a_\uparrow t_\uparrow$. Используя последние две формулы, можно выразить l через a_\uparrow и t_\uparrow . При движении вниз по наклонной плоскости брусок проходит такой же путь l , который выражается формулой $l = \frac{a_\downarrow t_\downarrow^2}{2}$.

Приравняв выражения для путей при движении бруска вверх и вниз, получим уравнение, с помощью которого можно выразить отношение времён $\frac{t_\downarrow}{t_\uparrow}$ через отношение ускорений $\frac{a_\downarrow}{a_\uparrow}$.

248. Обозначения: m — масса санок с мальчиком, l — длина горки, t — время скатывания санок с горки, α — угол наклона горки, μ — коэффициент трения между полозьями саней и снегом. Направим ось x вдоль горки вниз, а ось y — перпендикулярно горке вверх. Когда сани с мальчиком движутся по наклонной плоскости вниз, действующая на них сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона для саней с мальчиком в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения, имеет вид

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha - \mu N = ma_x; \\ O_y: mg\cos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

По условию сани с мальчиком начали движение из состояния покоя, следовательно, $a_x > 0$. При равноускоренном движении без начальной скорости $l = \frac{at^2}{2}$. Используя написанные уравнения, можно выразить μ через величины, данные в условии.

249. Обозначения: m — масса бруска, α — угол наклона плоскости, μ — коэффициент трения между бруском и плоскостью, \vec{F}_1 — сила, которую надо прикладывать к бруску для его равномерного движения вниз, \vec{F}_2 — сила, которую надо прикладывать к бруску для его равномерного движения вверх. Направим ось x вдоль наклонной плоскости вниз, а ось y — перпендикулярно наклонной плоскости вверх.

Прежде всего, надо определить, как должна быть направлена приложенная к бруску сила: вверх вдоль наклонной плоскости или вниз?

Если брусок равномерно движется по наклонной плоскости вверх, то приложенная к нему сила может быть направлена вдоль наклонной плоскости только вверх, потому что без этой силы брусок может либо покоиться на наклонной плоскости, либо скользить по ней вниз.

А вот если брусок равномерно движется по наклонной плоскости вниз, то направление приложенной к бруску силы зависит от соотношения между углом наклона плоскости и коэффициентом трения между бруском и плоскостью.

Если брусок «сам по себе» покоится на наклонной плоскости, то для того, чтобы он равномерно двигался по наклонной плоскости вниз, к нему надо прикладывать силу, направленную вдоль наклонной плоскости тоже вниз.

Если же брусок «сам по себе» соскальзывает с наклонной плоскости, то для того, чтобы он равномерно двигался по наклонной плоскости вниз, к нему надо прикладывать силу, направленную вдоль наклонной плоскости вверх.

Докажите, что тело может покоиться на наклонной плоскости, если справедливо неравенство $\operatorname{tg} \alpha \leq \mu$. Подставляя в это неравенство данные из условия задачи, мы видим, что данном случае это неравенство выполнено. Следовательно, когда брусок равномерно движется по наклонной плоскости вниз, приложенная к нему сила направлена вдоль наклонной плоскости вниз, то есть проекция этой силы на ось x положительна.

Когда брусок движется по наклонной плоскости вниз, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вверх. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения и того, что брусок движется равномерно, имеет вид

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha - \mu N + F_1 = 0; \\ O_y: mg\cos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить F_1 через величины, данные в условии.

Когда брусок движется по наклонной плоскости вверх, действующая на него сила трения скольжения направлена вдоль наклонной плоскости вниз. Поэтому второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат, с учётом выражения для силы трения скольжения и того, что брусок движется равномерно, имеет вид

$$\begin{cases} O_x: mgsin\alpha + \mu N - F_2 = 0; \\ O_y: mg\cos\alpha - N = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить F_2 через величины, данные в условии.

250. Обозначения: m — масса бруска, α — угол наклона плоскости, a — модуль ускорения, с которым движется плоскость, N — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок со стороны плоскости. По условию плоскость гладкая, то есть трением

можно пренебречь, поэтому на брусок действуют только сила тяжести и сила нормальной реакции со стороны плоскости. Так как брусок покоится относительно плоскости, он движется относительно стола с таким же ускорением, как и плоскость. Направим ось x горизонтально в направлении ускорения плоскости, а ось y — вертикально вверх. Второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha = ma; \\ O_y: N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить a и N через величины, заданные в условии.

251. Обозначения: m — масса шарика, \bar{T} — сила натяжения нити, α — угол наклона плоскости. Так как шарик покоится относительно тележки, он движется относительно земли с таким же ускорением, как и тележка. Поскольку трением между тележкой и плоскостью можно пренебречь, тележка движется с ускорением $a = g \sin \alpha$. Направим ось x вдоль наклонной плоскости вниз, а ось y — перпендикулярно наклонной плоскости вверх. Второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: T_x + mg \sin \alpha = ma; \\ O_y: T_y - mg \cos \alpha = 0. \end{cases}$$

Подставляя выражение для ускорения в первое уравнение системы, находим, что $T_x = 0$. Это означает, что нить перпендикулярна наклонной плоскости. В таком случае она составляет угол α с вертикалью. Поскольку $T_x = 0$, получаем $T = T_y$.

252. Движение шайбы по наклонной плоскости аналогично движению тела, брошенного под углом к горизонту. Направим ось x от A к B , а ось y вверх вдоль наклонной плоскости. Используя второй закон Ньютона, можно показать, что при скольжении по гладкой наклонной плоскости шайба движется с ускорением, направленным вдоль наклонной плоскости вниз, причём $a = g \sin \alpha$. Используя формулы для движения тела, брошенного под углом к горизонту, получаем выражения для дальности и высоты «полёта» шайбы, в котором вместо g стоит a , а вместо α стоит β .

258. Обозначения: m — масса шайбы, r — радиус окружности, по которой движется шайба, v — скорость шайбы, N — модуль силы нормальной реакции, α — угол между образующей конуса и вертикалью, T — период обращения шайбы. Направим ось x горизонтально к центру окружности, по которой скользит шайба, а ось y — вертикально вверх. Второй закон Ньютона для шайбы в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: N \cos \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Период обращения T связан со скоростью шайбы v соотношением $T = \frac{2\pi r}{v}$. Используя написанные уравнения, можно выразить T через величины, заданные в условии.

264. Обозначения: m — масса шайбы, R — радиус полусферы, N — модуль силы нормальной реакции, α — угол между силой нормальной реакции и вертикалью, r — радиус окружности, по которой движется шайба, v — модуль скорости шайбы, T — период обращения шайбы. Направим ось x горизонтально к центру окружности, по которой скользит шайба, а ось y — вертикально вверх. Из условия, что шайба находится на высоте $\frac{R}{2}$ от нижней точки полусферы, следует, что $\cos \alpha = 0,5$. Это равенство позволяет определить

значение угла α . Сделав чертёж, можно убедиться, что $r = R \sin \alpha$. Второй закон Ньютона для шайбы в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Период обращения T связан со скоростью шайбы v соотношением $T = \frac{2\pi r}{v}$. Используя написанные уравнения, можно выразить v и T через величины, заданные в условии.

265. Обозначения: m — масса шарика, R — радиус полусферы, r — радиус окружности, по которой движется шарик, α — угол между нитью и вертикалью, N — модуль силы нормальной реакции, действующей на шарик, T — модуль силы натяжения нити, v — модуль скорости шарика в первом опыте, v_{\min} — минимальная скорость шарика, при которой он не давит на полусферу. Направим ось x горизонтально к центру окружности, по которой движется шарик, а ось y — вертикально вверх. Сделав чертёж, можно убедиться, что $r = R \cos \alpha$.

а) С учётом того, что нить направлена по касательной к полусфере, второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: T \sin \alpha - N \cos \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: T \cos \alpha + N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя написанные уравнения, можно выразить N через величины, заданные в условии. Согласно третьему закону Ньютона искомая сила, с которой шарик давит на полусферу, равна по модулю силе нормальной реакции, с которой полусфера действует на шарик.

б) Чтобы получить выражение для v_{\min} , можно воспользоваться уже полученным выражением для N . Приравняв N нулю, получим искомое выражение для v_{\min} .

266. Обозначения: m — масса груза, v — скорость поезда, k — жёсткость пружины, x — удлинение пружины, $F_{\text{упр}}$ — модуль силы упругости пружины, r — радиус дуги поворота, α — угол между нитью и вертикалью. Направим ось x горизонтально к центру окружности, по которой движется поезд, а ось y — вертикально вверх. Второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{упр}} \sin \alpha = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: F_{\text{упр}} \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Чтобы «исключить» из этой системы уравнений угол α , можно воспользоваться основным тригонометрическим тождеством ($\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$). Мы получим $F_{\text{упр}}^2 = \left(\frac{mv^2}{r} \right)^2 + (mg)^2$.

Согласно закону Гука $F_{\text{упр}} = kx$. Используя написанные уравнения, можно выразить r через величины, заданные в условии.

267. Обозначения: m — масса бруска, ν — частота вращения воронки, r — радиус окружности, по которой движется брусок, N — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок, μ — коэффициент трения между бруском и воронкой, α — угол, который образующая воронки составляет с горизонталью. Модуль центростремительного ускорения, с которым движется брусок, можно выразить через частоту вращения и радиус окружности, по которой движется брусок: $a = (2\pi\nu)^2 r$. Направим ось x горизонтально к центру окружности, по которой движется брусок, а ось y — вертикально вверх.

а) Если на брусок не действует сила трения, второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha = m(2\pi v_0)^2 r; \\ O_y: N \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить v_0 через величины, данные в условии.

б, в) Если частота вращения воронки не равна v_0 , то брусок может оставаться в покое относительно вращающейся воронки только при условии, что на него при этом действует сила трения покоя. Эта сила направлена вдоль образующей воронки и не может превышать по модулю максимальную силу трения покоя, которую мы принимаем равной μN .

Если сила трения покоя направлена вдоль образующей воронки вверх и равна своему максимальному значению, второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha - \mu N \cos \alpha = m(2\pi v_1)^2 r; \\ O_y: N \cos \alpha + \mu N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить v_1 через величины, данные в условии.

Если сила трения покоя направлена вдоль образующей воронки вниз и равна своему максимальному значению, второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: N \sin \alpha + \mu N \cos \alpha = m(2\pi v_2)^2 r; \\ O_y: N \cos \alpha - \mu N \sin \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Используя эту систему уравнений, можно выразить v_2 через величины, данные в условии.

Сравнивая полученные выражения для v_0 , v_1 и v_2 , мы увидим, что $v_1 < v_0 < v_2$. Следовательно, $v_{\min} = v_1$, $v_{\max} = v_2$. Заметим, что при $v < v_0$ действующая на брусок сила трения покоя направлена вверх вдоль образующей, а при $v > v_0$ сила трения покоя направлена вниз вдоль образующей.

268. Обозначения: m — масса шарика, l_0 — длина недеформированной пружины, l — длина деформированной пружины, k — жёсткость пружины, r — радиус окружности, по которой движется шарик, α — угол между пружиной и вертикалью, ω — угловая скорость вращения шарика, $F_{\text{упр}}$ — модуль силы упругости пружины, x — удлинение пружины. Направим ось x горизонтально к центру окружности, по которой движется шарик, а ось y — вертикально вверх. Второй закон Ньютона для шарика в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{упр}} \sin \alpha = m\omega^2 r; \\ O_y: F_{\text{упр}} \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Радиус r окружности, по которой движется шарик, можно выразить через длину l деформированной пружины и угол α : $r = l \sin \alpha$. Согласно закону Гука $F_{\text{упр}} = kx$. Кроме того, $l = l_0 + x$. Используя эти уравнения, можно переписать систему уравнений в виде системы двух уравнений для двух неизвестных: l_0 и x . С помощью этой системы можно выразить l_0 через величины, заданные в условии.

278. Обозначения: $m_{\text{в}}$, $m_{\text{н}}$ — массы верхнего и нижнего брусков, $m_{\text{г}}$ — масса груза, a — модуль общего ускорения тел, когда бруски движутся как единое целое, μ — коэффициент трения между брусками, T — модуль силы натяжения нити, $N_{\text{в}}$ — модуль силы нормальной реакции, действующей на верхний брусок, $N_{\text{н}}$ — модуль силы нормальной

реакции, действующей на нижний брусок, $a_{\text{в}}$ — модуль ускорения верхнего бруска, когда бруски движутся друг относительно друга, $a_{\text{н}}$ — модуль ускорения нижнего бруска, когда бруски движутся друг относительно друга, $a_{\text{г}}$ — модуль ускорения груза, когда бруски движутся друг относительно друга. Направим ось x горизонтально вправо, а ось y — вертикально вниз.

а) Если бруски движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя. Второй закон Ньютона для верхнего и нижнего брусков в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{тр. пок}} = m_{\text{в}} a; \\ O_y: m_{\text{в}} g - N_{\text{в}} = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} O_x: T - F_{\text{тр. пок}} = m_{\text{н}} a; \\ O_y: m_{\text{н}} g + N_{\text{в}} - N_{\text{н}} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Второй закон Ньютона для груза:

$$m_{\text{г}} g - T = m_{\text{г}} a. \quad (3)$$

Из первых уравнений систем (1, 2) и уравнения (3) можно выразить a через заданные в условии величины. Подставляя это выражение в первое уравнение системы (1), получим:

$$F_{\text{тр. пок}} = \frac{m_{\text{в}} m_{\text{г}} g}{m_{\text{в}} + m_{\text{н}} + m_{\text{г}}}. \quad (4)$$

Теперь надо учесть, что сила трения покоя не может превышать максимальной силы трения покоя. Мы принимаем её равной силе трения скольжения, то есть произведению коэффициента трения на силу нормальной реакции. Таким образом, должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N_{\text{в}}. \quad (5)$$

Из второго уравнения системы (1) следует, что в данном случае

$$N_{\text{в}} = m_{\text{в}} g. \quad (6)$$

Из соотношений (4—6) следует: чтобы бруски двигались как единое целое, должно выполняться неравенство

$$\frac{m_{\text{в}} m_{\text{г}} g}{m_{\text{в}} + m_{\text{н}} + m_{\text{г}}} \leq \mu m_{\text{в}} g. \quad (7)$$

Из этого неравенства следует искомое неравенство для μ .

б) Значение коэффициента трения 0,5 превышает наименьшее значение коэффициента трения между брусками, при котором они движутся как единое целое. Поэтому выразить общее ускорение брусков через величины, заданные в условии, можно, используя системы уравнений (1, 2) и уравнение (3).

в) Значение коэффициента трения 0,1 меньше наименьшего значения коэффициента трения между брусками, при котором они движутся как единое целое. Следовательно, в этом случае бруски будут двигаться друг относительно друга, то есть между ними будут действовать силы трения скольжения. В этом случае второй закон Ньютона для верхнего и нижнего брусков в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: \mu N_{\text{в}} = m_{\text{в}} a_{\text{в}}; \\ O_y: m_{\text{в}} g - N_{\text{в}} = 0; \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} O_x: T - \mu N_{\text{в}} = m_{\text{н}} a_{\text{н}}; \\ O_y: m_{\text{н}} g + N_{\text{в}} - N_{\text{н}} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Второй закон Ньютона для груза:

$$m_{\text{г}}g - T = m_{\text{г}}a_{\text{г}}. \quad (10)$$

Поскольку нижний брусок связан с грузом нерастяжимой нитью,

$$a_{\text{н}} = a_{\text{г}}. \quad (11)$$

Используя уравнения (8—11), можно выразить ускорения брусков через величины, заданные в условии.

281. Обозначения: m_1, m_2 — массы брусков, k — жёсткость пружины, F — модуль приложенной силы, $F_{\text{упр}}$ — модуль силы упругости пружины, x — удлинение пружины, α — угол между направлением силы и горизонталью, N_1 — модуль силы нормальной реакции, действующей на первый брусок, N_2 — модуль силы нормальной реакции, действующей на второй брусок. Направим ось x горизонтально вправо, а ось y — вертикально вверх.

Второй закон Ньютона для первого и второго брусков в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} Ox: F \cos \alpha - F_{\text{упр}} = m_1 a; \\ Oy: F \sin \alpha + N_1 - m_1 g = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} Ox: F_{\text{упр}} = m_2 a; \\ Oy: N_2 - m_2 g = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Складывая первые уравнения систем (1, 2), получим одно уравнение, с помощью которого можно выразить общее ускорение системы брусков a через величины, заданные в условии. Подставляя это выражение в первое уравнение системы (2), получим выражение для $F_{\text{упр}}$. Используя закон Гука, получим выражение для x .

282. Обозначения: $m_{\text{б}}$ — масса бруска, $m_{\text{г}}$ — масса гири, T — модуль силы натяжения нити, N — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок, a — модуль ускорения системы тел. Направим ось x горизонтально вправо, а ось y — вертикально вниз.

Второй закон Ньютона для бруска и гири в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} Ox: T = m_{\text{б}} a; \\ Oy: m_{\text{б}} g - N = 0; \end{cases}$$

$$Oy: m_{\text{г}} g - T = m_{\text{г}} a.$$

Используя написанные уравнения и данные из условия, можно найти $\frac{m_{\text{б}}}{m_{\text{г}}}$.

283. Обозначения: m_1 — масса более массивного груза, m_2 — масса менее массивного груза, a — модуль ускорения грузов. T — модуль силы натяжения нити, $F_{\text{упр}}$ — модуль силы упругости пружины динамометра (равный показаниям динамометра). Направим ось x вертикально вниз.

Второй закон Ньютона в проекциях на эту ось для первого и второго грузов: $m_1 g - T = m_1 a$, $m_2 g - T = -m_2 a$.

Используя эти уравнения, можно выразить a и T через величины, заданные в условии. Поскольку по условию массой блока можно пренебречь (блок лёгкий), из условия равновесия блока следует, что $F_{\text{упр}} = 2T$.

284. Обозначения: N — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок, T_1 — сила натяжения нити, к которой подвешена гиря массой m , T_2 — сила натяжения нити, к которой подвешена гиря массой $2m$, μ — коэффициент трения между бруском

и столом, a — модуль ускорения тел. Направим ось x горизонтально вправо, а ось y — вертикально вниз.

Согласно условию в начальный момент тела покоятся. Поскольку надо учитывать трение, прежде всего надо выяснить: начнут ли тела двигаться?

Предположим, что тела останутся в покое. Тогда между бруском и столом действуют силы трения покоя.

С учётом второго закона Ньютона для гирь, второй закон Ньютона для бруска в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: 2mg - F_{\text{тр. пок}} - mg = 0; \\ O_y: 4mg - N = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Из этой системы уравнений следует:

$$F_{\text{тр. пок}} = mg, \quad (2)$$

$$N = 4mg. \quad (3)$$

Сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое принимают равным силе трения скольжения:

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu N. \quad (4)$$

Из уравнений (2—4) следует, что брусок останется в покое, если выполнено условие

$$\mu \geq 0,25.$$

Согласно приведённым в условии данным, это неравенство не выполняется. Следовательно, тела начнут двигаться.

В таком случае между бруском и столом будут действовать силы трения скольжения. Второй закон Ньютона для бруска и гирь в проекциях на оси координат можно записать в виде

$$\begin{cases} O_x: T_2 - T_1 - \mu N = 4ma; \\ O_y: 4mg - N = 0; \end{cases} \quad (5)$$

$$O_y: 2mg - T_2 = 2ma, \quad (6)$$

$$O_y: mg - T_1 = -ma. \quad (7)$$

Из системы уравнений (5) следует, что

$$T_2 - T_1 - 4\mu mg = 4ma. \quad (8)$$

Уравнения (6—8) представляют собой систему трёх уравнений с тремя неизвестными: T_1 , T_2 и a . Решая эту систему, находим выражения для этих величин через величины, заданные в условии.

285. Обозначения: m_b — масса бруска, m_t — масса тележки, N_b — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок, N_t — модуль силы нормальной реакции, действующей на тележку, a — модуль общего ускорения тел в случае, когда они движутся как единое целое.

Условие, при котором тележка и брусок будут двигаться друг относительно друга, можно найти, выяснив, при каком условии тележка и брусок будут двигаться как единое целое. Тогда при невыполнении этого условия тележка и брусок будут двигаться друг относительно друга, то есть тележка будет «выдёргиваться» из-под бруска.

Направим ось x горизонтально вправо, а ось y — вертикально вниз.

Если тележка и брусок движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя. В таком случае ускорения тел одинаковы, и второй закон Ньютона для тележки и бруска в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: F - F_{\text{тр. пок}} = m_T a; \\ O_y: m_T g + N_6 - N_T = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{тр. пок}} = m_6 a; \\ O_y: m_6 g - N_6 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Складывая первые уравнения систем (1—2), получим:

$$a = \frac{F}{m_6 + m_T}. \quad (3)$$

Подставляя это выражение для ускорения в первое уравнение системы (2), получаем:

$$F_{\text{тр. пок}} = F \frac{m_6}{m_6 + m_T}. \quad (4)$$

Учтём теперь, что сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое принимают равным силе трения скольжения, равной в данном случае μN_6 . Используя второе уравнение системы (2), находим, что должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu m_6 g. \quad (5)$$

Подставляя в это неравенство выражение (4), получаем искомое неравенство для модуля силы F , выраженное через величины, заданные в условии.

286. Обозначения: m_6 — масса бруска, m_T — масса тележки, N_6 — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок, N_T — модуль силы нормальной реакции, действующей на тележку, a — модуль общего ускорения тел в случае, когда они движутся как единое целое.

Условие, при котором тележка и брусок будут двигаться друг относительно друга, можно найти, выяснив предварительно, при каком условии тележка и брусок будут двигаться как единое целое. Тогда при невыполнении этого условия тележка и брусок будут двигаться друг относительно друга, то есть тележка будет «выдёргиваться» из-под бруска.

Направим ось x горизонтально вправо, а ось y — вертикально вниз.

Если тележка и брусок движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя. В таком случае ускорения тел одинаковы, и второй закон Ньютона для тележки и бруска в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{тр. пок}} = m_T a; \\ O_y: m_T g + N_6 - N_T = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} O_x: F - F_{\text{тр. пок}} = m_6 a; \\ O_y: m_6 g - N_6 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Складывая первые уравнения систем (1—2), получим:

$$a = \frac{F}{m_6 + m_T}. \quad (3)$$

Подставляя это выражение для ускорения в первое уравнение системы (1), получаем:

$$F_{\text{тр. пок}} = F \frac{m_T}{m_6 + m_T}. \quad (4)$$

Учтём теперь, что сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое принимают равным силе трения скольжения, равной в данном случае μN_6 . Используя второе уравнение системы (2), находим, что должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu m_6 g. \quad (5)$$

Подставляя в это неравенство выражение (4), получаем искомое неравенство для модуля силы F , выраженное через величины, заданные в условии.

Обратите внимание на то, что сила, которую надо приложить к массивному бруску, чтобы сорвать его с лёгкой тележки, намного больше, чем сила, которую надо приложить к лёгкой тележке, чтобы выдернуть её из-под массивного бруска (сравните с предыдущей задачей)!

287. Обозначения: m_d — масса доски, m_6 — масса бруска, \vec{F} — прикладываемая к доске сила, N_6 — модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок, N_d — модуль силы нормальной реакции, действующей на доску, $F_{\text{тр. пок}}$ — модуль сил трения покоя, действующих на брусок и доску. Направим ось x горизонтально вправо, а ось y — вертикально вниз.

Если доска и брусок движутся как единое целое, между ними действуют силы трения покоя. В таком случае ускорения тел одинаковы, и второй закон Ньютона для доски и бруска в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: F - F_{\text{тр. пок}} = m_d a; \\ O_y: m_d g + N_6 - N_d = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} O_x: F_{\text{тр. пок}} = m_6 a; \\ O_y: m_6 g - N_6 = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Складывая первые уравнения систем (1—2), получим:

$$a = \frac{F}{m_6 + m_d}. \quad (3)$$

Подставляя это выражение для ускорения в первое уравнение системы (2), получаем:

$$F_{\text{тр. пок}} = F \frac{m_6}{m_6 + m_d}. \quad (4)$$

Учтём теперь, что сила трения покоя не может превышать своего максимального значения, которое принимают равным силе трения скольжения, равной в данном случае μN_6 . Используя второе уравнение системы (2), находим, что должно выполняться неравенство

$$F_{\text{тр. пок}} \leq \mu m_6 g. \quad (5)$$

Подставляя в это неравенство выражение (4), получаем неравенство для модуля силы F , выраженное через величины, заданные в условии. Подставляя значения этих величин, находим, что в данном случае условие (5) не выполняется, то есть брусок начнёт скользить по доске.

В таком случае между бруском и доской будут действовать силы трения скольжения, равные произведению коэффициента трения на модуль силы нормальной реакции, действующей на брусок. Используя это выражение для силы трения скольжения, получаем из второго закона Ньютона для доски и бруска:

$$F - \mu m_6 g = m_d a_d, \quad (6)$$

$$\mu m_6 g = m_6 a_6. \quad (7)$$

С помощью уравнений (6, 7) можно выразить ускорения доски и бруска через величины, заданные в условии.

Брусок соскользнет с доски в тот момент, когда пройденный доской путь будет больше, чем путь, пройденный бруском, на длину доски. В этот момент выполняется равенство

$$l_d - l_b = L. \quad (8)$$

Пути, пройденные бруском и доской, можно выразить через их ускорения и время движения:

$$l_d = \frac{a_d t^2}{2}, \quad (9)$$

$$l_b = \frac{a_b t^2}{2}. \quad (10)$$

Подставляя эти выражения в уравнение (8), выражаем t через величины, заданные в условии.

Законы сохранения в механике

301. Модуль изменения импульса шайбы в результате столкновения можно найти, используя теорему Пифагора. Согласно закону сохранения импульса модуль импульса куска льда сразу после столкновения равен модулю изменения импульса шайбы. Это позволяет определить скорость куска льда сразу после столкновения. Ускорение куска льда при его скольжении после столкновения можно определить с помощью второго закона Ньютона, зная коэффициент трения между ним и льдом. Зная скорость куска льда сразу после столкновения и его ускорение при скольжении, можно найти путь, пройденный куском льда до остановки.

310. Обозначения: m — масса любого шарика, \vec{v}_1, \vec{v}_2 — скорости шариков до столкновения, \vec{u}_1, \vec{u}_2 — скорости шариков после столкновения. Согласно закону сохранения импульса $m(\vec{u}_1 + \vec{u}_2) = m(\vec{v}_1 + \vec{v}_2)$. Это уравнение позволяет выразить \vec{u}_2 через \vec{v}_1, \vec{v}_2 и \vec{u}_1 . Чтобы найти u_2 , можно воспользоваться теоремой Пифагора, учитывая, что \vec{v}_1 и \vec{u}_1 направлены вдоль одной прямой, а \vec{v}_2 перпендикулярна этой прямой.

326. Обозначения: m_T — масса тележки, m_q — масса человека, L — длина тележки, v_T — скорость тележки относительно земли, v_q — скорость человека относительно земли, l_T — путь, пройденный тележкой относительно земли, l_q — путь, пройденный человеком относительно земли, t — промежуток времени, в течение которого человек переходит от одного края тележки до другого. Направим ось x горизонтально в направлении движения человека.

Поскольку трением между тележкой и рельсами по условию можно пренебречь, проекция суммарного импульса тележки и человека на ось x не изменяется, то есть остаётся равной нулю (в начальный момент человек и тележка покоились). Отсюда следует, что когда человек начнёт идти по тележке, она начнёт перемещаться в противоположном направлении. Так как проекция суммарного импульса человека и тележки на ось x равна нулю, получаем для проекций скоростей: $m_T v_{Tx} + m_q v_{qx} = 0$. Отсюда для модулей скоростей следует: $m_T v_T = m_q v_q$.

За время движения по тележке человек и тележка пройдут пути, выражаемые формулами $l_q = v_q t$, $l_T = v_T t$. Поскольку человек и тележка перемещаются относительно земли в противоположных направлениях, $l_q + l_T = L$. Используя написанные уравнения, можно выразить l_T через величины, заданные в условии.

331. Используя формулы, описывающие движение тела, брошенного вертикально вверх, можно доказать, что через 3 с после броска первый шар находился на высоте 15 м и двигался со скоростью 10 м/с, направленной вертикально вниз.

Скорость слипшихся шаров сразу после удара можно найти, воспользовавшись законом сохранения импульса. В дальнейшем движение слипшихся шаров можно рассматривать как движение тела, брошенного под углом к горизонту, учитывая, что начальная скорость тела направлена под углом вниз.

335. Обозначения: m_p — масса ракеты без первой ступени, m_c — масса первой ступени, h — высота, на которой произошло отделение ступени, v_x — проекция скорости первой ступени относительно земли сразу после отделения на ось x , направленную вертикально вниз, t — время движения первой ступени от момента отделения до падения на землю, V_x — проекция скорости ракеты непосредственно перед отделением ступени, u_x — проекция скорости ракеты сразу после отделения ступени. Из формул, описывающих движение тела, брошенного вертикально, получаем $v_x t + \frac{gt^2}{2} = h$. Закон сохранения импульса при отделении ступени можно записать в проекциях на ось x в виде $(m_p + m_c)V_x = m_p u_x + m_c v_x$. Используя написанные уравнения, можно выразить v_x и m_c через величины, заданные в условии.

357. Обозначения: m — масса куба, k — жёсткость пружины, h — высота, на которой в конечный момент находится нижняя грань куба.

а) Сначала пружину надо растянуть настолько, чтобы оторвать куб от пола. Из закона Гука следует, что при этом деформация пружины увеличивается от нуля до $x = \frac{mg}{k}$. Совершаемую при этом работу можно выразить через m , g и k , воспользовавшись законом Гука, а также тем, что работа численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости силы от перемещения. В данном случае эта фигура — треугольник.

б) При подъёме куба прикладываемая к пружине сила остаётся постоянной, поэтому работа равна произведению силы (равной весу куба) на перемещение h .

369. Обозначения: m — масса груза, x_0 — растяжение пружины, когда груз находится в равновесии, x_1 — растяжение пружины в конечном состоянии, d — расстояние, на которое поднимают груз, \vec{F} — сила, прикладываемая к грузу при его подъёме. Работа, которую должна совершить сила \vec{F} , чтобы приподнять груз, численно равна площади фигуры, заключённой под графиком зависимости прикладываемой силы \vec{F} от перемещения. По условию груз поднимают равномерно, поэтому можно считать, что в каждый момент он находится в равновесии. В начальный момент $F_0 = 0$. В конечный момент $x_1 = x_0 + d$, $F_1 = mg - kx_1$. Справедливо соотношение $k = \frac{mg}{x_0}$. Используя написанные уравнения, можно выразить F_1 через величины, данные в условии.

В данном случае фигура, заключённая под графиком зависимости прикладываемой силы от перемещения — прямоугольный треугольник с катетами, равными F_1 и d . Его площадь численно равна искомой работе: $A = \frac{F_1 d}{2}$.

370. Обозначения: P — мощность двигателя, l — расстояние, пройденное автомобилем за время, в течение которого расход бензина составил 6 л, t — время, за которое автомобиль проехал это расстояние, v — скорость автомобиля, Q — количество теплоты, выделившееся при сгорании бензина, m_b — масса израсходованного бензина, V_b — объём израсходованного бензина, q — удельная теплота сгорания бензина, η — коэффициент полезного действия двигателя, выраженный дробью. Совершённая двигателем работа за время, в течение которого был израсходован указанный объём бензина, выражается формулой $A = Pt$. Время движения $t = \frac{l}{v}$. При сгорании бензина выделяется количество теплоты $Q = m_b q$. Массу бензина можно выразить через его плотность и объём. Работа A связана с Q соот-

ношением $A = \eta Q$. Используя написанные уравнения, можно выразить η через величины, заданные в условии.

371. Работа силы тяжести $A_T = -mgh$, где h — высота, на которой окажется тело через 1 с после броска. Эту высоту можно найти, используя формулы для движения тела, брошенного под углом к горизонту.

372. Обозначения: m — масса пластины, k — жёсткость пружины, x_1 — деформация пружины в момент, когда пластина отрывается от стола. Работа A_1 по растяжению пружины до момента, когда пластина оторвётся от стола, выражается формулой: $A_1 = \frac{kx_1^2}{2}$.

Деформацию x_1 пружины в момент отрыва пластины от стола можно найти из закона Гука и условия, что сила упругости пружины уравнивает силу тяжести. Работа A_2 по подъёму пластины на заданную высоту равна произведению силы тяжести на эту высоту. Искомая работа $A = A_1 + A_2$.

373. При движении шайбы вверх и вниз вдоль наклонной плоскости работа силы трения скольжения одинакова, потому что одинаков модуль этой силы $F_{\text{тр}}$ и модуль перемещения s . В обоих случаях сила скольжения направлена противоположно перемещению, поэтому полная работа силы трения $A_{\text{тр}} = -2F_{\text{тр}}s$. Модуль силы трения скольжения можно выразить через данные в условии величины. Модуль s перемещения шайбы при движении вдоль наклонной плоскости вверх можно выразить через начальную скорость шайбы v_0 и её ускорение при движении вдоль наклонной плоскости вверх. Используя второй закон Ньютона, это ускорение можно выразить через данные в условии величины.

388. Обозначения: m — масса шарика, h_1 — начальная глубина шарика, h_2 — высота подъёма шарика, F_A — модуль силы Архимеда, F_c — модуль средней силы сопротивления воды (равный отношению модуля работы силы сопротивления к пройденному в воде пути). По условию начальная и конечная кинетическая энергия шарика равна нулю. Поэтому, согласно теореме об изменении кинетической энергии, суммарная работа всех приложенных к шарика сил при переходе из начального положения в конечное равна нулю. Следовательно, учитывая знаки работ приложенных к шарика сил, можно записать: $F_A h_1 - mg(h_1 + h_2) - F_c h_1 = 0$. Модуль силы Архимеда можно выразить через объём шарика и плотность воды, а объём шарика — через его массу и плотность. Поэтому из написанного уравнения можно выразить F_c через данные в условии величины.

399. Обозначения: k_1 и k_2 — жёсткости пружин, x_1 и x_2 — деформации пружин под весом груза. Потенциальные энергии пружин выражаются формулами $E_{p1} = \frac{k_1 x_1^2}{2}$, $E_{p2} = \frac{k_2 x_2^2}{2}$.

Силы упругости пружин одинаковы: каждая из них равна весу груза. Поэтому деформации пружин под весом груза можно выразить через массу груза и жёсткости пружин. Благодаря этому можно выразить отношение потенциальных энергий пружин через k_1 и k_2 .

400. Согласно теореме об изменении кинетической энергии кинетическая энергия E_k бруска у основания наклонной плоскости равна работе равнодействующей приложенных к бруску сил, то есть сумме работы силы тяжести $A_{\text{тяж}}$ и работы силы трения скольжения $A_{\text{тр}}$: $E_k = A_{\text{тяж}} + A_{\text{тр}}$. Работа силы тяжести равна произведению силы тяжести на высоту наклонной плоскости. Модуль работы силы трения равен произведению силы трения скольжения на длину наклонной плоскости. Надо учесть, что работа силы трения скольжения отрицательна. Сила трения скольжения равна произведению коэффициента трения на силу нормальной реакции. Силу нормальной реакции можно выразить через данные в условии величины, используя второй закон Ньютона.

409. Обозначения: M и m — массы шаров ($M > m$), v — модуль скоростей шаров, когда стержень находится в вертикальном положении (поскольку шары находятся на одинаковых расстояниях от оси вращения, модули их скоростей в любой момент равны). При

переходе стержня от горизонтального положения к вертикальному потенциальная энергия более массивного шара уменьшается на Mgl , а потенциальная энергия менее массивного шара увеличивается на mgl . Поскольку в начальном состоянии шары покоились, согласно закону сохранения энергии в механике получаем $\frac{Mv^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = Mgl - mgl$. Используя это уравнение, можно выразить v через величины, данные в условии.

412. Обозначения: m — масса шара, k — жёсткость пружины, x_0 — удлинение пружины, когда подвешенный к ней шар находится в равновесии, v — модуль скорости шара при прохождении равновесия. Когда подвешенный к пружине шар находился в равновесии, сила упругости пружины уравновешивала действующую на шар силу тяжести. Отсюда следует, что $kx_0 = mg$. По условию шар подняли до положения, при котором пружина недеформирована, то есть на высоту, равную x_0 . Сопоставим нулевое значение потенциальной энергии шара положению равновесия. Тогда потенциальная энергия поднятого шара равна mgx_0 , его кинетическая энергия равна нулю, и потенциальная энергия пружины в начальном положении (шар поднят) тоже равна нулю. При прохождении положения равновесия механическая энергия системы равна сумме кинетической энергии шара и потенциальной энергии пружины. Следовательно, из закона сохранения энергии в механике следует, что $\frac{mv^2}{2} + \frac{kx_0^2}{2} = mgx_0$. Используя написанные уравнения, можно выразить v через величины, заданные в условии.

419. Обозначения: m — масса камня, v_0 — модуль начальной скорости камня, h — искомая высота. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{mv_1^2}{2} + mgh = \frac{mv_0^2}{2}$. По условию $v_1 = \frac{v_0}{3}$. Используя написанные уравнения, можно выразить h через v_0 .

420. Обозначения: m — масса бруска, k — жёсткость пружины, x_1 — начальное удлинение пружины, x_2 — удлинение пружины в данный момент (2 см), v — модуль скорости бруска в тот же момент. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{mv^2}{2} = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$. Используя это уравнение, можно выразить v через величины, заданные в условии.

421. Обозначения: m — масса тела, h — начальная высота тела, E_0 — начальная механическая энергия тела. Когда тело пролетает половину пути, его потенциальная энергия $E_p = \frac{mgh}{2} = \frac{E_0}{2}$. Если бы сопротивлением воздуха можно было пренебречь, полная механическая энергия тела сохранялась бы, поэтому на середине пути кинетическая энергия была бы тоже равна $\frac{E_0}{2}$. Однако в действительности из-за сопротивления воздуха кинетическая энергия меньше этого значения.

422. Обозначения: m_1, m_2 — массы брусков, v_1, v_2 — модули скоростей брусков при их движении после пережигания нити, E — потенциальная энергия сжатой пружины, E_{k1}, E_{k2} — кинетические энергии брусков при их движении после пережигания нити. В данном случае сохраняется суммарный импульс брусков и полная механическая энергия системы «бруски + пружина». Поэтому $m_1v_1 = m_2v_2$, $\frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{m_2v_2^2}{2} = E$. Из первого уравнения следует, что $\frac{v_1}{v_2} = \frac{m_2}{m_1}$. Отсюда получаем $\frac{E_{k1}}{E_{k2}} = \frac{m_2}{m_1}$. Используя написанные уравнения, можно выразить кинетические энергии брусков через величины, заданные в условии.

423. Обозначения: m — масса пули, M — масса бруска, v_0 — модуль скорости пули, v_6 — модуль скорости бруска с застрявшей в нём пулей сразу после попадания пули в брусок, v — скорость бруска с пулей непосредственно перед падением на пол, h — высота стола. Согласно закону сохранения импульса $mv_0 = (M + m)v_6$. Когда брусок с пулей слетает со стола, он движется по параболе, как тело, брошенное горизонтально. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{(M + m)v^2}{2} = \frac{(M + m)v_6^2}{2} + (M + m)gh$. Используя написанные уравнения, можно выразить v через величины, заданные в условии.

424. Обозначения: m — масса пули, M — масса бруска, v_0 — модуль скорости пули, v_6 — модуль скорости бруска с застрявшей в нём пулей сразу после попадания пули в брусок, F — модуль силы сопротивления движению пули, s — модуль перемещения пули внутри бруска. Согласно закону сохранения импульса $mv_0 = (M + m)v_6$. Согласно теореме об изменении кинетической энергии $\frac{(M + m)v_6^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = -Fs$. Используя написанные уравнения, можно выразить v_0 через величины, заданные в условии.

425. Обозначения: m — масса пули, v — модуль скорости пули в момент вылета из ружья, d — длина ствола ружья, α — угол наклона ружья, l — дальность полёта пули (расстояние между концом ствола ружья и точкой А), E — потенциальная энергия сжатой пружины. Согласно закону сохранения энергии в механике $mgd \sin \alpha + \frac{mv^2}{2} = E$. Дальность полёта тела, брошенного под углом к горизонту: $l = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{g}$. Используя написанные уравнения, можно выразить m через величины, заданные в условии.

427. Обозначения: m — масса шарика, l — длина нити, α — угол отклонения нити от вертикали в начальном состоянии, v — модуль скорости шарика при прохождении положения равновесия, h — высота, на которой находится шарик в начальном положении по сравнению с положением равновесия, T — модуль силы натяжения нити при прохождении шариком положения равновесия. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{mv^2}{2} = mgh$. Справедливо соотношение $h = l(1 - \cos \alpha)$. Уравнение второго закона Ньютона при прохождении шариком положения равновесия в проекциях на направленную вертикально вверх ось x : $\frac{mv^2}{l} = T - mg$. Согласно условию $T = 2mg$. Используя написанные уравнения, можно выразить α через величины, заданные в условии.

430. Обозначения: m — масса шарика, l — длина нити, $v_в$ — модуль скорости шарика в верхней точке траектории, $v_г$ — модуль скорости шарика в момент, когда нить горизонтальна, T — модуль силы натяжения нити в момент, когда нить горизонтальна. Когда шарик вращается на нити с минимально возможной скоростью, сила натяжения нити при прохождении шариком верхней точки траектории равна нулю. Поэтому на шарик в этой точке действует только сила тяжести. Следовательно, уравнение второго закона Ньютона для верхней точки траектории в проекциях на направленную вертикально вниз ось x имеет вид $\frac{mv_в^2}{l} = mg$. Уравнение второго закона Ньютона при прохождении шариком положения, когда нить горизонтальна, в проекции на ось x , направленную к центру окружности, имеет вид $\frac{mv_г^2}{l} = T$. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{mv_г^2}{2} = \frac{mv_в^2}{2} + mgl$. Используя написанные уравнения, можно выразить m через T и g .

433. а) Обозначения: r — радиус цилиндра, m — масса шайбы, $v_{\text{в}}$ — модуль скорости шайбы в верхней точке цилиндра. При минимально возможной скорости шайбы в верхней точке цилиндра на шайбу, находящуюся в этой точке, не действует сила нормальной реакции со стороны цилиндра, то есть действует только сила тяжести. Поэтому уравнение второго закона Ньютона для шайбы в проекции на направленную вертикально вниз ось x имеет вид $\frac{mv_{\text{в}}^2}{r} = mg$. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{mv_{\text{в}}^2}{2} + 2mgr = \frac{mv_0^2}{2}$.

Используя написанные уравнения, можно выразить v_0 через r и g .

б) Обозначения: r — радиус цилиндра, m — масса шайбы, h — высота, на которой шайба отрывается от цилиндра, v — модуль скорости шайбы в момент отрыва, $v_{\text{н}}$ — модуль скорости шайбы в нижней точке цилиндра. В момент отрыва шайбы от цилиндра на неё действует только сила тяжести, поэтому уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось x , направленную из точки отрыва шайбы к центру окружности, имеет вид $\frac{mv^2}{r} = mg \frac{h-r}{r}$. Дробь в правой части этого уравнения — косинус угла между вертикалью и радиусом, проведённым в точку отрыва шайбы. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv_{\text{н}}^2}{2}$. Используя написанные уравнения, можно выразить $v_{\text{н}}$ через r , h и g .

437. Обозначения: m — масса шайбы, v — скорость шайбы в момент, когда она находится на высоте $h = \frac{R}{6}$, N — модуль силы нормальной реакции, действующей на шайбу в данный момент.

а) Согласно закону сохранения энергии в механике получаем для данного момента времени $\frac{mv^2}{2} + \frac{mgR}{6} = \frac{mgR}{2}$.

в) В указанный момент уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось x , направленную из точки нахождения шайбы к центру окружности, имеет вид $\frac{mv^2}{R} = N - mg \cos \alpha$. Здесь N — модуль силы нормальной реакции, α — угол между вертикалью и радиусом, проведённым в точку нахождения шайбы. В данный момент $\cos \alpha = \frac{R-h}{R} = \frac{5}{6}$. Используя написанные уравнения, можно выразить N через m и g .

438. а) Обозначения: r — радиус окружности, h — высота, на которой шайба отрывается от жёлоба, H — начальная высота шайбы, v_1 — модуль скорости шайбы в момент отрыва от жёлоба. Согласно закону сохранения энергии в механике получаем для момента времени, когда шайба отрывается от жёлоба: $\frac{mv_1^2}{2} + mgh = mgH$. В момент отрыва шайбы уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось x , направленную из точки нахождения шайбы к центру окружности, имеет вид $\frac{mv_1^2}{r} = mg \cos \alpha$. В рассматриваемый момент $\cos \alpha = \frac{h-r}{r}$. Используя написанные уравнения, можно выразить H через h и r .

б) Обозначения: v_2 — модуль скорости шайбы в момент, когда она находится на высоте r , N — модуль действующей на шайбу силы нормальной реакции в этот момент. Согласно закону сохранения энергии в механике получаем для рассматриваемого момента времени $\frac{mv_2^2}{2} + mgr = mgH$. Поскольку в момент, когда шайба находится на уровне центра

окружности, проекция силы тяжести на ось x , направленную из точки нахождения шайбы к центру окружности, равна нулю, уравнение второго закона Ньютона в проекции на эту ось имеет вид $\frac{mv_2^2}{r} = N$. Используя выражение для N , полученное при выполнении задания а), а также написанные уравнения, можно выразить N через m , h , r и g . Согласно третьему закону Ньютона шайба давит на жёлоб с такой же по модулю силой, с какой и жёлоб давит на шайбу.

440. Обозначения: l — длина нити, m — масса шарика, α — угол с вертикалью в момент, когда сила натяжения нити равна по модулю действующей на шарик силе тяжести, v — модуль скорости шарика в этот момент, T — модуль силы натяжения нити в этот момент. Согласно закону сохранения энергии в механике получаем для рассматриваемого момента времени $\frac{mv^2}{2} = mgl\cos\alpha$. В рассматриваемый момент уравнение второго закона Ньютона в проекции на ось x , направленную из точки нахождения шарика к центру окружности, имеет вид $\frac{mv^2}{l} = T - mg\cos\alpha$. Согласно условию $T = mg$. Используя написанные уравнения, можно найти значение $\cos\alpha$, а потом и угол α .

441. Обозначения: r — радиус цилиндра, m — масса шайбы, v — модуль скорости шайбы в момент отрыва от цилиндра, h — высота отрыва шайбы (считая от нижней точки цилиндра), v_0 — модуль начальной скорости шайбы. Из закона сохранения энергии в механике получаем $\frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv_0^2}{2}$. В момент отрыва от цилиндра на шайбу действует только сила тяжести, поэтому уравнение второго закона Ньютона для шайбы в проекции на ось x , направленную от точки нахождения шайбы к центру окружности, имеет в этот момент вид $\frac{mv^2}{r} = mg\cos\alpha$. Здесь α — угол между вертикалью и радиусом, проведённым из точки нахождения шайбы. В рассматриваемый момент $\cos\alpha = \frac{h-r}{r}$. Используя написанные уравнения, можно выразить r через величины, данные в условии. Надо учесть, что в задаче спрашивается о диаметре цилиндра.

442. Обозначения: m — масса шайбы, l — длина наклонной плоскости, r — радиус обруча, α — угол наклона плоскости, μ — коэффициент трения между шайбой и плоскостью, a — модуль ускорения шайбы при движении вверх вдоль наклонной плоскости, v_0 — модуль минимальной начальной скорости шайбы, при которой она отрывается от опоры в точке B , v — модуль скорости шайбы в точке B . Второй закон Ньютона для шайбы в проекции на ось x , направленную вверх вдоль наклонной плоскости: $mgsin\alpha + \mu mg\cos\alpha = ma$. Используя формулы равноускоренного движения, получаем $v_0^2 - v^2 = 2al$. В момент отрыва от опоры на шайбу действует только сила тяжести, поэтому уравнение второго закона Ньютона для шайбы в проекции на ось x , направленную от точки нахождения шайбы к центру окружности, имеет в этот момент вид $\frac{mv^2}{r} = mg\cos\alpha$. Используя написанные уравнения, можно выразить v_0 через величины, данные в условии.

444. Обозначения: m_1 , m_2 — массы осколков, v_1 , v_2 — модули скоростей осколков сразу после разрыва снаряда, l_1 , l_2 — дальности полёта осколков. В верхней точке траектории скорость снаряда равна нулю. Поэтому из закона сохранения импульса следует, что $m_1v_1 = m_2v_2$. Скорости осколков направлены горизонтально, и у них одинаковая начальная высота. Поскольку горизонтальная проекция скорости для тела, брошенного под углом

к горизонту, остаётся постоянной, отсюда получаем $\frac{l_1}{l_2} = \frac{v_1}{v_2}$. Обозначим m_1 массу более массивного осколка. Тогда согласно условию $m_1 = 3m_2$. Используя написанные уравнения, можно найти m_2 .

445. Обозначения: v_0 — начальная скорость снаряда, α — угол между начальной скоростью снаряда и горизонталью, v_{1x} , v_{2x} — проекции скоростей первого и второго осколков на ось x , направление которой совпадает с направлением скорости снаряда в момент разрыва, m — масса любого из осколков, l — расстояние по горизонтали от пушки до точки, над которой разорвался снаряд, l_1 , l_2 — расстояния по горизонтали от точки, над которой разорвался снаряд, до мест падения первого и второго осколков, t — время полёта снаряда до разрыва. В верхней точке траектории отлична от нуля только проекция скорости снаряда на ось x . Тогда из закона сохранения импульса следует: $mv_{1x} + mv_{2x} = 2mv_0 \cos \alpha$. Из того что первый осколок упал рядом с пушкой, следует, что он летел по той же траектории, что и снаряд, но в обратном направлении, поэтому $v_{1x} = -v_0 \cos \alpha$. Из написанных уравнений следует, что $v_{2x} = 3v_0 \cos \alpha$. Поскольку начальные скорости осколков направлены горизонтально, время их полёта после разрыва снаряда одинаково и равно времени t полёта снаряда до разрыва. Поэтому $\frac{l_1}{l_2} = \left| \frac{v_{1x}}{v_{2x}} \right|$. Согласно условию $l_1 = l$. Используя написанные уравнения, можно выразить l_2 через l . Значение l можно найти через данные в условии начальную скорость снаряда и угол бросания. Согласно условию $d = l + l_2$.

447. Обозначения: l — длина нити, v_b — минимально возможная скорость бруска с пулей в верхней точке окружности, v_n — минимально возможная скорость бруска с пулей в нижней точке, при которой брусок с пулей движутся по окружности, m — масса пули, M — масса бруска, v_n — модуль минимальной скорости пули перед попаданием в брусок, при которой брусок с пулей движутся по окружности. При минимально возможной скорости бруска с пулей в верхней точки окружности сила натяжения нити в этой точке обращается в нуль. Отсюда получаем $\frac{v_n^2}{l} = g$. Из закона сохранения энергии в механике

следует: $\frac{v_n^2}{2} + 2gl = \frac{v_b^2}{2}$. Из закона сохранения импульса при столкновении пули с бруском получаем $mv_n = (M + m)v_b$. Используя написанные уравнения, можно выразить v_n через m , M , l и g .

450. Обозначения: m — масса шайбы, M — масса горки, H — высота более высокой вершины, h — высота менее высокой вершины, V , v — модули скоростей горки и шайбы в момент, когда шайба находится на менее высокой вершине. Проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось сохраняется. Отсюда следует, что скорости горки и шайбы в рассматриваемый момент времени направлены противоположно. Кроме того, $MV = mv$. Из закона сохранения энергии в механике получаем $\frac{MV^2}{2} + \frac{mv^2}{2} + mgh = mgH$. Используя написанные уравнения, можно выразить V и v через M , m , H и h .

451. Обозначения: m_1 , m_2 — массы осколков, v_1 , v_2 — модули скоростей осколков сразу после разрыва снаряда, l_1 , l_2 — дальности полёта осколков. В верхней точке траектории скорость снаряда равна нулю. Поэтому из закона сохранения импульса следует, что $m_1 v_1 = m_2 v_2$. Скорости осколков направлены горизонтально, и у них одинаковая начальная высота. Поэтому $\frac{l_1}{l_2} = \frac{v_1}{v_2}$. Согласно условию $m_2 = 3m_1$. Используя написанные уравнения, можно выразить l_2 через величины, данные в условии.

452. Обозначения: m_1, m_2 — массы шаров ($m_1 < m_2$), l — одинаковая длина нитей, v_1 — модуль скорости первого шара непосредственно перед столкновением, v — модуль общей скорости шаров сразу после столкновения, h — высота подъёма шаров после столкновения. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{m_1 v_1^2}{2} = m_1 g l$. Согласно закону сохранения импульса $m_1 v_1 = (m_1 + m_2)v$. Согласно закону сохранения энергии в механике

$(m_1 + m_2)gh = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2}$. Используя написанные уравнения, можно выразить искомые величины через заданные в условии.

453. Обозначения: m_1 — масса налетающего шара, m_2 — масса подвешенного шара, v_1 — модуль скорости первого шара перед столкновением, α — угол между скоростью первого шара и горизонталью, v — модуль общей скорости шаров сразу после столкновения, h — высота подъёма шаров после столкновения. В данном случае при столкновении сохраняется проекция суммарного импульса шаров на горизонтально направленную ось x , потому что внешние силы направлены вертикально. Поэтому $m_1 v_1 \cos \alpha = (m_1 + m_2)v$. Согласно закону сохранения энергии в механике $(m_1 + m_2)gh = \frac{(m_1 + m_2)v^2}{2}$. Используя написанные уравнения, можно выразить v_1 через величины, заданные в условии.

454. Обозначения: M — масса горки, m — масса шайбы, H — высота горки, v_0 — модуль начальной скорости шайбы, V — модуль общей скорости горки и шайбы в результате столкновения. Проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось сохраняется. Поэтому $(M + m)V = mv_0$. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{(M + m)V^2}{2} + mgH = \frac{mv_0^2}{2}$. Используя написанные уравнения, можно выразить v_0 через величины, данные в условии.

455. Обозначения: v_0 — начальная скорость снаряда, m — масса любого осколка, v — модули скоростей осколков сразу после разрыва, h_2 — максимальная высота подъёма второго осколка, H — высота разрыва снаряда. Поскольку снаряд разорвался в верхней точке траектории, его скорость в момент разрыва равна нулю. Поэтому согласно закону сохранения импульса скорости осколков сразу после разрыва направлены противоположно и равны по модулю. Следовательно, в момент разрыва механические энергии осколков (равной массы!) одинаковы. Поскольку сопротивлением воздуха можно пренебречь, из закона сохранения энергии в механике следует, что механические энергии осколков будут оставаться равными и в процессе их полёта. Следовательно, кинетическая энергия второго осколка при падении на землю будет такой же, как кинетическая энергия первого осколка. Определив, с какой скоростью упал на землю второй осколок, можно найти с помощью закона сохранения энергии в механике (или используя формулы равноускоренного движения), на какой высоте его скорость была равна нулю — это и есть максимальная высота h_2 его подъёма. Высоту разрыва снаряда H можно выразить через v_0 либо с помощью закона сохранения энергии в механике, либо используя формулы равноускоренного движения. Модуль скоростей осколков v в момент разрыва можно найти, используя закон сохранения энергии в механике. Получаем $\frac{mv^2}{2} + mgH = \frac{m}{2}(2v_0)^2$.

456. Обозначения: M — масса шара, m — масса пули, l — длина нити, v_1 — модуль начальной скорости пули, V_1 — модуль скорости шара непосредственно перед попаданием в него пули, V_2 — модуль скорости шара непосредственно после попадания в него пули, v_2 — модуль скорости пули после пробивания шара, α — начальный угол отклонения нити, β — максимальный угол отклонения нити при колебаниях пробитого пулей шара.

Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{MV_1^2}{2} = Mgl(1 - \cos\alpha)$. Согласно закону сохранения импульса при пробивании шара пулей $mv_2 - MV_2 = mv_1 - MV_1$. Согласно закону

сохранения энергии в механике $Mgl(1 - \cos\beta) = \frac{MV_2^2}{2}$. Используя написанные уравнения,

можно выразить $\cos\beta$ через величины, данные в условии, и найти его значение. Определив значение $\cos\beta$, можно найти значение β .

В данной задаче требуется найти только численное значение β . Поэтому можно не решать задачу в общем виде, а находить значения V_1 , V_2 и $\cos\beta$ поэтапно, используя написанные уравнения. Это значительно сокращает вычисления.

457. Обозначения: M — масса горки, m — масса шайбы, h — высота горки, v — модуль скорости шайбы после соскальзывания с горки, V — модуль скорости горки после соскальзывания с неё шайбы. Проекция суммарного импульса горки и шайбы на горизонтальную ось сохраняется. Поскольку в начальный момент суммарный импульс горки и шайбы равен нулю, получаем $MV = mv$. Согласно закону сохранения энергии в механике

$\frac{MV^2}{2} + \frac{mv^2}{2} = mgh$. Используя написанные уравнения, можно выразить искомые величины через величины, данные в условии.

Статика

475. Обозначения: $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ — силы, приложенные к точке подвеса груза Z . Они выражаются через массы подвешенных грузов. Согласно первому условию равновесия векторная сумма этих трёх сил равна нулю, поэтому векторы $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ образуют треугольник. Отсюда следует, что угол β между сторонами треугольника, соответствующим силам \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , связан с искомым углом α между векторами \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , соотношением $\alpha + \beta = \pi$. По теореме косинусов $F_3^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2\cos\beta$. Используя написанные уравнения, а также выражения для сил через массы подвешенных грузов, можно найти значение косинуса угла β , сам угол β , а затем и значение угла α .

477. Обозначения: m — масса груза, T — модуль силы натяжения нити, L — длина стержня, α — угол между стержнем и стеной, β — угол между нитью и стеной, γ — угол между нитью и стержнем. Правило моментов относительно нижнего конца стержня имеет вид $TL\sin\gamma = mgL\sin\alpha$. Поскольку α, β и γ являются углами треугольника, их сумма равна 180° . Благодаря этому, используя написанное уравнение, можно выразить T через m, α и β .

485. Дощечка с грузом будет оставаться на столе до тех пор, пока центр тяжести системы «дощечка + груз» находится над столом. Центр тяжести этой системы можно найти, воспользовавшись тем, что центр тяжести дощечки находится в её середине, а также тем, что алгебраическая сумма моментов сил тяжести, действующих на все части системы относительно её центра тяжести, равна нулю.

490. Обозначения: R — радиус шара, l — длина нити, α — угол между нитью и стеной, \vec{N} — сила нормальной реакции, действующая на стену со стороны шара, \vec{T} — сила натяжения нити. По условию стена гладкая, следовательно, со стороны стенки на шар действует только сила нормальной реакции \vec{N} , направленная перпендикулярно стене. Момент этой силы относительно центра тяжести шара равен нулю. Отсюда следует, что момент силы натяжения нити относительно центра тяжести шара тоже равен нулю. Следовательно, нить и радиус, проведённый в точку крепления нити к шару, лежат на одной прямой.

Введём систему координат, направив ось x горизонтально от стены, а ось y — вертикально вверх. В проекциях на оси координат первое условие равновесия имеет вид

$$\begin{cases} O_x: -T \sin \alpha + N = 0; \\ O_y: T \cos \alpha - mg = 0. \end{cases}$$

Кроме того, $\sin \alpha = \frac{R}{R + l}$.

Используя написанные уравнения, а также тождество $\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$, можно выразить T и N через величины, заданные в условии.

491. Обозначения: l — длина цепи, m — масса цепи, v — скорость цепи в момент, когда она оторвалась от стола. Согласно закону сохранения энергии в механике $\frac{mv^2}{2} = mgh$.

Здесь h — расстояние, на которое опустился центр тяжести цепи за время её соскальзывания со стола. Центр тяжести цепи в начальный момент находится на середине отрезка, соединяющего середины двух частей цепи — лежащей на столе и свисающей со стола. Расстояние от этого центра тяжести до уровня стола можно найти с помощью геометрического построения. Центр тяжести цепи в момент, когда она оторвалась от стола, находится ниже уровня стола на $\frac{l}{2}$.

492. Обозначения: l — длина лестницы, m — масса рабочего, α — угол между лестницей и стеной, μ — коэффициент трения между лестницей и полом, N_c — модуль силы нормальной реакции, действующей на лестницу со стороны стены, N_{Π} — модуль силы нормальной реакции, действующей на лестницу со стороны пола, $F_{\text{тр}}$ — модуль силы трения покоя, действующей на нижний конец лестницы со стороны пола, h — высота рабочего над полом. Направим ось x горизонтально от стены, а ось y — вертикально вверх. Поскольку массой лестницы по условию можно пренебречь, первое условие равновесия для лестницы в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{cases} O_x: N_c - F_{\text{тр}} = 0; \\ O_y: N_{\Pi} - mg = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Правило моментов относительно нижнего конца лестницы можно записать так:

$$mghtg\alpha - N_c l \cos \alpha = 0. \quad (2)$$

Кроме того, для силы трения покоя справедливо неравенство

$$F_{\text{тр}} \leq \mu N_{\Pi}. \quad (3)$$

Используя систему уравнений (1), можно записать уравнение (2) и неравенство (3) в виде

$$mghtg\alpha - F_{\text{тр}} l \cos \alpha = 0. \quad (4)$$

$$F_{\text{тр}} \leq \mu mg. \quad (5)$$

Выражая $F_{\text{тр}}$ через другие величины с помощью уравнения (4) и подставляя полученное выражение для $F_{\text{тр}}$ в неравенство (5), находим искомое неравенство для h .

493. Обозначения: m — масса куба, a — длина ребра куба, \vec{F} — сила, приложенная к ребру куба (предполагается, что она направлена перпендикулярно этому ребру). На куб действуют сила тяжести, сила \vec{F} , сила нормальной реакции и сила трения покоя со стороны пола.

а) Если сила \vec{F} направлена горизонтально, то правило моментов относительно ребра куба, через которое начинают переворачивать куб, можно записать в виде $mg\frac{a}{2} - Fa = 0$.

б) Сила \vec{F} будет наименьшей по модулю, когда плечо этой силы максимально возможно. Это будет тогда, когда сила \vec{F} направлена вверх под углом 45° к горизонтали. Для такого случая правило моментов относительно ребра куба, через которое начинают переворачивать куб, можно записать в виде $mg\frac{a}{2} - Fa\sqrt{2} = 0$.

500. Действующая на шар выталкивающая сила равна весу воды в объёме, равном половине объёма шара. При заданной в условии плотности шара вес этой воды равен четверти веса всего шара.

512. Обозначения: m — масса цилиндра, V — объём цилиндра, P_k — показания динамометра, когда цилиндр погружён в керосин, P_b — показания динамометра, когда цилиндр погружён в воду, ρ_k — плотность керосина, ρ_b — плотность воды. Используя закон Архимеда, условия равновесия цилиндра, погружённого в керосин и в воду, можно записать в виде $mg = P_k + \rho_k gV$; $mg = P_b + \rho_b gV$. Вычитая из первого уравнения второе, получим одно уравнение, с помощью которого можно найти выражение для объёма цилиндра. Умножив это выражение на плотность меди, получим выражение для массы цилиндра.

514. Обозначения: ρ_b — плотность воды, m — масса шара, V_c — объём стали, V_n — объём полости в шаре. Шар плавает, если действующая на него сила Архимеда уравновешивает силу тяжести. Наибольшей возможной массе шара соответствует случай, когда он плавает, полностью погрузившись в воду. В этом случае условие равновесия для шара имеет вид $\rho_b(V_c + V_n)g = mg$. Выражая объём стали через массу и плотность, получаем уравнение, с помощью которого можно выразить массу шара через плотности воды и стали и объём полости.

515. Обозначения: m — масса доски, S — площадь горизонтальной поверхности доски, d — толщина доски, ρ_k — плотность керосина, ρ_b — плотность воды, h — глубина погружения доски, когда она плавает в воде, s — толщина слоя керосина, b — глубина погружения доски в воду, когда поверх воды налит слой керосина, x — высота верхней поверхности доски над уровнем керосина. Действующая на доску сила тяжести уравновешивает выталкивающую силу, которая равна весу жидкости в объёме, занятом доской. Поэтому условие равновесия доски до наливания керосина можно записать в виде $mg = \rho_b hSg$. После наливания слоя керосина условие равновесия доски имеет вид $mg = (\rho_k s + \rho_b b)Sg$. Приравняв правые части написанных уравнений, получаем $\rho_b h = (\rho_k s + \rho_b b)$. Согласно условию $h = 0,7 \cdot d$. Используя написанные уравнения, а также справочные данные, можно выразить b через величины, заданные в условии. Выражение для x можно получить, используя соотношение $x = d - b - s$.

517. Обозначения: m — масса куба, S — площадь грани куба, a — длина ребра куба, ρ — плотность вещества, из которого изготовлен куб, ρ_n — плотность нефти, ρ_b — плотность воды, h — глубина погружения куба, когда он плавает в воде, x — толщина слоя нефти. Действующая на куб сила тяжести уравновешивает выталкивающую силу, которая равна весу жидкости в объёме, занятом кубом. Поэтому условие равновесия куба до наливания нефти можно записать в виде $mg = \rho_b hSg$. Выражая массу куба через его плотность и объём, получаем $h = \frac{\rho}{\rho_b} a$. После наливания слоя нефти условие равновесия куба имеет

вид $mg = [\rho_n x + \rho_b(a - x)]Sg$. Из написанных уравнений следует, что $\rho_b h = \rho_n x + \rho_b(a - x)$. Используя написанные уравнения, можно выразить x через величины, заданные в условии, и справочные данные.

518. Обозначения: m_k — масса куба, ρ_k — плотность куба, M — масса всей цепи, L — длина всей цепи, m — масса вертикальной части цепи, l — длина вертикальной части цепи, ρ_v — плотность воды, ρ_c — плотность стали, $F_{Ак}$ — модуль силы Архимеда, действующей на куб, $F_{Ац}$ — модуль силы Архимеда, действующей на вертикальную часть цепи. Куб находится в равновесии, когда выталкивающая сила, действующая на куб и вертикальную часть цепи, уравновешивает действующую на них силу тяжести. Поэтому $(m_k + m)g = F_{Ак} + F_{Ац}$. Используя закон Архимеда, можно записать: $F_{Ак} = m_k \frac{\rho_v}{\rho_k} g$;

$F_{Ац} = m \frac{\rho_v}{\rho_c} g$. Кроме того, справедливо соотношение $m = M \frac{l}{L}$. Используя написанные уравнения, можно выразить l через величины, заданные в условии, и справочные данные.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

Молекулярная физика

548. Число n слоёв атомов золота связано с толщиной фольги D и диаметром атома золота d соотношением $n = \frac{D}{d}$. Диаметр атома можно выразить через плотность вещества и его молярную массу. Для оценки примем, что каждый атом массой m_0 «занимает» объём d^3 . Тогда для плотности вещества получаем $\rho = \frac{m_0}{d^3}$. Массу m_0 можно выразить через молярную массу M и постоянную Авогадро. Используя написанные уравнения, а также величины, заданные в условии, можно найти значение n .

573. Процессы 1—2 и 3—4 — изохорные, поэтому $\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2}{p_1}$; $\frac{T_3}{T_4} = \frac{p_3}{p_4}$. Учтём теперь,

что $p_3 = p_2$, $p_4 = p_1$, $T_4 = T_2$. Поэтому второе уравнение можно переписать так: $\frac{T_3}{T_2} = \frac{p_2}{p_1}$.

Используя написанные уравнения, можно выразить T_2 через T_1 и T_3 .

605. Среднее расстояние d между молекулами газа можно связать с концентрацией газа n . Для оценки можно принять, что на одну молекулу газа приходится объём d^3 . Тогда $n = \frac{N}{V} = \frac{N}{Nd^3} = \frac{1}{d^3}$, где N — число молекул в объёме d^3 . Концентрация молекул газа связана с его температурой и давлением соотношением $p = nkT$. Используя написанные уравнения, можно выразить d через величины, заданные в условии.

606. Обозначения: p_1, V_1, T_1 и p_2, V_2, T_2 — параметры газа соответственно в начальном и конечном состояниях. Согласно уравнению Клапейрона $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$. В любом состоянии объём газа V связан с высотой h , на которой находится поршень, и площадью поршня S соотношением $V = hS$. Используя то, что массой поршня можно пренебречь (в условии сказано, что поршень лёгкий), а также написанные уравнения, можно выразить конечную высоту столба газа через величины, заданные в условии.

624. Обозначения: \bar{v}_1 и \bar{v}_2 — среднеквадратичные скорости молекул в сосуде и в окружающем воздухе, n_1 и n_2 — концентрации молекул в сосуде и в окружающем воздухе.

При установившемся давлении воздуха в баллоне число молекул воздуха, вылетающих за некоторое время через малое отверстие из баллона, равно числу молекул, влетающих

через это же отверстие из окружающего воздуха в баллон за то же самое время. Отсюда следует, что $\bar{v}_1 n_1 = \bar{v}_2 n_2$. Концентрацию молекул газа можно связать с его давлением и температурой: $p = nkT$. Среднеквадратичная скорость молекул $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$. Используя написанные уравнения, можно выразить p_1 через величины, заданные в условии.

626. а) Используя формулу для среднеквадратичной скорости молекул газа и данные из условия, можно найти отношение молярных масс газов. Это позволяет найти два инертных газа с таким отношением молярных масс (такая пара инертных газов одна).

б) Средние кинетические энергии молекул газов при одной и той же температуре одинаковы. Поэтому для суммарных кинетических энергий и чисел молекул газов получаем

$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$. Используя это уравнение, соотношение, связывающее число молекул газа с его

массой и молярной массой, а также значение заданной в условии общей массы газов, можно найти массы газов.

648. Начальную и конечную массу водяного пара в сосуде можно найти с помощью уравнения Менделеева — Клапейрона, используя табличные значения давления насыщенного водяного пара. Надо учесть, что при температуре 20° водяной пар стал насыщенным.

649. Прежде всего, надо выяснить, будет ли в конечном состоянии водяной пар насыщенным. Для этого с помощью уравнения Менделеева — Клапейрона можно найти, чему равна масса насыщенного водяного пара в данном объёме при температуре 100°C , и сравнить её с заданной в условии массой воды. В данном случае масса воды больше массы насыщенного водяного пара, поэтому пар будет насыщенным. Конечное давление в сосуде равно сумме давления насыщенного водяного пара при 100°C и давления воздуха, которое можно найти, используя данные, приведённые в условии, а также то, что нагревание происходит при постоянном объёме. Объёмом воды, оставшейся в сосуде, можно пренебречь по сравнению с объёмом сосуда.

650. а) Используя данные из условия и табличные значения давления насыщенного водяного пара, найдём парциальное давление водяного пара в начальном состоянии. Давление водяного пара при температуре 100°C и объёме, уменьшенном в 4 раза, можно определить с помощью уравнения Менделеева — Клапейрона. Сравнивая найденное значение давления водяного пара с давлением насыщенного водяного пара при 100°C , находим, чему станет равна относительная влажность воздуха.

б) Используя те же соображения, что и в пункте а), обнаружим, что если бы не началась конденсация пара, то давление водяного пара стало бы больше давления насыщенного водяного пара при 100°C , что невозможно. Следовательно, в данном случае начнётся конденсация пара, то есть водяной пар станет насыщенным.

651. а) По графику зависимости давления пара от объёма видно, что давление перестало зависеть от объёма, когда оно стало равным 20 кПа. Это означает, что пар в состоянии 2 стал насыщенным, причём давление насыщенного пара равно 20 кПа. Используя табличные значения, находим температуру пара.

б) Массу пара в начальном состоянии можно найти, зная его температуру и используя уравнение Менделеева — Клапейрона.

в) При переходе из состояния 2 в состояние 3 объём водяного пара уменьшился в 3 раза. Поскольку пар при этом оставался насыщенным, масса пара уменьшилась тоже в 3 раза. Это позволяет найти массу воды в конечном состоянии с помощью уравнения Менделеева — Клапейрона.

652. Используя уравнение Менделеева — Клапейрона, данные из условия, а также табличные значения давления насыщенного водяного пара, можно найти массу водяного пара, содержащегося в воздухе помещения, а также массу водяного пара в забираемом

снаружи таком же объёме воздуха. Сравнение полученных значений масс водяного пара позволяет ответить на поставленные вопросы.

Термодинамика

692. Обозначим v скорость воды, S — площадь поперечного сечения трубы. За промежуток времени τ через поперечное сечение трубы проходит объём воды $V = vS\tau$. Массу этой воды m можно выразить через её плотность и объём, площадь S — через внутренний диаметр трубы, а количество теплоты, сообщённое за это время воде при нагревании её на Δt , выражается формулой $Q = cm\Delta t$.

718. Обозначения: T_1 — начальная температура газа, m — масса газа, M — молярная масса газа. Работа газа при изобарном процессе $A_p = p\Delta V$. Из уравнения Менделеева —

Клапейрона следует, что в данном случае $p\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T$. Если при изобарном процессе объём газа увеличился в 4 раза, то и его абсолютная температура тоже увеличилась в 4 раза. Отсюда следует, что $\Delta T = 3T_1$. Используя написанные уравнения, можно выразить M через величины, заданные в условии. Зная молярную массу газа, можно определить его возможный химический состав.

719. Найдём соотношение, связывающее объём газа с его абсолютной температурой. Для этого воспользуемся тем, что в данном случае согласно условию $p^3V = a$, где a — не-

которая постоянная величина. Кроме того, согласно уравнению Клапейрона $\frac{pV}{T} = b$, где

b — другая постоянная величина. Исключая из написанных уравнений давление, получаем,

что в данном случае $\frac{V^2}{T^3} = c$, где c — тоже постоянная величина. Из последнего уравнения

следует, что при увеличении объёма газа в 8 раз его абсолютная температура увеличивается в 4 раза. Поскольку по условию абсолютная температура раза увеличилась в 4 раза,

получаем $\Delta T = 3T_1$. Изменение внутренней энергии газа $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T$. Используя последние

два уравнения, можно выразить ΔU через величины, заданные в условии.

720. Обозначения: p_1, V_1, T_1 — параметры газа в состоянии 1 (начальное состояние), p_2, V_2, T_2 — параметры газа в состоянии 2 (промежуточное состояние), p_3, V_3, T_3 — параметры газа в состоянии 3 (конечное состояние). При изо-

хорном охлаждении $\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}V_1(p_2 - p_1)$. При изобарном нагревании

$A_{23} = p_2(V_3 - V_2)$, $\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}p_2(V_3 - V_2)$. Согласно первому закону термодинамики

$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{5}{2}p_2(V_3 - V_2)$. Раскрывая скобки в правых частях уравнений и учитывая,

что по условию $V_2 = V_1$, $p_3 = p_2$, а также то, что в данном случае $p_3V_3 = p_1V_1$, получаем соотношение, которое связывает Q_{23} и U_{12} .

721. Обозначения: p_1, V_1, T_1 — параметры газа в состоянии 1 (начальное состояние), p_2, V_2, T_2 — параметры газа в состоянии 2 (промежуточное состояние), p_3, V_3, T_3 — параметры газа в состоянии 3 (конечное состояние). Поскольку процесс 2—3 — изобарный, $A_{23} = p_2(V_3 - V_2)$. Используя уравнение Менделеева — Клапейрона, получаем

$A_{23} = \nu R(T_3 - T_2)$. Согласно первому закону термодинамики $Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{5}{2}\nu R(T_3 - T_2)$.

Используя это уравнение, а также то, что $T_3 = T_1$, $T_2 = \frac{1}{4}T_1$, можно выразить Q_{23} через заданные в условии величины.

722. Обозначения: p_1, V_1, T_1 — параметры газа в состоянии 1 (начальное состояние), p_2, V_2, T_2 — параметры газа в состоянии 2 (промежуточное состояние), p_3, V_3, T_3 — параметры газа в состоянии 3 (конечное состояние). При изобарном нагревании

$$A_{12} = p_1(V_2 - V_1), \Delta U_{12} = \frac{3}{2}p_1(V_2 - V_1),$$

$$Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{5}{2}p_1(V_2 - V_1).$$

При изохорном нагревании

$$A_{23} = 0, U_{23} = \frac{3}{2}V_2(p_3 - p_2), Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23} = \frac{3}{2}V_2(p_3 - p_2).$$

Согласно условию $p_2 = p_1, p_3 = 3p_2, V_2 = 3V_1, V_3 = V_2$, поэтому все значения давления и объёма можно выразить через p_1 и V_1 . Используя уравнение Менделеева — Клапейрона, можно выразить переданное газу количество теплоты $Q = Q_{12} + Q_{23}$ через величины, заданные в условии.

723. Обозначения: p_1, V_1, T_1 — параметры газа в состоянии 1 (начальное состояние), p_2, V_2, T_2 — параметры газа в состоянии 2 (промежуточное состояние), p_3, V_3, T_3 — параметры газа в состоянии 3 (конечное состояние). Работа внешних сил в изобарном процессе $A_{\text{вн}23} = p_2(V_2 - V_3)$. По условию $p_2 = p_3$, поэтому $A_{\text{вн}23} = p_2V_2 - p_3V_3$. Используя уравнение Менделеева — Клапейрона, получаем $A_{\text{вн}23} = \nu R(T_2 - T_3)$. Согласно первому закону термодинамики $\Delta U_{12} = A_{\text{вн}12} + Q_{12}$. По условию процесс (1—2) — адиабатный, поэтому $\Delta U_{12} = A_{\text{вн}12}$.

Изменение внутренней энергии газа $\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1)$. Согласно условию $T_3 = T_1$. Используя написанные уравнения, можно выразить $A_{\text{вн}23}$ через величины, заданные в условии.

724. Обозначения: p — давление насыщенного пара при температуре T , V_1, V_2 — начальный и конечный объём пара, m_1, m_2 — начальная и конечная масса пара, $m_{\text{в}}$ — масса образовавшейся воды. Поскольку давление насыщенного пара при постоянной температуре остаётся постоянным, работа пара $A = p(V_2 - V_1)$. При сжатии насыщенного пара при постоянной температуре происходит его конденсация, то есть масса пара уменьшается. Используя уравнение Менделеева — Клапейрона и то, что температура пара не изменяется,

формулу для работы пара можно переписать в виде $A = \frac{m_2 - m_1}{M}RT$. Масса образовавшейся воды $m_{\text{в}} = m_1 - m_2$. Используя написанные уравнения, можно выразить A через величины, заданные в условии.

729. Найдём сначала количество теплоты, полученное газом за один цикл. Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A_{\text{вн}}. \quad (1)$$

Изменение внутренней энергии на этапе 1—2

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(3p_0V_0 - p_0V_0) = 3p_0V_0. \quad (2)$$

Работа газа на этапе 1—2 равна нулю:

$$A_{12} = 0. \quad (3)$$

Используя формулы (1—3), можно выразить Q_{12} через p_0 и V_0 .
Изменение внутренней энергии на этапе 2—3

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(p_0 \cdot 4V_0 - 3p_0V_0) = \frac{3}{2}p_0V_0. \quad (4)$$

Работа газа на этапе 2—3 численно равна площади фигуры под графиком зависимости $p(V)$ на этом этапе:

$$A_{23} = 6p_0V_0. \quad (5)$$

Используя формулы (1), (4), (5), можно выразить Q_{23} через p_0 и V_0 .

Несложно убедиться, что на этапе 3—1 газ не получает, а отдаёт некоторое количество теплоты.

Получив выражения для Q_{12} и Q_{23} , можно найти выражение для $Q_1 = Q_{12} + Q_{23}$ через p_0 и V_0 .

Полезная работа $A_{\text{пол}}$ численно равна площади фигуры, заключённой внутри цикла в координатах (p, V) .

Коэффициент полезного действия цикла равен выраженному в процентах отношению $A_{\text{пол}}$ к Q_1 .

737. Обозначения: Q_1 — количество теплоты, полученное тепловым двигателем от нагревателя, Q_2 — количество теплоты, отданное тепловым двигателем охладителю. По условию

$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 0,35$. Отсюда можно найти $\frac{Q_2}{Q_1}$. Новое значение КПД (в виде дроби) выражается

формулой
$$1 - \frac{1,1Q_2}{1,15Q_1} = 1 - \frac{1,1Q_2}{1,15Q_1}.$$

738. Обозначения: F — модуль силы тяги, v — модуль скорости самолёта, t — время полёта самолёта (1 ч), q — удельная теплота сгорания керосина, m — масса керосина, сгоревшего за время t . Развиваемую двигателем мощность можно найти по формуле $P = Fv$. Полезная работа двигателя $A_{\text{пол}} = Pt$. Выделившееся при сгорании керосина количество

теплоты $Q = qm$. Коэффициент полезного действия двигателя $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{Q} \cdot 100\%$. Используя

написанные уравнения, можно выразить m через величины, заданные в условии.

740. Обозначения: p_1, V_1 — начальные значения давления и объёма данной массы газа, p_2, V_2 — значения давления и объёма газа после изохорного нагревания, p_3, V_3 — значения давления и объёма газа после изобарного нагревания, p_4, V_4 — значения давления и объёма газа после изохорного охлаждения. График цикла удобнее всего построить в координатах (p, V) . По условию $p_2 = 3p_1, V_2 = V_1, p_3 = p_2, V_3 = 1,5V_2$.

Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A_1. \quad (1)$$

Изменение внутренней энергии на этапе 1—2

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(p_2V_2 - p_1V_1) = \frac{3}{2}(3p_1V_1 - p_1V_1) = 3p_1V_1. \quad (2)$$

Работа газа на этапе 1—2 равна нулю:

$$A_{12} = 0. \quad (3)$$

Используя формулы (1—3), можно выразить Q_{12} через p_1 и V_1 .

Изменение внутренней энергии на этапе 2—3

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_2V_2) = \frac{9}{4}p_1V_1. \quad (4)$$

Работа газа на этапе 2—3 численно равна площади фигуры под графиком зависимости $p(V)$ на этом этапе:

$$A_{23} = 3p_1 \cdot 0,5V_1 = \frac{3}{2}p_1V_1. \quad (5)$$

Используя формулы (1), (4), (5), можно выразить Q_{23} через p_1 и V_1 . Несложно убедиться, что на этапах 3—4 и 4—1 газ не получает, а отдаёт некоторое количество теплоты. Получив выражения для Q_{12} и Q_{23} , можно найти выражение для $Q_1 = Q_{12} + Q_{23}$ через p_1 и V_1 . Полезная работа $A_{\text{пол}}$ численно равна площади фигуры, заключённой внутри цикла в координатах (p, V) . Коэффициент полезного действия цикла равен выраженному в процентах отношению $A_{\text{пол}}$ к Q_1 .

743. Обозначения: p_1, V_1 — начальные значения давления и объёма данной массы газа, p_2, V_2 — значения давления и объёма газа после изотермического расширения, p_3, V_3 — значения давления и объёма газа после изохорного охлаждения, A_r — работа газа в изотермическом процессе 1—2, $|\Delta T|$ — модуль изменения температуры газа в изохорном процессе 2—3. Газ получает некоторое количество теплоты только в процессе 1—2. Согласно первому закону термодинамики

$$Q = \Delta U + A_r.$$

Процесс 1—2 — изотермический, поэтому $\Delta U_{12} = 0$. Следовательно,

$$Q_{12} = A_r. \quad (1)$$

Это и есть количество теплоты, переданное газу во время цикла. Чтобы найти полезную работу за цикл, заметим, что газ совершает работу только в процессе 1—2, потому что процесс 2—3 — изохорный. Внешние силы совершают работу на этапе 3—1. В этом процессе работа газа отрицательна.

Полезная работа за цикл

$$A_{\text{пол}} = A_r + A_{31}. \quad (2)$$

Процесс 3—1 — адиабатный, поэтому $Q_{31} = 0$.

Следовательно, согласно первому закону термодинамики применительно к процессу 3—1, (отрицательная) работа газа в этом процессе выражается формулой

$$A_{31} = -\Delta U_{31} = -\frac{3}{2}\nu R|\Delta T|. \quad (3)$$

Используя уравнения (1—3), можно выразить КПД цикла через величины, заданные в условии.

744. Обозначения: p_1, V_1 — давление и объём газа в состоянии 1, p_2, V_2 — давление и объём газа в состоянии 2, p_3, V_3 — давление и объём газа в состоянии 3. Согласно первому закону термодинамики полученное газом количество теплоты в процессе 2—3 связано с работой газа и изменением его внутренней энергии в этом же процессе соотношением

$$Q_{23} = A_{23} + \Delta U_{23}. \quad (1)$$

В данном случае обе величины, стоящие в правой части равенства (1), отрицательны, следовательно, $Q_{23} < 0$. Это означает, что газ отдаёт количество теплоты

$$Q = |Q_{23}|. \quad (2)$$

Работа газа A_{23} численно равна площади фигуры (трапеции) под графиком процесса 2—3, взятой со знаком минус, потому что газ сжимается. Получаем:

$$A_{23} = -\frac{p_0 + 2p_0}{2} \cdot 2V_0 = -3p_0V_0. \quad (3)$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(p_3V_3 - p_2V_2) = \frac{3}{2}(p_0V_0 - 2p_0 \cdot 3V_0) = -7,5p_0V_0. \quad (4)$$

В процессе 1—2 газ совершает работу

$$A_{12} = 2p_0 \cdot 2V_0. \quad (5)$$

Используя уравнения (1—5), можно выразить Q через A_{12} .

750. Обозначения: M — масса метеорита, v_n — модуль начальной скорости метеорита (при вхождении в атмосферу), v_k — модуль конечной скорости метеорита (непосредственно перед падением на Землю), c — удельная теплоёмкость железа, t_n — начальная температура метеорита (при вхождении в атмосферу), t_k — конечная температура метеорита (непосредственно перед падением на Землю), $t_{пл}$ — температура плавления железа, λ — удельная теплота плавления железа, m — масса расплавившейся части метеорита.

а) С учётом того, что при движении сквозь атмосферу 80 % кинетической энергии метеорита переходит в его внутреннюю энергию, получаем, что увеличение внутренней энергии метеорита вследствие его торможения атмосферой выражается формулой

$$\Delta U = 0,8 \cdot \left(\frac{Mv_n^2}{2} - \frac{Mv_k^2}{2} \right). \quad (1)$$

Если метеорит не начал плавиться, увеличение его внутренней энергии проявляется только в увеличении его температуры. Следовательно,

$$\Delta U = cM(t_k - t_n). \quad (2)$$

Минимальную начальную скорость метеорита, при которой он нагреется до температуры плавления, можно получить из формул (1, 2), приняв конечную скорость метеорита равной нулю, а его конечную температуру равной температуре плавления.

б) Чтобы метеорит начал плавиться, он должен сначала нагреться до температуры плавления железа. Если масса расплавившейся части метеорита равна m , можно записать

$$\Delta U = cM(t_{пл} - t_n) + \lambda m. \quad (3)$$

Используя уравнение (1), в котором $v_k = 0$, и уравнение (3), можно выразить отношение $\frac{m}{M}$ через величины, заданные в условии.

752. Обозначения: m_b — начальная масса воды в калориметре, c_b — удельная теплоёмкость воды, m_l — масса льда, c_l — удельная теплоёмкость льда, t_b — начальная температура воды в калориметре, t_l — начальная температура льда, который кладут в калориметр, λ — удельная теплота плавления льда.

Наименьшая масса льда m_1 , при которой в конечном состоянии в калориметре будет только лёд, соответствует случаю, когда при установлении теплового равновесия в калориметре находится лёд при температуре 0°C . В таком случае уравнение теплового баланса имеет вид

$$m_b c_b (t_b - 0^\circ\text{C}) + \lambda m_b = m_1 c_l (0^\circ\text{C} - t_l).$$

Если $m_l > m_1$, в конечном состоянии в калориметре будет находиться только лёд при температуре ниже 0°C .

Наибольшая масса льда m_2 , при которой в конечном состоянии в калориметре будет только вода, соответствует случаю, когда при установлении теплового равновесия в калориметре находится вода при температуре 0°C . В таком случае уравнение теплового баланса имеет вид

$$m_b c_b (t_b - 0^\circ\text{C}) = \lambda m_2 + m_2 c_l (0^\circ\text{C} - t_l).$$

Если $m_l < m_2$, в конечном состоянии в калориметре будет находиться только вода при температуре выше 0°C .

Если начальная масса льда $m_{\text{л}}$ удовлетворяет двойному неравенству $m_2 < m_{\text{л}} < m_1$, то в конечном состоянии в калориметре будут находиться лёд и вода при температуре 0°C .

753. Обозначения: $m_{\text{в}}$ — начальная масса воды в калориметре, $c_{\text{в}}$ — удельная теплоёмкость воды, $t_{\text{в}}$ — начальная температура воды в калориметре, $m_{\text{п}}$ — масса пара, который впускают в калориметр, $t_{\text{п}}$ — начальная температура пара, который впускают в калориметр, L — удельная теплота парообразования воды.

Прежде всего, надо выяснить: сконденсируется ли весь водяной пар, который впустили в калориметр? Для этого надо сравнить количество теплоты, выделяющееся при конденсации данного пара, с количеством теплоты, которое надо сообщить воде в калориметре, чтобы нагреть её до 100°C . Сравнение показывает, что при заданных в условии значениях физических величин весь пар сконденсируется.

При установлении теплового равновесия в калориметре пар сконденсируется, а образовавшаяся из него вода остынет до конечной температуры $t_{\text{к}}$, отдав при этом некоторое количество теплоты воде, уже содержащейся в калориметре. Поэтому уравнение теплового баланса в данном случае имеет вид $m_{\text{в}}c_{\text{в}}(t_{\text{к}} - t_{\text{в}}) = Lm_{\text{п}} + m_{\text{п}}c_{\text{в}}(t_{\text{п}} - t_{\text{к}})$. Используя это уравнение, можно выразить $t_{\text{к}}$ через величины, заданные в условии, и удельную теплоту парообразования воды.

754. Обозначения: $m_{\text{а}}$ — масса алюминиевого куба, $c_{\text{а}}$ — удельная теплоёмкость алюминия, $t_{\text{а}}$ — начальная температура алюминиевого куба, $m_{\text{л}}$ — масса растаявшего льда, λ — удельная теплота плавления льда.

Наименьшая температура, до которой надо нагреть алюминиевый куб, чтобы он полностью погрузился в лёд, соответствует случаю, когда объём растаявшего льда равен объёму алюминиевого куба:

$$V_{\text{а}} = V_{\text{л}}. \quad (1)$$

В таком случае уравнение теплового баланса принимает вид

$$m_{\text{а}}c_{\text{а}}(t_{\text{а}} - 0^\circ\text{C}) = \lambda m_{\text{л}}. \quad (2)$$

Выражая массы алюминия и растаявшего льда в уравнении (2) через их объёмы и плотности с учётом уравнения (1), получаем уравнение, с помощью которого можно найти начальную температуру алюминиевого куба.

755. Обозначения: $m_{\text{п}}$ — масса пара, который впустили в калориметр, $m_{\text{л}}$ — начальная масса льда, $c_{\text{в}}$ — удельная теплоёмкость воды, λ — удельная теплота плавления льда, L — удельная теплота парообразования воды.

Уравнение теплового баланса имеет в данном случае вид $Lm_{\text{п}} + m_{\text{п}}c_{\text{в}}(100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) = \lambda m_{\text{л}}$. Масса воды в калориметре $m_{\text{в}} = m_{\text{л}} + m_{\text{п}}$. Используя написанные уравнения, можно выразить $m_{\text{в}}$ через величины, заданные в условии, и справочные данные.

757. Обозначения: m — масса воды, $c_{\text{в}}$ — удельная теплоёмкость воды, L — удельная теплота парообразования воды, $t_{\text{п}}$ — начальная температура воды, t_{100} — температура кипения воды (100°C), τ_1 — время нагревания воды от начальной температуры до температуры кипения, τ_2 — время, в течение которого вся вода после закипания выкипает, P — мощность нагревателя. Для нагревания воды справедливо уравнение $c_{\text{в}}m(t_{100} - t_{\text{п}}) = P\tau_1$. Для выкипания воды справедливо уравнение $Lm = P\tau_2$. Используя написанные уравнения, можно выразить τ_2 через величины, заданные в условии.

759. В данном случае при составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что в зависимости от начальных значений массы и температуры воды и льда возможны три вида конечного состояния содержимого калориметра: 1) только вода (в жидком состоянии), 2) лёд и вода, 3) только лёд. Выбираем тот вид конечного состояния, который представляется наиболее вероятным, и составляем уравнение теплового баланса, учитывая следующее.

1) Если мы предположили, что в конечном состоянии есть только вода, то при составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что весь лёд нагрелся до 0°C , затем

растаял, и образовавшаяся из него вода нагрелась до конечной температуры (или её температура осталась равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), а имевшаяся первоначально в калориметре вода охладилась до конечной температуры. Таким образом, неизвестной величиной в уравнении теплового баланса является конечная температура. Условием правильности предположения о том, что в конечном состоянии есть только вода, является то, что полученная при решении уравнения теплового баланса конечная температура окажется не ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2) Если мы предположили, что в конечном состоянии есть лёд и вода, то при составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что конечная температура может быть только равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. А неизвестной величиной в уравнении теплового баланса является в таком случае либо масса растаявшего льда, либо масса воды, превратившейся в лёд. Условием правильности предположения о том, что растаяла некоторая масса льда, является то, что эта величина не может превышать начальную массу льда. А условием правильности предположения, что некоторая масса воды превратилась в лёд, является то, что эта величина не может превышать начальную массу воды.

3) Если мы предположили, что в конечном состоянии есть только лёд, то при составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что вся вода охладилась до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем превратилась в лёд и образовавшийся из воды лёд охладился до конечной температуры (или его температура осталась равной $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), а имевшийся первоначально в калориметре лёд нагрелся до конечной температуры. Таким образом, неизвестной величиной в уравнении теплового баланса является конечная температура. Условием правильности предположения о том, что в конечном состоянии есть только лёд, является то, что полученная при решении уравнения теплового баланса конечная температура оказалась не выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

761. При составлении уравнения теплового баланса надо учесть, что температура мокрого снега равна $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Содержащийся в мокром снеге лёд (40 % по массе) должен растаять, а образовавшаяся из него вода вместе с водой, первоначально содержащейся в мокром снеге (60 % по массе) должна нагреться до конечной температуры. Первоначально налитая в калориметр вода должна остыть до той же конечной температуры.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА И ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Электростатика

800. Поскольку по условию силы натяжения нитей одинаковы, действующую на верхний шарик силу тяжести уравновешивает сила отталкивания, действующая на верхний шарик со стороны нижнего. Это позволяет найти модули зарядов шариков. Действующая на нижний шарик сила натяжения нити уравновешивает силу тяжести и силу отталкивания, действующую на нижний шарик со стороны верхнего. Это позволяет найти силу натяжения нитей.

832. Обозначим \vec{E}_A , \vec{E}_B и \vec{E} — напряжённости поля, создаваемых в точке C соответственно зарядами q_A , q_B и обоими зарядами. Векторы \vec{E}_A и \vec{E}_B направлены вдоль прямых, проходящих соответственно через точки A , C и B , C . Согласно принципу суперпозиции $\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B$. Это позволяет определить графически одно из двух возможных направлений для \vec{E}_A и \vec{E}_B , а также отношение модулей зарядов.

833. Обозначения: F_3 — модуль сил электрического взаимодействия между шариками, F_T — модуль силы тяжести, действующей на любой шарик, α — угол отклонения нитей от вертикали, b — расстояние между шариками, когда они находятся в положении равновесия.

а) На каждый шарик действует сила тяжести и сила электрического отталкивания со стороны другого шарика. Силы электрического отталкивания согласно третьему закону Ньютона равны по модулю, поэтому нити, на которых подвешены шарики, отклонены на одинаковые углы от вертикали.

б) Из условия равновесия любого шарика следует, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{F_{\text{э}}}{F_{\text{т}}} = \frac{kq_1q_2}{b^2mg}$. Модуль напряжённости поля в точке, находящейся в середине отрезка, соединяющего шарики, можно найти с помощью закона Кулона и принципа суперпозиции полей: $E = k \frac{|q_1 - q_2|}{(b/2)^2}$. Используя написанные уравнения, можно выразить E через величины, заданные в условии.

834. На шарик действуют сила тяжести и сила электрического притяжения со стороны пластины. Модуль ускорения a шарика можно найти с помощью второго закона Ньютона. Это позволяет получить выражение для модуля скорости шарика непосредственно перед ударом о пластину.

Чтобы найти переданный пластине при ударе импульс, надо учесть, что при абсолютно упругом ударе скорость шарика изменяется только по направлению.

851. Обозначения: q_1, q_2 — заряды шариков, $k_{\text{ж}}$ — жёсткость пружины, l_1 — длина пружины в воздухе, l_2 — длина пружины в керосине, l_0 — длина недеформированной пружины, ϵ — диэлектрическая проницаемость керосина. Когда шарики находятся в воздухе, справедливо соотношение $k \frac{q_1q_2}{l_1^2} = k_{\text{ж}}(l_1 - l_0)$. А когда шарики находятся в керосине,

справедливо соотношение $k \frac{q_1q_2}{\epsilon l_2^2} = k_{\text{ж}}(l_2 - l_0)$. Используя написанные уравнения, можно выразить l_0 через справочные данные и заданные в условии величины.

852. При решении этой задачи надо учесть следующие обстоятельства:

1) заряд заряженного проводящего шара равномерно распределён по его поверхности, поэтому такой шар можно заменить равномерно заряженной сферой;

2) напряжённость электрического поля, создаваемого равномерно заряженной сферой, совпадает вне сферы с напряжённостью электрического поля, создаваемого точечным зарядом, равным заряду сферы и находящимся в центре этой сферы;

3) в сплошном диэлектрике напряжённость поля уменьшается по модулю (по сравнению с вакуумом) в ϵ раз, где ϵ — диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

881. Если угол между скоростью шарика и вертикалью не изменяется, то шарик движется прямолинейно, а это значит, что его ускорение и скорость направлены вдоль одной прямой, направление которой задано. Это позволяет связать силу, действующую на шарик со стороны электрического поля, с силой тяжести.

882. Обозначения: m — масса шарика, q — заряд шарика, l — длина нити, на которой подвешен шарик, v — модуль скорости шарика в нижней точке траектории, E — модуль напряжённости электрического поля, T — модуль силы натяжения нити. Второй закон Ньютона в проекции на направленную вверх ось x в момент, когда шарик проходит положение равновесия, имеет вид $T - mg - qE = \frac{mv^2}{l}$. Согласно закону сохранения энергии

$\frac{mv^2}{2} = (mg + qE)l$. Используя написанные уравнения, можно выразить T через заданные в условии величины.

911. Проекция скорости электрона на ось x , направленную вдоль начальной скорости электрона, не изменяется, откуда следует, что скорость электрона в момент вылета связана с его конечной скоростью соотношением $v = \frac{v_0}{\cos 60^\circ}$.

912. Обозначения: v_y — проекция скорости электрона на вертикальную ось y в момент вылета из конденсатора, v_0 — начальная скорость электрона, a — модуль ускорения электрона при движении в конденсаторе, t — время движения электрона в конденсаторе, E — модуль напряжённости электрического поля в конденсаторе, d — расстояние между пластинами конденсатора, L — длина пластин конденсатора.

Тангенс угла поворота скорости выражается формулой $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_0}$. При этом $v_y = at$,

$$a = \frac{eE}{m}, \quad E = \frac{U}{d}, \quad t = \frac{L}{v_0}.$$

Используя написанные уравнения, можно выразить напряжение через заданные в условии величины.

Постоянный электрический ток

951. Цепь представляет собой параллельное соединение двух проводников сопротивлениями: а) $R/2$ и $R/2$; б) $R/4$ и $3R/4$; в) $R/6$ и $5R/6$.

955. Обозначения: E — модуль напряжённости электрического поля в проводе, U — напряжение на концах провода, l — длина провода, R — сопротивление провода, ρ — удельное сопротивление материала, из которого изготовлен провод, S — площадь поперечного сечения провода, I — сила тока в проводе. Согласно закону Ома $U = IR$. Электрическое поле в прямолинейном проводнике можно считать однородным, откуда следует, что $U = El$. Сопротивление проводника R можно выразить через ρ , l и S . Используя написанные уравнения, можно выразить E через величины, заданные в условии.

956. Обозначения: R_1, R_2 — сопротивления резисторов 1 и 2; I_1, I_2 — силы токов в резисторах 1 и 2 до подключения резистора 3; U_1, U_2 — напряжения на резисторах 1 и 2 до подключения резистора 3. Согласно условию, после подключения резистора 3 параллельно резистору 1 напряжение на первом резисторе стало равным $U_1/3$. Сила тока в резисторе 2 согласно условию увеличилась при этом в 3 раза. Отсюда получаем, используя закон Ома для участка цепи, что напряжение на резисторе 2 стало равным $3U_2$. Поскольку напряжение на всём участке цепи осталось прежним, справедливо уравнение

$\frac{U_1}{3} + 3U_2 = U_1 + U_2$. Используя это уравнение, можно найти отношение U_1/U_2 . Оно равно искомому отношению сопротивлений резисторов, так как при последовательном соединении напряжения на резисторах пропорциональны их сопротивлениям.

957. Обозначения: U — показания вольтметра, I — показания амперметра, R_V — сопротивление вольтметра, R — сопротивление резистора. Обозначим R_1 сопротивление участка цепи, состоящего из параллельно соединённых резистора и вольтметра. Тогда $\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}$.

Напряжение на этом участке равно показаниям вольтметра U , а сила тока в этом участке равна показаниям амперметра I . Следовательно, согласно закону Ома для участка цепи

$R_1 = \frac{U}{I}$. Используя написанные уравнения, можно выразить R через величины, заданные в условии.

986. Обозначения: I_a — сила тока в резисторах 1 и 2, I_b — сила тока в резисторах 3 и 4.

Количества теплоты, выделяющиеся в резисторах 2 и 3 за время t , выражаются формулами $Q_2 = I_a^2 R_2 t$, $Q_3 = I_b^2 R_3 t$.

Из этих формул следует, что для нахождения отношения $\frac{Q_2}{Q_3}$ надо найти отношение сил токов $\frac{I_a}{I_b}$. Это отношение можно найти из уравнения $I_a(R_1 + R_2) = I_b(R_3 + R_4)$, которое следует из того, что участок цепи, содержащий резисторы 1 и 2, подключён параллельно участку, содержащему резисторы 3 и 4.

988. Суммарная мощность, выделяемая в резисторах при их последовательном подключении, $P_{\text{посл}} = \frac{U^2}{R_1 + R_2}$. Суммарная мощность, выделяемая в резисторах при их параллельном подключении, $P_{\text{пар}} = \frac{U^2(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}$. С помощью этой системы уравнений можно выразить R_1 и R_2 через заданные в условии величины.

990. Обозначения: Q — количество теплоты, которое необходимо сообщить заданной массе воды для нагревания её до кипения, R_1, R_2 — сопротивления нагревательных элементов, U — напряжение в цепи, t_1, t_2 — промежутки времени, необходимые для нагревания воды до кипения при включении только первого или только второго элемента.

Промежутки времени t_1 и t_2 выражаются формулами

$$t_1 = \frac{Q}{P_1} = \frac{QR_1}{U^2}, \quad (1)$$

$$t_2 = \frac{Q}{P_2} = \frac{QR_2}{U^2}. \quad (2)$$

Промежуток времени, необходимый для нагревания воды до кипения при последовательном соединении элементов

$$t_{\text{посл}} = \frac{Q(R_1 + R_2)}{U^2}. \quad (3)$$

Промежуток времени, необходимый для нагревания воды до кипения при параллельном соединении элементов

$$t_{\text{пар}} = \frac{QR_1 R_2}{U^2(R_1 + R_2)}. \quad (4)$$

Используя уравнения (1—4), можно выразить $t_{\text{посл}}$ и $t_{\text{пар}}$ через величины, заданные в условии. Для нахождения $t_{\text{пар}}$ удобно предварительно «перевернуть» обе части уравнений (1, 2, 4).

1017. Обозначения: P_1, P_2 — мощность тока при силе тока I_1 и I_2 , R_1, R_2 — сопротивления внешней цепи при силе тока I_1 и I_2 , r — внутреннее сопротивление источника тока, \mathcal{E} — ЭДС источника тока. Мощность тока в резисторах выражается формулами $P_1 = I_1^2 R_1$, $P_2 = I_2^2 R_2$. Используя эти уравнения, находим значения R_1 и R_2 . Записав затем уравнения закона Ома для полной цепи, соответствующие внешним сопротивлениям R_1 и R_2 , получаем систему двух уравнений для нахождения \mathcal{E} и r . Зная \mathcal{E} и r , находим силу тока короткого замыкания.

1018. Обозначим r внутреннее сопротивление источника тока, η_1 — КПД источника при внешнем сопротивлении R_1 . Тогда $\eta_1 = \frac{R_1}{R_1 + r} \cdot 100\%$. После подключения второго резистора КПД источника $\eta_2 = \frac{6R_1}{6R_1 + r} \cdot 100\%$. Используя написанные уравнения, можно найти η_2 .

1032. Часть цепи, содержащую 5 резисторов, можно представить как параллельное соединение трёх резисторов, два из которых — сопротивлением 12 Ом, а третий — сопротивлением 6 Ом.

1035. Из того, что сопротивлением соединительных проводов можно пренебречь, следует, что резисторы 1 и 3 соединены параллельно.

1036. Удалим сначала мысленно резистор 5, разомкнув точки *A* и *B*. После этого найдём общее сопротивление внешней цепи и, используя закон Ома для полной цепи, найдём силу тока во всей цепи. Затем найдём силу тока в резисторах 1 и 3, что позволит найти напряжения на этих резисторах. Мы обнаружим, что эти напряжения равны — а отсюда следует, что разность потенциалов между точками *A* и *B* равна нулю. Следовательно, если между этими точками включить резистор, ток через него идти не будет. Это означает, что добавление резистора 5 не изменит уже найденного значения силы тока в резисторе 1.

1039. Конденсатор C_2 подключён параллельно соединённым последовательно резисторам 2 и 3, поэтому напряжение на нём равно напряжению на участке цепи, содержащем резисторы 2 и 3.

1040. Зная ЭДС источника и сопротивления всех резисторов, можно, используя закон Ома для всей цепи, написать уравнение, связывающее внутреннее сопротивление источника с силой тока во всей цепи. Используя соотношения для сил токов в параллельно соединённых проводниках, можно написать уравнение, связывающее силу тока во всей цепи с силой тока в резисторе 2 (равной показаниям амперметра). В результате получится система двух уравнений с двумя неизвестными — внутренним сопротивлением источника и силой тока во всей цепи.

1041. Обозначения: U — напряжение на конденсаторе, \mathcal{E} — ЭДС источника, I — сила тока в цепи, r — внутреннее сопротивление источника. Напряжение на конденсаторе можно выразить через величины, данные в условии. Оно равно в данном случае напряжению на полюсах источника: $U = \mathcal{E} - Ir$. Зная сопротивления всех резисторов и внутреннее сопротивление источника, можно, используя закон Ома для всей цепи, записать уравнение, связывающее силу тока в цепи с ЭДС источника. В результате получится система двух уравнений с двумя неизвестными — ЭДС источника и силой тока во всей цепи.

1042. До замыкания ключа алгебраическая сумма зарядов обкладок конденсаторов, соединённых с точкой *A*, равна нулю, поскольку система этих обкладок при разомкнутом ключе является электроизолированной. Следовательно, до замыкания ключа заряды конденсаторов равны (по определению зарядом конденсатора называют модуль заряда любой из его обкладок). Обозначим заряды конденсаторов после замыкания ключа Q_1 и Q_2 . Тогда заряды обкладок, соединённых с точкой *A*, равны соответственно $-Q_1$ и Q_2 . Алгебраическая сумма зарядов этих обкладок равна $Q_2 - Q_1$. Следовательно, через ключ при замыкании пройдёт заряд, модуль которого выражается формулой $|Q| = |Q_2 - Q_1|$. Чтобы найти выражения для зарядов конденсаторов после замыкания ключа, воспользуемся тем, что после замыкания ключа напряжения на конденсаторах станут равными напряжениям U_1 и U_2 на параллельно соединённых с ними резисторах: $Q_1 = U_1 C_1$; $Q_2 = U_2 C_2$. Кроме того, для последовательно соединённых резисторов справедливы соотношения $U_1 + U_2 = U$, $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$. Здесь I — сила тока в резисторах. Используя написанные уравнения, можно выразить $|Q|$ через величины, заданные в условии.

1060. Записав выражения для мощности тока при различных подключениях источника тока, получим два уравнения, с помощью которых можно выразить сопротивления первого и третьего резисторов через величины, заданные в условии.

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

КИНЕМАТИКА

Система отсчёта, траектория, путь и перемещение

1. Да. 2. Точку. 3. 200 км. 5. а) Траектория — отрезок прямой, по которому тело движется в одном направлении. б) Траектория является замкнутой. 6. а) 62,8 см. б) Нулю. в) 31,4 см. г) 20 см. 7. В 2,2 раза. 8. б) $l = 2AB - AC$. в) $s = AC$. г) В 4 раза. 9. 0,6. 10. а) Окружность; б) спираль; в) точка. 11. 1,4 км; 1 км. 12. В 2,2 раза. 13. 5,6 км; 30,3°.

Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей

15. На 8 км/ч. 16. 10 км/ч. 17. 7,5 км/ч. 18. а) $v_2 = 1,3$ м/с; скорость человека относительно берега направлена по течению реки. б) $v_2 = 0,7$ м/с; скорость человека относительно берега направлена

противоположно течению реки. 19. а) В 4 раза; в 2 раза. б) За 15 мин; за 30 мин. 20. а)

$$\begin{cases} v_{\text{вер}} + v_{\text{вет}} = \frac{d}{t_{\text{по}}}; \\ v_{\text{вер}} - v_{\text{вет}} = \frac{d}{t_{\text{прот}}}. \end{cases}$$

б) В 10 раз. в) 1 ч 39 мин. 21. 3 мин. 22. а) $\sqrt{5}$ м/с. б) $t = 30$ с. в) На 30 м. г) 27°. д) 67 м. 23. а) 30°. б) 1,7 м/с. в) 35 с. 24. 10 с; 50 м. 25. а) $x = 20 - t$; $x = -20 + 3t$. б) 10 с; 10 м. в) 10 м и 30 м. 26. 78 км/ч. 27. 10 м. 28. 25 м/с. 29. 56,25 км/ч; 225 км. 30. 2 суток. 31. а) 1,06 ч. б) 19,5°.

Прямолинейное равноускоренное движение

33. Первый и четвёртый автомобили разгоняются, а второй и третий — тормозят. 34. а) Первый; 2 м/с². б) У второго; 1 м/с². в) Для первого: $v_x(t) = 12 - 2t$; для второго: $v_x(t) = 4 + t$. 35. б) При $t = 1$ с. в) При $t = 1$ с и $t = 4$ с. 36. 1 м; 4 м; 9 м; 16 м. Путь пропорционален квадрату времени движения. 37. а) 80 м; б) 320 м. 38. а) 6 м. б) -5 м/с. в) 2 м/с². 39. а) 160 м; б) 640 м. 42. а) 2 м/с².

б) 10 с. в) 20 м/с. 44. 27,8 м. 45. а) $d = \frac{v_1 + v_2}{2}t$. Обратите внимание: при равноускоренном движении

в одном направлении средняя скорость равна среднему арифметическому начальной и конечной скорости. б) 2 км. 46. 10 м/с; лишним данным является время разгона. 47. а) $l_1 = v_1\tau + \frac{a\tau^2}{2}$; $l_2 = v_2\tau + \frac{a\tau^2}{2}$;

$v_2 = v_1 + a\tau$. б) $l_2 - l_1 = a\tau^2$. в) 2 м/с². г) 12 м. д) 18 м. 49. 10 м. 51. а) 2 м/с². в) 10 м/с. 52. 50 м. 53. 20 м/с. 54. а) 9 м/с. б) 31,5 м. 55. 45 см. 56. 21,2 м/с. 57. 7,1 м/с. 58. а) 36 м. б) 9 м/с. 59. 80 см.

Движение с ускорением свободного падения

60. $v = gt$. 61. 4 с. 62. $h = \frac{gt^2}{2}$. 63. 5 м; 15 м; 25 м; 35 м. Пути, пройденные за последовательные равные промежутки времени, относятся как последовательные нечётные числа 1 : 3 : 5 : 7 и т. д.

64. $v = \sqrt{2gh}$. 65. 200 м/с (720 км/ч). 66. $v_y = v_0 - gt$. 67. $v_y = 0$. 68. $t_{\text{пол}} = \frac{v_0}{g}$. 69. 3 с. 70. $y = v_0t - \frac{gt^2}{2}$.

71. 40 м; 40 м. Первый раз тело будет находиться на этой высоте при подъёме, а второй раз — при спуске. 72. 1 с и 9 с. 73. $h = \frac{v_0^2}{2g}$. 74. В 9 раз. 75. $t_{\text{пол}} = \frac{2v_0}{g}$. 76. На 20 м/с. 77. а) В 2 раза;

б) в 4 раза. 78. а) 4 с. б) 8 с. в) 80 м. 79. $v_{0x} = v_0$, $v_{0y} = 0$; $g_x = 0$, $g_y = -g$. 80. $\begin{cases} O_x: v_x = v_0; \\ O_y: v_y = -gt. \end{cases}$ 81. $x = v_0t$,

$y = h - \frac{gt^2}{2}$. 82. На высоте 5 м. Лишнее данное — начальная скорость тела: если тело брошено горизонтально, то высота тела в данный момент времени определяется только его начальной высотой и

временем полёта. 83. $y = 0$. 84. $t_{\text{пол}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$. 85. $l = v_0\sqrt{\frac{2h}{g}}$. 86. а) Увеличится в 4 раза; б) увеличится

- в 2 раза. 87. 5 м, 10 м, 20 м. 88. а) 28,3 м/с. б) 40 м. в) 44,7 м. 89. а) 45 м. б) 10 м/с. в) 3 с. г) 30 м. 90. $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$, $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$. 91.
$$\begin{cases} Ox: v_x = v_0 \cos \alpha; \\ Oy: v_y = v_0 \sin \alpha - gt. \end{cases}$$
 92. $x = v_0 \cos \alpha \cdot t$, $y = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}$.
93. а) 17,3 м; 34,6 м. б) 5 м; через 2 с. в) Дальность полёта тела равна 34,6 м, потому что через 2 с оно снова оказалось на уровне земли; высота подъёма тела равна 5 м, потому что время подъёма равно времени спуска. 94. $t_{\text{пол}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$. 95. $l = \frac{2v_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$. 96. а) 30° или 60°. б) Дальность полёта при одной и той же начальной скорости может быть одинаковой при различных углах бросания. 97. 45°. 98. $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$. 99. 90°, то есть когда тело брошено вертикально вверх. 100. 20 м.
101. а) Тело двигалось с ускорением свободного падения: в описании ситуации сказано, что тело падало свободно. б)
$$\begin{cases} v_k = v_1 + g\tau; \\ l = v_1\tau + \frac{g\tau^2}{2}. \end{cases}$$
 в) $l = v_k\tau - \frac{g\tau^2}{2}$. г) $v_k = \frac{l + \frac{g\tau^2}{2}}{\tau}$. д) $h = \frac{v_k^2}{2g} = \frac{\left(\frac{l}{\tau} + \frac{g\tau}{2}\right)^2}{2g}$. 102. а) 35 м/с. б) 3,5 с. в) 61 м (округлено). 103. а) 2,5 с. б) 25 м/с. в) 31 м (округлено). 104. Дальность полёта при одинаковой по модулю начальной скорости будет равной для углов α_1 и α_2 , если $\sin 2\alpha_1 = \sin 2\alpha_2$. Отсюда получаем: $2\alpha_1 = 180^\circ - 2\alpha_2 \Rightarrow \alpha_1 + \alpha_2 = 90^\circ$. 105. а) 21° и 69°. б) 30 м/с. в) 90 м. г) 45 м. 106. а) В 1,73 раза. б) В 1,73 раза. в) в 3 раза. 107. а) 20 м/с; 20 м. б) В 3 раза. 108. а) 20 м; 2 с. б) 4 с. в) 10 м/с; 20 м/с. 109. а) 10 м/с; б) 1 с; в) 5 м; г) например, 0,5 с и 1,5 с. 110. 40 м/с; 80 м; 4 с. 111. 50 м. 112. 2 с; 20 м. 113. $v_{0x} = 17,3$ м/с, $v_{0y} = 10$ м/с. 114. 11,5 м/с. 115. 0,83 с. 116. $v_0 = \sqrt{2gh + \left(\frac{g\tau}{2}\right)^2}$. 117. 16,6 м. 118. 3 кг.

Равномерное движение по окружности

119. На 90°; на 9°. 120. $v = \frac{2\pi r}{T}$. 121. $a = \frac{4\pi^2}{T^2}r$. 122. 1 с⁻¹; 2 с⁻¹; 0,5 с⁻¹; 10 с⁻¹; 0,1 с⁻¹. 123. а) 60 с; 3600 с; б) $\frac{1}{60}$ с⁻¹; $\frac{1}{3600}$ с⁻¹. 124. $a = 4\pi^2 v^2 r$. 125. $T = 5,6$ с; $v = 0,18$ с⁻¹. 127. $\frac{2\pi \text{ рад}}{60 \text{ с}}$; $\frac{2\pi \text{ рад}}{3600 \text{ с}}$. 129. а) См. рисунок 1. б) См. рисунок 2. в) См. рисунок 3. г) См. рисунок 4.

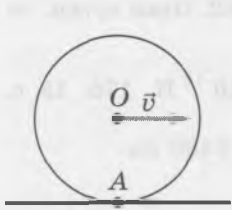


Рис. 1

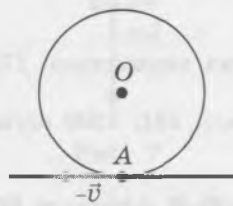


Рис. 2

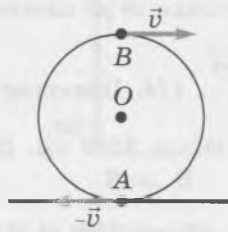


Рис. 3

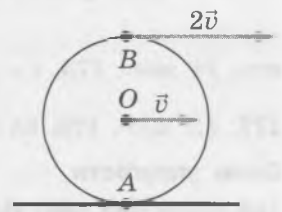


Рис. 4

130. а) См. рисунок 5. Скорости точек C и D относительно автомобиля обозначены \vec{v}_{Ca} и \vec{v}_{Da} . б) См. рисунок 6. Скорости точек C и D относительно дороги обозначены \vec{v}_{Cd} и \vec{v}_{Dd} . в) $v\sqrt{2}$.

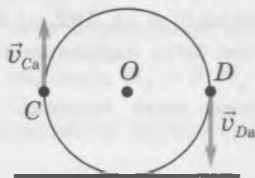


Рис. 5

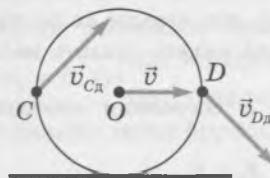


Рис. 6

131. а) $r = l \sin \alpha$. б) $v = \frac{2\pi l \sin \alpha}{T}$. в) $a = \frac{4\pi^2 l \sin \alpha}{T^2}$. 132. 30° . 133. а) Ускорение второго тела в 10 раз больше; б) ускорение первого тела в 10 раз больше; в) ускорение первого тела в 10 раз больше. 134. 24,5 м/с. 135. 3 с; 0,33 с⁻¹; 2,1 рад/с; 0,63 м/с; 1,3 м/с². 136. Около 830 км/ч; 1,7 см/с². 137. 6 с⁻¹; 4,52 м/с. 138. 343 м/с. Траектория — винтовая линия. 139. 400 м/с.

ДИНАМИКА

Три закона Ньютона

140. Равнодействующая приложенных к свободно падающему телу сил направлена вниз, потому что его ускорение направлено вниз. 141. К центру окружности. 142. Может. Например, скорость брошенного вверх тела направлена *противоположно* действующей на него силе тяжести до тех пор, пока тело движется вверх. 143. а) 0,6 м/с². б) 1,2 Н. г) 120° . 144. Если силы перпендикулярны друг другу. 145. Равнодействующая сил равна нулю. Лишнее данное — скорость капли. 146. 1 м/с² или 3 м/с². 147. 5 м/с². 148. 0,25а. 149. Земля и Луна притягивают друг друга с равными по модулю силами. 150. 2 м/с²; лишние данные — направление и скорость движения поезда: важно только то, что он движется прямолинейно и равномерно. 151. От 10 с до 20 с; от 25 с до 35 с. 152. а) 7,74 м/с². б) 7 м/с². в) 5,83 м/с². 153. 1 м/с². 154. 30 Н. 155. 16 м.

Силы тяготения

156. Уменьшатся в 4 раза. 157. $6F$. 158. а) $a = \frac{v^2}{R}$. б) $F = G \frac{M_C m}{R^2}$. в) $v = \sqrt{\frac{GM_C}{R}}$. Обратите внимание: *чем больше радиус орбиты, тем меньше скорость планеты*, причём скорость движения планеты не зависит от её массы. 159. 30 км/с. 160. $T = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{GM_C}}$. 161. $F_r = G \frac{M_{Зем} m}{R_{Зем}^2}$. 162. $g = G \frac{M_{Зем}}{R_{Зем}^2}$. 163. $g(h) = G \frac{M_{Зем}}{(R_{Зем} + h)^2}$. 164. В 4 раза. 165. $v_I = \sqrt{R_{Зем} g}$. 166. $v_I = \sqrt{\frac{GM_{Зем}}{R_{Зем}}}$. 168. $g = \frac{4\pi G \rho R}{3}$. 169. $v_I = 2R \sqrt{\frac{G\rho}{3}}$. 170. $T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$. Обратите внимание, что период обращения спутника вокруг планеты на низкой орбите зависит только от её плотности. 171. $\rho = \frac{3v_0^2}{4\pi G R l} = 6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 172. Одни сутки, то есть 24 часа. 173. $r = \sqrt[3]{\frac{g R_{Зем}^2 T^2}{4\pi^2}}$. 174. Примерно 36 тысяч километров. 175. $2,7 \cdot 10^{-12}$ Н. 176. 15 т. 177. 1,1 м/с². 178. 55 Н. 179. Около 2500 км. 180. 4 км/с. 181. 4200 кг/м³. 182. 3480 км.

Силы упругости

183. 1 см. 184. 200 Н/м. 185. 12 см. 186. а) У первой. б) В 4 раза. в) 500 Н/м. 187. а) Эти силы *приложены к разным телам*: вес действует на опору или подвес, а сила тяжести — на само тело. б) Эти силы *имеют разную физическую природу*: вес — это сила упругости, а сила тяжести — частный случай сил всемирного тяготения. 189. С ускорением, равным по модулю $2g$, направленным вверх. Тело может двигаться вниз с уменьшающейся по модулю скоростью. 191. Вес больше силы тяжести в случаях а) и г), вес меньше силы тяжести в случаях б) и в). 192. а) Вниз. б) 2 м/с². в) О направлении скорости лифта ничего сказать нельзя: она может быть направлена как вверх, так и вниз. 193. Шарик находится в состоянии невесомости *во время всего полёта*. 194. а) $\begin{cases} F_1 = k(l_1 - l_0); \\ F_2 = k(l_2 - l_0). \end{cases}$ б) $l_0 = \frac{F_2 l_1 - F_1 l_2}{F_2 - F_1}$. в) $k = \frac{F_2 - F_1}{l_2 - l_1}$. г) $l_0 = 12$ см; $k = 1000$ Н/м. 195. а) $x_1 = 2$ см; $x_2 = 1$ см. б) $x = 3$ см.

- в) $k = \frac{2\text{Н}}{3\text{см}} = \frac{2\text{Н}}{0,03\text{м}} = 67 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. 196. а) 500 Н/м. б) $k_1 = 2 \text{ кН/м}$; $k_2 = 667 \text{ Н/м}$. в) 1,5 см; 4,5 см.
 197. 200 Н/м. 198. а) 1 Н. б) 1 см. в) 1 см. г) $k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. 199. 450 Н/м. 200. а) 20 м/с². б) Сила упругости со стороны пружины. в) 2 Н. г) 2 см. д) 18 см. 201. а) 15 м/с²; вверх. б) 10 Н. 202. 50 Н/м. 203. Сила упругости каждой пружины равна 12 Н; на 4 см. 204. 7,5 см. 205. б) 200 Н, вверх. в) 1,2 кН; в 1,2 раза. 206. 2,5 кН/м. 207. 8 см; 100 Н/м. 208. 3 см. 209. 31 кН; 31,6 м/с. 210. 5 м/с². 211. На 2 см; не изменится. 212. 4 м/с. 213. 4 см.

Силы трения

214. Эти силы направлены по-разному: сила трения скольжения направлена вдоль поверхности соприкосновения тел, а сила нормальной реакции — перпендикулярно этой поверхности. 215. а) Для второго. б) $\mu_1 = 0,25$; $\mu_2 = 0,75$. 216. а) См. рисунок 7. Уравновешивают друг друга сила тяжести и сила нормальной реакции. б) 2 Н. в) 0,4 Н. г) 0,4 Н. д) 2 м/с²; см. рисунок 7. е) 25 см. ж) Ответы на все предыдущие вопросы, кроме вопроса е, не изменятся, новый ответ на этот вопрос: 1 м, так как пройденный бруском до остановки путь пропорционален квадрату его начальной скорости. 217. а) 1,5 Н. б) 2 Н и 3 Н. 218. а) 2 Н; б) 3 Н. 219. а) Наклонный участок графика соответствует силе трения покоя, а горизонтальный участок — силе трения скольжения. б) 0,3. 220. 5 м/с². 221. а) См. рисунок 8. б) $mg_x = 0$; $mg_y = -mg$; $N_x = 0$; $N_y = N$; $F_{\text{тр}x} = -F_{\text{тр}}$; $F_{\text{тр}y} = 0$; $T_x = T \cos \alpha$; $T_y = T \sin \alpha$.

в) Нулю. г)
$$\begin{cases} O_x: -F_{\text{тр}} + T \cos \alpha = 0; \\ O_y: -mg + N + T \sin \alpha = 0. \end{cases} \quad \text{д) } F_{\text{тр}} = \mu N. \quad \text{е) } T = \frac{\mu mg}{\mu \sin \alpha + \cos \alpha}, \quad N = \frac{mg \cos \alpha}{\mu \sin \alpha + \cos \alpha},$$

$F_{\text{тр}} = \frac{\mu mg \cos \alpha}{\mu \sin \alpha + \cos \alpha}$. ж) $T = 0,75 \text{ Н}$; $N = 1,62 \text{ Н}$; $F_{\text{тр}} = 0,65 \text{ Н}$.

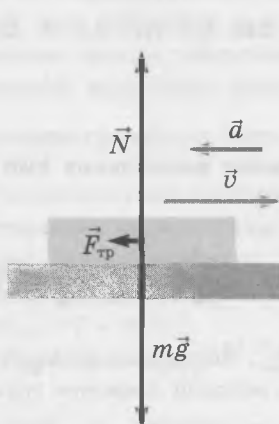


Рис. 7

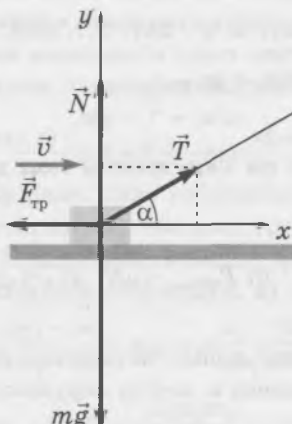


Рис. 8

222. 1,06 м/с². 223. 2,6 м/с²; вниз. 224. Больше 1,5 Н; 2,5 Н. 225. Нет. 226. 3 м/с. 227. Около 830 кг. 228. 0 м/с², 1 Н; 2 м/с², 1,2 Н. 229. а) 2 м/с², противоположно начальной скорости бруска. б) 0,4 Н. в) 0,2. 230. а) 30 Н. б) 18,8 Н. 231. Больше 0,3 Н. 232. Больше 60 Н. Больше 20 Н. 233. -4,9 м/с².

Тело на наклонной плоскости

234. а) Сила тяжести и сила нормальной реакции со стороны наклонной плоскости. б) $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$. в) $mg_x = mg \sin \alpha$; $mg_y = -mg \cos \alpha$; $N_x = 0$; $N_y = N$; $a_x = a$; $a_y = 0$. г)
$$\begin{cases} O_x: mg \sin \alpha = ma \\ O_y: -mg \cos \alpha + N = 0 \end{cases} \quad \text{д) } a = g \sin \alpha.$$
 е) Потому что все действующие на брусок силы пропорциональны массе бруска. ж) 30°. з) $N = mg \cos \alpha$. и) 60°. 235. а) 5 м/с². б) 0,9 с. в) 4,5 м/с. 236. а) $t_1 = \frac{v_0}{g \sin \alpha}$. б) $t_2 = \frac{v_0}{g \sin \alpha}$. в) $l = \frac{v_0^2}{g \sin \alpha}$. 237. Не

может, потому что сила тяжести и сила нормальной реакции не могут уравновесить друг друга, так как они направлены не противоположно. **238.** а) Сила тяжести, сила нормальной реакции со стороны наклонной плоскости и сила трения *покоя*. б) Потому что сила трения покоя уравновешивает равнодействующую силы тяжести и силы нормальной реакции, а их равнодействующая направлена вдоль наклонной плоскости *вниз*. в) $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр.пок}} = 0$. г) $mg_x = mg\sin\alpha$; $mg_y = -mg\cos\alpha$; $N_x = 0$; $N_y = N$;

$$F_{\text{тр.пок } x} = -F_{\text{тр.пок}}; \quad F_{\text{тр.пок } y} = 0. \quad \text{д) } \begin{cases} O_x: mg\sin\alpha - F_{\text{тр.пок}} = 0; \\ O_y: -mg\cos\alpha + N = 0. \end{cases} \quad \text{е) } F_{\text{тр.пок}} = mg\sin\alpha; \quad N = mg\cos\alpha.$$

ж) $F_{\text{тр.пок}} \leq \mu N$. з) $F_{\text{тр.пок}} \leq \mu N \Rightarrow mg\sin\alpha \leq \mu mg\cos\alpha \Rightarrow \text{tg}\alpha \leq \mu$. **239.** 0,44. **240.** а) Сила тяжести, сила нормальной реакции со стороны наклонной плоскости и сила трения *скольжения*. б) Потому что сила трения скольжения направлена противоположно скорости тела. в) $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр.ск}} = m\vec{a}$.

$$\text{г) } \begin{cases} O_x: mg\sin\alpha - F_{\text{тр.ск}} = ma; \\ O_y: -mg\cos\alpha + N = 0. \end{cases} \quad \text{д) } F_{\text{тр.ск}} = \mu N. \quad \text{е) } a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha). \quad \text{241. Брусок начнёт соскальзывать};$$

$$a = 1,54 \text{ м/с}^2. \quad \text{242. а) } \begin{cases} O_x: mg\sin\alpha + F_{\text{тр.ск}} = ma; \\ O_y: -mg\cos\alpha + N = 0. \end{cases} \quad \text{б) } a = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) = 7,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

$$\text{в) } t_1 = \frac{v_0}{g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)} = 0,66 \text{ с.} \quad \text{г) } l = \frac{v_0^2}{2g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)} = 1,65 \text{ м.} \quad \text{д) Брусок будет соскальзывать.}$$

$$\text{е) } a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) = 2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}. \quad \text{ж) } t_2 = \frac{v_0}{g\sqrt{\sin^2\alpha - \mu^2\cos^2\alpha}}. \quad \text{243. а) В 14 раз. б) В 3,73 раза. 244. а) Ско-$$

рость бруска будет *уменьшаться* со временем, потому что значение силы трения скольжения больше значения равнодействующей силы тяжести и силы нормальной реакции. б) $a = 1,06 \text{ м/с}^2$. в) $l = 1,88 \text{ м}$.

$$\text{245. } v_0 \geq 2,26 \text{ м/с. 246. } 8,7 \text{ м/с}^2. \quad \text{247. } 0,7. \quad \text{248. } 0,09. \quad \text{249. } 0,2 \text{ Н; } 10,2 \text{ Н. 250. } a = g \cdot \text{tg}\alpha; \quad N = \frac{mg}{\cos\alpha}.$$

$$\text{251. } \beta = \alpha; \quad T = mg\cos\alpha. \quad \text{252. } 0,69 \text{ м.}$$

Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил

$$\text{253. а) } \begin{cases} O_x: F_{\text{тр.пок}} = \frac{mv^2}{r}; \\ O_y: mg - N = 0. \end{cases} \quad \text{б) } F_{\text{тр.пок}} \leq \mu N. \quad \text{в) } v \leq \sqrt{\mu gr}. \quad \text{г) } r \geq \frac{v^2}{\mu g}. \quad \text{д) } \mu \geq \frac{v^2}{rg}. \quad \text{254. } 56 \text{ м. 255. а) На груз}$$

действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{F}_{\text{нат}}$, являющаяся силой упругости. б) Равнодействующая этих сил направлена к центру окружности, по которой движется груз. в) $mg_x = 0$; $mg_y = -mg$;

$$F_{\text{нат } x} = F_{\text{нат}} \sin\alpha; \quad F_{\text{нат } y} = F_{\text{нат}} \cos\alpha; \quad a_x = a; \quad a_y = 0. \quad \text{г) } \begin{cases} O_x: F_{\text{нат}} \sin\alpha = m \frac{v^2}{l \sin\alpha}; \\ O_y: F_{\text{нат}} \cos\alpha - mg = 0. \end{cases} \quad \text{д) } F_{\text{нат}} = \frac{mg}{\cos\alpha}; \quad v = \sin\alpha \sqrt{\frac{gl}{\cos\alpha}}.$$

$$\text{е) } T = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos\alpha}{g}}. \quad \text{256. а) } 60^\circ. \quad \text{б) } 43 \text{ см. в) } 2,74 \text{ м/с. г) } 1 \text{ с. 257. а) Сила нормальной реакции со сто-$$

роны полусферы. Чертёж в точности повторяет рисунок 50 с единственным отличием: сила натяжения нити заменяется на силу нормальной реакции. б) 20 м/с^2 . в) 63° . г) $1,12 \text{ Н}$. д) $22,4 \text{ см}$. е) $1,59 \text{ с}^{-1}$.

$$\text{258. } 2\pi \sqrt{\frac{r \text{tg}\alpha}{g}} = 1,43 \text{ с. 259. } 20 \text{ м/с. 260. } 5,77 \text{ м/с}^2. \quad \text{Лишнее данное — длина нити. 261. Не более } 30,4 \text{ см.}$$

$$\text{262. а) } 70,5^\circ. \quad \text{б) } 28,3 \text{ м/с}^2. \quad \text{в) } 47,1 \text{ см. г) } 3,65 \text{ м/с. 263. Около } 95 \text{ км/ч. 264. } 2,12 \text{ м/с; } 0,77 \text{ с.}$$

$$\text{265. а) } N = m \left(g \sin\alpha - \frac{v^2}{R} \right) = 25 \text{ мН. б) } v_{\text{min}} = \sqrt{gR \sin\alpha} = 0,71 \text{ м/с. 266. } 49 \text{ м.}$$

267. а) $v_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \operatorname{tg} \alpha}{r}} = 1,21 \frac{1}{\text{с}}$. б) $v_{\min} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{r(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)}} = 0,77 \frac{1}{\text{с}}$.

в) $v_{\max} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)}{r(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}} = 1,64 \frac{1}{\text{с}}$. 268. 8,66 см.

Движение системы тел

269. а) На первый брусок действуют сила тяжести, сила нормальной реакции, сила \vec{F} и сила натяжения нити \vec{T}_1 . На второй брусок действуют сила тяжести, сила нормальной реакции и сила натяжения нити \vec{T}_2 . б) Сила тяжести и сила нормальной реакции, действующие на каждый брусок. Силы \vec{T}_1 и \vec{T}_2 не уравнивают друг друга, так как приложены к *разным* телам! в) Вследствие третьего закона Ньютона с учётом того, что массой нити можно пренебречь (по условию нить *лёгкая*). г) Поскольку нить нерастяжима, модули перемещения брусков за любой промежуток времени одинаковы. Отсюда следует, что скорости брусков и их ускорения в любой момент равны. д)
$$\begin{cases} O_x: -T + F = m_1 a; \\ O_y: -m_1 g + N_1 = 0. \end{cases}$$

е)
$$\begin{cases} O_x: T = m_2 a; \\ O_y: -m_2 g + N_2 = 0. \end{cases}$$
 ж) $a = \frac{F}{m_1 + m_2}$; $T = F \frac{m_2}{m_1 + m_2}$. 270. 1,5 кг и 0,5 кг. 271. а) На брусок действуют

сила тяжести, сила нормальной реакции и сила натяжения нити. На груз действуют сила тяжести и сила натяжения нити. б) Ускорения тел равны по модулю вследствие того, что нить нерастяжима, силы натяжения нити равны потому, что массой нити можно пренебречь (нить *лёгкая*).

в)
$$\begin{cases} O_x: T = m_6 a; \\ O_y: m_6 g - N_6 = 0; \end{cases}$$
 $O_y: m_r g - T = m_r a$. г) $a = g \frac{m_r}{m_6 + m_r}$; $T = g \frac{m_6 m_r}{m_6 + m_r}$. 272. а) 4 Н. б) Вес груза

меньше действующей на него силы тяжести потому, что груз движется с ускорением, направленным *вниз*. 273. а) На каждый груз действуют сила тяжести и сила натяжения нити. б) Ускорение более массивного груза направлено *вниз*, а ускорение менее массивного груза направлено *вверх*. в) Ускорения грузов равны по модулю вследствие того, что нить нерастяжима, силы натяжения нити равны потому, что массой нити можно пренебречь (нить *лёгкая*). г)
$$\begin{cases} Mg - T = Ma; \\ mg - T = -ma. \end{cases}$$
 д) $a = g \frac{M - m}{M + m}$; $T = g \frac{2Mm}{M + m}$.

е) Вес грузов одинаков, поскольку вес каждого груза равен силе натяжения нити. Вес более массивного груза *меньше* действующей на него силы тяжести, потому что этот груз движется с ускорением, направленным *вниз*, а вес менее массивного груза *больше* действующей на него силы тяжести, потому что этот груз движется с ускорением, направленным *вверх*. 274. а) $m = 100$ г. б) $P = 0,9$ Н.

275. а) $a_{1x} = -2a_{2x}$. б)
$$\begin{cases} m_1 g - T = m_1 a_{1x}; \\ m_2 g - 2T = m_2 a_{2x}. \end{cases}$$
 в) $a_{1x} = 2g \frac{2m_1 - m_2}{4m_1 + m_2}$; $a_{2x} = g \frac{m_2 - 2m_1}{4m_1 + m_2}$. г) Ускорение первого

цилиндра направлено *вниз*, а второго — *вверх*. д) $T = \frac{3gm_1 m_2}{4m_1 + m_2}$. е) $P_1 = \frac{3gm_1 m_2}{4m_1 + m_2} = 0,82$ Н;

$P_2 = \frac{6gm_1 m_2}{4m_1 + m_2} = 1,64$ Н. 276. а) $a_{1x} = a_{2y}$. б)
$$\begin{cases} O_1 x_1: T - m_1 g \sin \alpha = m_1 a_{1x}; \\ O_1 y_1: N - m_1 g \cos \alpha = 0; \\ O_2 y_2: m_2 g - T = m_2 a_{2y}. \end{cases}$$
 в) $a_{1x} = \frac{m_2 - m_1 \sin \alpha}{m_1 + m_2} g$. г) Уско-

рение бруска направлено вдоль наклонной плоскости *вниз*, ускорение цилиндра направлено вертикально *вверх*. д) 2 м/с^2 . 277. а) На верхний брусок действуют сила \vec{F} , сила тяжести, сила нормальной реакции со стороны нижнего бруска и сила трения со стороны нижнего бруска. б) На нижний брусок действуют сила тяжести, сила давления со стороны верхнего бруска, сила нормальной реакции со стороны стола и сила трения со стороны верхнего бруска. Со стороны стола на нижний брусок сила трения не действует: стол по условию *гладкий*. в)
$$\begin{cases} O_x: F - \mu m_B g = m_B a_B; \\ O_x: \mu m_B g = m_H a_H. \end{cases}$$
 г) $a_B = \frac{F}{m_B} - \mu g = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

$a_H = \frac{\mu m_B g}{m_H} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. д) Полученные значения ускорений не могут быть правильными, потому что ниж-

Применение закона сохранения импульса

311. а) На каждое из этих тел действует сила тяжести. Кроме того, на тележку действует ещё сила нормальной реакции. б) Все внешние силы направлены *вертикально*. в) Нет. г) $p_{hx} = m_T v_T$. д) $p_{kx} = (m_T + m_r) v_k$. е) $v_k = v_T \frac{m_T}{m_T + m_r}$. ж) Суммарный импульс груза и тележки не сохраняется. Сохраняется только *проекция* суммарного импульса груза и тележки на *горизонтально* направленную ось x . 312. 1,5 м/с. 313. а) $(m_1 + m_2) \bar{v} = m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2$; $(m_1 + m_2) v_x = m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x}$. б) $v_x = \frac{m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x}}{m_1 + m_2}$.

314. а) $v_{1x} = 1$ м/с; $v_{2x} = -2$ м/с. б) $v_x = -0,2$ м/с. в) Скорость образовавшегося тела направлена противоположно начальной скорости первого шара (на это указывает отрицательный знак проекции скорости). 316. а) $m_1 v_{чз} - m_T v_{тз} = 0$. б) $v_{тз} = 0,4$ м/с. в) 1,2 м/с. г) За 10 с. д) Когда человек остановится у правого конца тележки, скорости человека и тележки относительно земли станут равными нулю. е) На 4 м. ж) На 8 м. 317. а) Не зависят. б) Круг с Аней движется со скоростью 0,3 м/с, а круг с Машей — со скоростью 0,2 м/с. в) Путь Ани равен 12 м, а путь Маши равен 8 м. 318. а) Нет, потому что на них действуют внешние силы, которые не уравновешивают друг друга. б) Сохраняется проекция суммарного импульса тележки и шара на ось x , направленную горизонтально, потому что все внешние силы направлены вертикально. в) $(m_T + m_{ш}) v = m_{ш} v_{ш} \cos \alpha$. г) $v = \frac{m_{ш} v_{ш} \cos \alpha}{m_T + m_{ш}} = 1$ м/с.

319. $v = \frac{m v_r \cos \alpha}{M} = 0,25$ м/с. 320. а) $(M + m) v = m v_{ш}$. б) $a = \mu g$. в) $l = \frac{1}{2 \mu g} \left(\frac{m v_{ш}}{M + m} \right)^2 = 2,45$ м.

321. а) 30 м/с. б) 60 м. в) 36 м/с. 322. 125 кг. 323. 2 м/с. 324. 0,15 м/с. 325. 3 м/с. 326. 1 м. 327. 4 м/с. 328. 2,11 м/с. 329. 50 см. 330. 0,73 м/с; 31° . 331. 6,5 м.

Реактивное движение

332. а) $2 \cdot 10^5 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. б) $2 \cdot 10^5 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. в) $2 \cdot 10^5$ Н. г) 4 м/с². д) 0,4. 333. а) $m \bar{v} + (M - m) \bar{V} = 0$.

б) $\bar{v} = \bar{v}_T + \bar{V}$. в) $V = \frac{m}{M} v_T$. 334. а) $V_{AC} = v_T \frac{m(2M - m)}{M(M - m)}$. б) $V_{BC} = v_T \frac{2m}{M}$. в) Скорость ракеты А будет

больше. 335. а) 100 м/с; вверх. б) 341 кг. 337. Надо направить струю газа, выходящего из сопла двигателя, в сторону движения корабля. 338. 20 м/с. 339. 3 мин 20 с. 340. 50 Н. 341. а) 2500 кг · м/с. б) 2,5 кН. в) 2,5 кН. 342. 316 м/с. 343. 25 м. 344. 33,9 с.

Механическая работа. Мощность

345. а) Положительна работа силы \vec{T} , работа этой силы равна 8 Дж. б) Отрицательна работа силы трения, работа этой силы равна -2 Дж. в) Равна нулю работа силы тяжести и силы нормальной реакции. 346. Когда тело движется вниз, потому что в этом случае направление силы совпадает с направлением перемещения. 348. б) -1 Дж. в) 1 Дж. 351. а) 5 см. б) -0,32 Дж. 352. 50 см.

353. а) $A_T = mgh = 500$ Дж. б) $F_{тп} = \mu mg \cos \alpha = 4,33$ Н. в) $s = \frac{h}{\sin \alpha} = 20$ м. г) $A_{тп} = -\frac{\mu mgh}{\text{tg} \alpha} = -87$ Дж.

д) $A = A_T + A_{тп} = 413$ Дж. 354. а) $l = \frac{v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = 44$ см. б) Нет.

в) $A_T = -\frac{mg \sin \alpha \cdot v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = -0,88$ Дж. г) $A_{тп} = -\frac{\mu mg \cos \alpha \cdot v_0^2}{2g(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)} = -0,92$ Дж.

д) $A = A_T + A_{тп} = -1,8$ Дж. 355. а) $F = mg = 100$ Н. в) $A = \frac{mgl}{2} = 500$ Дж. 356. 2,4 кДж.

357. а) 0,16 Дж. б) 0,96 Дж. 358. 160 Вт. 359. 1 кН. 360. 0,4 м/с. 361. 1,6 кДж. 362. а) -10 Дж.

б) 30 Дж. в) 20 Дж. **363.** $-0,04$ Дж. **364.** $-0,75$ Дж. **365.** 1 кВт. **366.** 132 кДж. **367.** 2 кДж. **368.** 1 Дж; 0,36 Дж; 0,64 Дж. **369.** 2,25 Дж. **370.** 27 %; масса автомобиля — лишнее данное. **371.** -250 Дж. **372.** 5 Дж; 4 Дж. **373.** $A_{\text{тр}} = -\frac{v_0^2 \mu m \cos \alpha}{\sin \alpha + \mu \cos \alpha}$.

Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия

374. Когда сжатая пружина распрямляется, сила упругости пружины совершает *положительную* работу, так как направление этой силы совпадает с направлением перемещения точки приложения силы. Следовательно, при уменьшении деформации пружины её энергия *уменьшается*. **375.** В обоих случаях энергия пружины увеличивается. **376.** а) -3 Дж. б) Увеличилась на 3 Дж. **377.** На 10 см. **378.** Нулю. **379.** 0,03 Дж. **380.** а) 0; 2 Дж. Потенциальная энергия увеличилась на 2 Дж. б) 1,6 Дж; 3,6 Дж. Потенциальная энергия увеличилась тоже на 2 Дж. **381.** Увеличивается в 9 раз; уменьшается в 4 раза. **382.** а) Скорость легкового автомобиля в 2 раза больше. б) Модуль импульса грузовика в 2 раза больше. **383.** а) 10 Н; вверх. б) 100 Дж. в) 100 Дж. г) 10 м/с. **384.** а) $\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = -\mu mgl$.

б) $\mu = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2gl} = 0,4$. **385.** а) Сила тяжести, сила нормальной реакции и сила трения скольжения. б) Нулю: это следует из теоремы об изменении кинетической энергии, потому что санки в начальный и конечный моменты покоятся. в) $A_{\text{т}} = mgh$. г) Нулю. д) $A_{\text{тр}} = -mgh$. Обратите внимание: работа силы

трения скольжения отрицательна! **386.** $A_{\text{тр}} = \frac{mv^2}{2} - mgh = -0,6$ Дж. **387.** а) При движении в воздухе — только сила тяжести, при движении в воде — сила тяжести, сила Архимеда и сила сопротивления воды. б) Нулю. в) $A_{\text{т}} = mg(h_1 + h_2)$. г) $F_A = \rho_{\text{в}} gV = \frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{д}}} mg$. д) $A_A = -\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{д}}} mgh_2$. е) $A_{\text{сопр}} = mgh_2 \left(\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{д}}} - \frac{h_1}{h_2} - 1 \right)$.

388. $F_{\text{сопр}} = mg \left(\frac{\rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{д}}} - 1 - \frac{h_2}{h_1} \right)$. **389.** а) 0,4 Дж. б) 0,4 Дж. в) 0 Дж. **390.** а) 2 кН/м. б) 3,6 Дж. в) $-2,7$ Дж.

391. $2 \cdot 10^5$ Дж. **392.** а) -40 Дж; б) -40 Дж; в) 40 Дж. **393.** а) $E_k = 10$ Дж; $E_p = 40$ Дж. б) $E_k = 20$ Дж; $E_p = 30$ Дж. в) $E_k = 50$ Дж; $E_p = 0$ Дж. Сохраняется сумма кинетической и потенциальной энергий мячика. **394.** 40 Дж. **395.** 156 кДж. **396.** 30 Дж. **397.** 4,5 см. **398.** В обоих случаях 0,63 Дж.

399. $\frac{E_{p2}}{E_{p1}} = \frac{k_1}{k_2} = 0,5$. Обратите внимание: больше потенциальная энергия той пружины, жёсткость которой *меньше*. **400.** $E_k = mg \left(h - \mu \sqrt{l^2 - h^2} \right)$.

Закон сохранения энергии в механике

401. а) Потенциальная энергия тела уменьшилась на mgh . б) $v = \sqrt{2gh}$. в) Кинетическая энергия тела увеличилась на $\frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \cdot 2gh = mgh$. г) Механическая энергия тела сохранилась. **402.** 40 см. **403.** а) Потенциальная энергия упругой деформации пружины уменьшается, а кинетическая энергия шара увеличивается. б) $E_k = 0$; $E_p = \frac{kx^2}{2}$. в) $E_k = \frac{mv^2}{2}$; $E_p = 0$. г) Приравнивая выражения для полной механической энергии шара и пружины в положениях 1 и 2, получаем: $\frac{mv^2}{2} = \frac{kx^2}{2} \Rightarrow v = x \sqrt{\frac{k}{m}}$.

404. 9 см. **405.** а) $v_1 = \sqrt{2gh}$. б) $v_2 = \sqrt{2gh} \frac{m}{M+m}$. **406.** а) При соскальзывании санок механическая

энергия не сохранялась. б) -95 Дж. 407. $4 \cdot 10^{-4}$ °С. 408. а) То, что стержень лёгкий, означает, что его массой, а следовательно, и кинетической энергией можно пренебречь; то, что стержень может вращаться без трения, означает, что на шар при его движении действуют только сила упругости и

сила тяжести. б) $\frac{mv_1^2}{2} + 2mgl = \frac{mv_0^2}{2}$. в) $v_1 = \sqrt{v_0^2 - 4gl}$. г) $v_0 > 2\sqrt{gl}$. 409. а) $\frac{Mv^2}{2} - Mgl + \frac{mv^2}{2} + mgl = 0 \Rightarrow \frac{(M+m)v^2}{2} = gl(M-m)$. Здесь v — модуль скорости шаров в момент, когда стержень с шарами

проходит положение равновесия, нулевому уровню потенциальной энергии сопоставлено начальное состояние. б) $v = \sqrt{\frac{2(M-m)gl}{M+m}}$. 410. а) 40 Дж. б) 32,4 Дж. в) $-7,6$ Дж. г) 0,38 Н. 411. б) $E_p = \frac{kx^2}{2} - mgx$.

в) $x_1 = 0$; $x_2 = \frac{2mg}{k}$. г) $x_{\min} = \frac{mg}{k}$. д) $x_{\text{равн}} = \frac{mg}{k}$. е) Положению равновесия системы соответствует

минимум её потенциальной энергии. Обратите внимание: в данном случае положению равновесия соответствует отрицательное значение потенциальной энергии. ж) Кинетическая энергия груза максимальна при прохождении им положения равновесия. 412. 1 м/с. 413. а) 10 Дж. б) 40 Дж. в) 50 Дж. г) 50 Дж. д) 22,4 м/с. 414. $E_p = 10$ Дж; $E_k = 30$ Дж. 415. а) 600 Дж. б) 486 Дж. в) -114 Дж. 416. 10 Дж; 10 см. 417. 10 м. 418. В оба указанных момента скорость камня была равна 10 м/с. 419. 10 м. 420. 2,53 м/с. 421. Потенциальная. 422. У второго бруска; в 7 раз больше; $E_{k2} = 350$ Дж. 423. 7 м/с. 424. 390 м/с. 425. 60 г.

Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости

426. а) $\frac{mv^2}{2} = mgl \sin \alpha$. б) $T - mg \sin \alpha = \frac{mv^2}{l}$. в) $\begin{cases} \frac{mv^2}{2} = mgl \sin \alpha; \\ T - mg \sin \alpha = \frac{mv^2}{l}. \end{cases}$ г) $T = 3mg \sin \alpha$. д) От нуля до $3mg$.

е) $a_\tau = g \cos \alpha$. ж) $a_n = 2g \sin \alpha$. з) $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = g\sqrt{1 + 3\sin^2 \alpha}$. и) От g до $2g$. 427. 60° . 428. а) Если бы скорость шарика в верхней точке была равна нулю, то под действием силы тяжести шарик начал бы двигаться вертикально вниз с ускорением свободного падения. А он по условию движется по окружности. Следовательно, скорость шарика в верхней точке траектории не может быть равной нулю.

б) Когда шарик проходит нижнюю часть траектории, его скорость больше. г) $\frac{mv_B^2}{l} = T_B + mg$.

д) $v_{B \min} = \sqrt{gl}$. е) С ускорением свободного падения. ж) $\frac{mv_H^2}{l} = T_H - mg$. з) $\frac{mv_H^2}{2} = \frac{mv_B^2}{2} + 2mgl$.

и) $v_{H \min} = \sqrt{5gl}$. к) $T_{H \min} = 6mg$. л) $5g$; вверх. 429. а) Минимально возможную скорость шарика в верхней точке траектории можно принять практически равной нулю. б) $v_{H \min} = 2\sqrt{gl}$. в) $4g$; вверх.

г) $5mg$. 430. а) 100 г. б) От нуля до 6 Н. 431. б) $\frac{mv_B^2}{r} = N_B + mg$. в) $v_{B \min} = \sqrt{gr}$. г) $2mgr + \frac{mv_B^2}{2} = mgH$.

д) $H_{\min} = \frac{5r}{2}$. 432. б) $mgh + \frac{mv^2}{2} = mgH$. в) $\frac{mv^2}{r} = mg \frac{h-r}{r}$. г) $h = \frac{5r}{3}$. 433. а) 3,87 м/с. б) 3 м/с.

434. а) $mgh + \frac{mv^2}{2} = mgr$. б) $\frac{mv^2}{r} = mg \frac{h}{r} - N$. в) $h = \frac{2r}{3}$. 435. а) $\frac{mv^2}{2} + \frac{Mv^2}{2} = mgr(1 - \cos \alpha) + Mgr \alpha$.

б) $\frac{mv^2}{r} = mg \cos \alpha$. в) $M = m \frac{3 \cos \alpha - 2}{2 \alpha - \cos \alpha} = 330$ г. 436. В точках наибольшего отклонения груза от положения равновесия ускорение только тангенциальное. В момент прохождения грузом положения равновесия

ускорение груза только нормальное. 437. а) $v = \sqrt{\frac{2Rg}{3}}$. б) $a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{2}{3}g$. в) $N = \frac{3}{2}mg$. г) См. рисунок 9. д) См. рисунок 10.

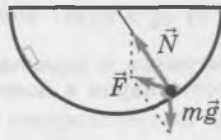


Рис. 9



Рис. 10

438. а) 45 см. б) 0,5 Н. 439. $v = \sqrt{2gR}$. 440. 71° . 441. 60 см. 442. $v_{0\min} = \sqrt{2gl(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) + gr\cos\alpha} = 4$ м/с.

Применение законов сохранения в механике к движению нескольких тел или системы тел

443. а) Нулю. б) $h = \frac{v_0^2}{2g}$. в) $\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_{10}^2}{2} + m_1 gh \Rightarrow v_1^2 = v_{10}^2 + v_0^2$, $\frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_2 v_{20}^2}{2} + m_2 gh \Rightarrow v_2^2 = v_{20}^2 + v_0^2$.
 г) $\frac{v_{10}}{v_{20}} = \frac{m_2}{m_1}$. д) $\frac{m_2}{m_1} = \sqrt{\frac{v_1^2 - v_0^2}{v_2^2 - v_0^2}}$. е) $\frac{m_2}{m_1} = 2,6$. 444. 0,2 кг. 445. б) 200 м/с и 600 м/с. в) $d = \frac{2v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = 27,7$ км. 446. а) $v_6 = v_{\text{ц}} \frac{m}{M+m}$. б) $\frac{E_6}{E_{\text{ц}}} = \frac{m}{M+m} = 0,01$. в) Сохраняется. г) $\frac{v_{\text{ц}}^2 \left(\frac{m}{M+m}\right)^2}{2g} = 0,78$ м.
 д) На 78° . 447. 714 м/с. 448. а) Нет. б) Да. в) $(M+m)V = mv_0$. г) Да. д) $\frac{(M+m)V^2}{2} + mgH = \frac{mv_0^2}{2}$.
 е) $V = m \sqrt{\frac{2gH}{M(M+m)}} = 0,19$ м/с; $v_0 = \sqrt{2gH \frac{M+m}{M}} = 2,1$ м/с. 449. а) $h = \frac{Mv_0^2}{2g(M+m)} = 0,1$ м.
 б) $V = \frac{m}{M+m} v_0 = 0,14$ м/с. 450. а) Скорость горки будет направлена вправо, а скорость шайбы — влево. б) Скорость горки 0,2 м/с, скорость шайбы 1 м/с. 451. 300 м. 452. а) 4,47 м/с. б) 1,79 м/с.
 в) На 16 см. 453. 9,8 м/с. 454. $v_0 = \sqrt{2gH \frac{M+m}{M}} = 1,7$ м/с. 455. а) $2v_0$. б) $h_2 = \frac{2v_0^2}{g}$. в) $H = \frac{v_0^2}{2g}$.
 г) $v = v_0 \sqrt{3}$. 456. 39° . 457. а) Масса горки в 9 раз больше массы шайбы. б) 0,33 м/с.

СТАТИКА

Условия равновесия тела

458. а) Сила натяжения троса 3 равна mg . б) $\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{T}_3 = 0$. в) $\begin{cases} O_x: -T_1 \sin\alpha + T_2 \sin\alpha = 0; \\ O_y: T_1 \cos\alpha + T_2 \cos\alpha - mg = 0. \end{cases}$
 г) $T_1 = T_2 = \frac{mg}{2\cos\alpha} = 58$ Н. д) При $\alpha = 60^\circ$. 459. а) $\begin{cases} O_x: T_2 \sin\alpha - T_1 = 0; \\ O_y: T_2 \cos\alpha - mg = 0. \end{cases}$ б) $T_1 = 23,1$ Н; $T_2 = 46,2$ Н;
 $T_3 = 40$ Н. 460. Для силы \vec{F}_1 . 461. Для силы \vec{F}_2 . 462. $M_1 = -2$ Н·м; $M_2 = 0$; $M_3 = 0$; $M_4 = 2$ Н·м.
 464. Приложенная в точке А сила должна быть направлена вверх и равна одному ньютону.
 465. а) Относительно оси, проходящей через точку О, потому что модуль и направление силы, действующей на стержень со стороны оси шарнира, неизвестны. в) $-mg \frac{L \sin\alpha}{2} + TL \cos\alpha = 0$. г) $T = \frac{mg \tan\alpha}{2}$.

- д) $mg\sqrt{1 + \frac{\text{tg}^2 \alpha}{4}}$. 466. 400 Н. 467. 200 Н. 468. а) 2 м; 0 м; 2,83 м. б) 2 Н; 1,4 Н; 2,83 Н. в) -4 Н·м; 0 Н·м; 8 Н·м. г) Нет. 469. 12 см и 2 см. 470. 30 Н. 471. 60 Н и 90 Н. 472. 50 Н. 473. 8 кг; 4 кг. 474. На расстоянии 36 см от точки подвеса груза массой 4 кг. 475. 72° . 476. Масса груши в 2 раза больше массы яблока; $\frac{l_{\text{я}}}{l_{\text{п}}} = 2$. 477. а) $T = mg \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$. б) 10 кг.

Центр тяжести

478. б) 0,4 м; 0,2 м. в) Сила натяжения первого троса равна 30 Н, а второго троса — 60 Н. 479. а) В середине стержня, соединяющего эти шарики. б) Общий центр тяжести трёх шариков совпадает с точкой пересечения медиан треугольника, образованного стержнями. 480. 100 Дж.

481. б) $\begin{cases} O_x: N_c - F_{\text{тр}} = 0; \\ O_y: N_{\text{п}} - mg = 0. \end{cases}$ в) $F_{\text{тр}} \leq \mu N_{\text{п}}$. г) Относительно нижнего конца доски, потому что только к нижнему концу приложены две силы: в остальных точках приложено только по одной силе.

- д) $-N_c l \cos \alpha + mg \frac{l}{2} \sin \alpha = 0$. е) $\frac{\text{tg} \alpha}{2} \leq \mu$. 482. а) Относительно оси шарнира, потому что неизвестна сила, приложенная к стержню со стороны шарнира. в) Момент силы тяжести отрицателен и выражается формулой $-\frac{mgl}{2}$, а момент силы натяжения троса положителен и выражается формулой $Tl \sin \alpha$. г) $T = \frac{mg}{2 \sin \alpha} = 100 \text{ Н}$. д) 100 Н.

483. а) См. рисунок 11, на котором силы, действующие на палочку со стороны края стакана, дна стакана и его стенки обозначены соответственно \vec{N}_k , \vec{N}_d и \vec{N}_c . б) Относительно оси, проходящей через нижний конец палочки, потому что нам неизвестны силы, действующие на палочку в этой точке. в) $N_k \sqrt{h^2 + d^2} - mg \frac{l}{2} \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}} = 0$. г) 0,45 Н.

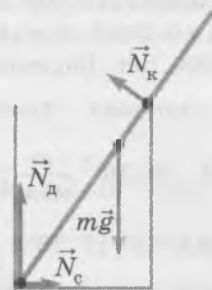


Рис. 11

484. Груз подвешен к левому концу стержня. 485. 0,5 кг. 486. Центр тяжести находится на середине биссектрисы, проведённой из вершины треугольника, в которой расположен шар массой $2m$. 487. На расстоянии 4,6 см от центра стержня в части стержня, изготовленной из свинца.

488. 0,5 кДж. 489. 60 Дж. 490. $T = \frac{mg(l+R)}{\sqrt{l(l+2R)}}$; $N = \frac{mgR}{\sqrt{l(l+2R)}}$. 491. $v = \frac{\sqrt{3gl}}{2}$. 492. Если $\mu \geq \text{tg} \alpha$, то рабочий сможет подняться на максимальную высоту $h = l \cos \alpha$. Если $\mu < \text{tg} \alpha$, то рабочий сможет подняться на максимальную высоту $h = \frac{\mu l \cos \alpha}{\text{tg} \alpha}$. 493. а) $F = \frac{mg}{2}$. б) $F = \frac{mg}{2\sqrt{2}}$.

Равновесие жидкости и газа

494. а) $F = \rho ghS$. б) $p = \rho gh$. 495. На глубине 10 м. 496. а) $p = \rho_b gh_b + \rho_k gh_k$. б) $h_b = 20 \text{ см}$, $h_k = 10 \text{ см}$.

497. б) $\frac{h_k}{h_b} = \frac{5}{4}$. в) 8 см. г) 10 см. 498. 40 г. 499. а) Стального. в) Медный. г) В сторону медного шара.

500. На 25 %. 501. а) Нет. б) Нет. в) Когда брусок плавает в керосине, объём погружённой в жидкость части бруска больше, чем когда он плавает в воде. 503. г) 100 г. 504. 880 кг/м^3 .

505. в) $m = 0,25 \rho_1 V_1$. г) 128 кг. 506. 6,6 кг. 507. $F_{\text{дно}} = \rho g a^3$; $F_{\text{стен}} = \frac{F_{\text{дно}}}{2}$. 508. На 20 м. 509. 111 Н.

510. Например, из чугуна. 511. 8 мм. 512. 8,9 кг. 513. В обоих случаях перевесит железный кубик. 514. Не более 229 г. 515. Уменьшится на 0,8 см. 516. Объём шара увеличился в 1,3 раза. 517. а) 5 см. б) Уменьшилась на 4 см. 518. 17,2 м.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Строение вещества

519. То, что вещество состоит из атомов и молекул, и то, что они находятся в непрерывном хаотическом движении. 520. То, что вещество состоит из атомов и молекул, и то, что они находятся в непрерывном хаотическом движении. 521. Быстрее всего в газах, а медленнее всего — в твёрдых телах. 522. На притяжение молекул указывает существование жидкостей и твёрдых тел, а на отталкивание молекул указывает несжимаемость жидкостей и твёрдых тел. 523. В трёх молях водорода в 3 раза больше молекул, чем в одном моле кислорода. 524. 2 моля водорода и 1 моль кислорода. 525. 1 а. е. м. приближённо равна массе одного атома водорода. 526. а) $1,8 \cdot 10^{24}$; б) $3 \cdot 10^{24}$; в) $6 \cdot 10^{22}$. Число атомов $5,4 \cdot 10^{24}$; $6 \cdot 10^{24}$; $1,8 \cdot 10^{23}$. 527. 10 моль; 0,05 моль; 5,5 моль; 0,001 моль. 528. 1; 12. 530. а) 18; б) 2; в) 32; г) 4; д) 44. 531. $m = \nu M$. 533. а) $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$; б) $M_{\text{H}_2} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$; в) $M_{\text{O}_2} = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$; г) $M_{\text{He}} = 4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$; д) $M_{\text{CO}_2} = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$. 534. а) $14,1 \text{ см}^3$. б) $1,64 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3$. в) $1,64 \cdot 10^{-4} \text{ г}$. г) $5,45 \cdot 10^{18}$. д) $1,9 \cdot 10^{15}$. 535. $1,4 \cdot 10^{11}$. 536. а) 0,086 молей. б) $5,16 \cdot 10^{22}$ каждого вида атомов. в) $3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. г) $1,72 \cdot 10^{16}$ каждого вида ионов. д) $3,45 \cdot 10^{10}$ каждого вида ионов. 537. Молекул в столовой ложке воды примерно в 10 раз больше, чем столовых ложек воды в Мировом океане. 538. Нет. Видимые глазом пылинки слишком велики, чтобы удары молекул газа по ним могли быть заметными. Такое движение пылинок обусловлено потоками воздуха. 540. а) $98 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$; б) $28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$; в) $58 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$. 541. $m_0 = \frac{M}{N_A}$. 542. а) 280 г; б) 320 г; в) $4,7 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. 543. а) $17 \cdot 10^{-3} \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$. б) $2,8 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. в) 8 г. г) $2,8 \cdot 10^{23}$. 544. а) 556 молей; б) 250 молей; в) 0,29 молей. 545. Одинаковое число молекул. Число атомов, содержащихся в 28 г азота, в 1,5 раза меньше числа атомов, содержащихся в 44 г углекислого газа. 546. а) В алюминиевом в 2,37 раза больше; б) в медном в 1,4 раза больше. 547. $N = 4 \cdot 10^{14}$. 548. Около 400 слоёв.

Изопроцессы и другие газовые процессы

549. а) 273 К. б) 373 К. 550. Температура тела увеличилась на 10 К. 551. 546 К. 552. Увеличивается тоже в 3 раза. 553. а) В 2 раза. б) В 2 раза. 554. Уменьшается тоже в 2 раза. 555. а) В 2 раза. б) В 2 раза. 556. Уменьшается в 3 раза. 557. б) В 2 раза. в) На $5 \cdot 10^4 \text{ Па}$. 558. а) Данный процесс не является каким-либо изопроцессом. в) Увеличивается. г) Увеличивается. д) Увеличивается. 559. а) Увеличилась. б) Уменьшилось. в) Увеличился. 560. а) Увеличился. б) Увеличилось. в) Увеличилась. 561. Давление газа увеличивается в 4 раза. 562. $T_2 = 150 \text{ К}$; $T_3 = 450 \text{ К}$. 563. $p_2 = 10^5 \text{ Па}$; $p_3 = 4 \cdot 10^5 \text{ Па}$. 564. 375 К. 565. 120 кПа. 568. 50 м. 569. В первом. 570. В четвёртом. 571. Точка 3 соответствует наибольшему объёму, а точка 1 — наименьшему. 572. На этапах 1—2 и 2—3 температура газа увеличивалась, а на этапах 3—4 и 4—1 уменьшалась. 573. $T_2 = \sqrt{T_1 T_3}$.

Уравнение состояния идеального газа

575. $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{1} = \frac{2}{3}$. Объём газа уменьшился в 1,5 раза. 576. а) 273 К и 373 К. б) Увеличилось на 10^5 Па . в) Объём газа уменьшился: отношение конечного объёма газа к начальному равно 0,68. 577. а) 273 К; $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$. б) 2. в) 546 К или 273 °С. 578. а) Не может. б) $\left\{ \begin{array}{l} \frac{p}{V} = a; \\ \frac{pV}{T} = c, \end{array} \right.$ где a и c — некоторые постоянные величины. в) $\frac{p^2}{T} = b$, $\frac{T}{V^2} = d$, где b и d — константы. г) Давление

увеличивается в 2 раза. д) Температура увеличивается в 4 раза. **579.** Давление газа уменьшается в 2 раза. **580.** а) $pV^3 = \text{const.}$ б) $\frac{T^3}{p} = \text{const.}$ в) Уменьшится в 8 раз. г) Уменьшится в 2,8 раз.

581. а) 1,76 г. б) 28,2 г. в) 38,8 г. **582.** Из уравнения Менделеева — Клапейрона следует, что в данном случае $\frac{V_{\text{H}}}{V_{\text{O}}} = \frac{M_{\text{O}}}{M_{\text{H}}} = 16$. Следовательно, водород занимает объём, в 16 раз больший, чем кислород. Это означает, что водород занимает 16/17 объёма сосуда, а кислород — только 1/17 часть. То, что водород занимает в данном случае намного больший объём, чем кислород, обусловлено тем, что *при равных массах* газов водород содержит в 16 раз больше молекул, а свойства газа определяются главным образом числом его молекул. **584.** $1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; примерно в 780 раз. **586.** $2,7 \cdot 10^{16}$. Это число почти в сто тысяч раз превышает число звёзд в Галактике! **587.** а) $28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. б) Например, азот. **588.** а) Увеличилось в 1,5 раза, потому что из каждых двух молекул озона образовалось три молекулы кислорода. б) Объём газа стал равным 0,6 от начального, то есть уменьшился в 1,67 раза. **589.** а) 373 К и 273 К. б) Нет, потому что он находился под подвижным поршнем и трением можно пренебречь. в) В 1,37 раза. г) 0,68. **590.** а) $1,4 \cdot 10^5$ Па. б) $11,3 \cdot 10^5$ Па. в) $12,7 \cdot 10^5$ Па. **591.** 147 см³. **592.** 375 К. **593.** $5 \cdot 10^5$ Па. **594.** 241 К. **595.** 0,04 моль. **596.** В 8 раз. **597.** 82,2 кПа. **598.** 1,13 МПа. **599.** Давление воздуха уменьшилось на 21 %. **600.** $T_2 = 9T_1$. **601.** 150 кПа. **602.** 207 кПа. **603.** 0,6. **604.** 10 см от дна сосуда. **605.** 3,8 нм. **606.** Поршень опустится на 19 см.

Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул

607. а) $6 \cdot 10^{23}$. б) $3 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}$. в) $5 \cdot 10^{-21}$ Дж. г) лишним данным является вид газа. **608.** $5,7 \cdot 10^{-21}$ Дж. Лишними данными являются названия газов (достаточно было указать, что газы одноатомные), а также давление. **611.** 1900 м/с; 480 м/с; 180 м/с. **612.** $\bar{v} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}$. **613.** 224 м/с; лишними данными являются вид газа и его температура. **614.** Давление газа на стенку сосуда уменьшилось бы в 2 раза. **615.** а) Давление увеличится в 4 раза; б) давление увеличится в 16 раз; в) давление увеличится в 3 раза; г) давление увеличится в 2 раза; д) давление уменьшится в 8 раз. **616.** 400 К. **617.** 144 кПа. **618.** 950 м/с. **619.** Кинетическая энергия молекул увеличится в 3 раза, а их среднеквадратичная скорость увеличится в $\sqrt{3}$ раз. **620.** $2 \cdot 10^{21}$. **621.** $2,3 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3}$. **622.** а) 2. б) 0,63. **623.** а) Не изменится; б) уменьшится в 1,25 раза; в) увеличится в 1,25 раза; г) увеличится в 1,1 раза. **624.** $p_2 = p_1 \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$. **625.** 341 К. **626.** а) Гелий и аргон. б) 1 г гелия и 5 г аргона.

Насыщенный пар. Влажность

627. а) 100 кПа. б) 11,6 г. **628.** а) 60 °С. б) 120 °С. **629.** 100 %. **630.** 66 %. **631.** Если показания сухого и влажного термометров *одинаковы*, значит, с влажного термометра жидкость не испаряется (поэтому он и не охлаждается). Следовательно, водяной пар в воздухе является *насыщенным*, то есть относительная влажность воздуха равна 100 %. **632.** В это время суток обычно самая низкая температура воздуха. **633.** а) Прилежащий к холодным стёклам очков слой воздуха охладился, вследствие чего водяной пар в нём стал сначала насыщенным, а затем началась конденсация пара. б) Согласно условию относительная влажность воздуха в комнате равна 60 %. Это означает, что давление водяного пара составляет 0,6 от давления насыщенного пара при той же температуре (20 °С). Используя данные из таблицы, получаем, что парциальное давление водяного пара в комнате равно 1,4 кПа. в) При 12 °С. г) Ниже 12 °С. **634.** Ненасыщенным. **635.** 7,7 г/м³. **636.** 80 °С. **637.** а) 84 %. б) 71 %. в) 74 %. **638.** 64 %. **639.** 1,7 кПа. **640.** 27 %. **641.** Пар не является насыщенным. Точка росы равна 10 °С. **642.** Не более 10 °С. **643.** 0,58 г. **644.** $1,5 \cdot 10^{24}$. **645.** а) 47 кПа. б) 2,9 г. в) 1,23 кПа. г) 0,094 г.

д) 2,8 г. **646.** Давление насыщенного водяного пара, его плотность и концентрация молекул не изменятся. Масса воды в сосуде равна 1,3 г. **647.** 623 г. **648.** 0,12 г. **649.** 232 кПа. **650.** а) 3,9 %. б) 100 %. **651.** а) 60 °С; б) 0,39 г; в) 0,26 г. **652.** Воздух придётся увлажнять, испарив при этом 30 л воды.

Механические свойства твёрдых тел

653. а) 70 МПа. б) $\epsilon = 10^{-3}$. в) $\Delta l = 0,5$ мм. **654.** $d = 8$ см. **655.** 2,3 см. **656.** 111 Н. **657.** 100 МПа; $8,3 \cdot 10^{-4}$.

ТЕРМОДИНАМИКА

Первый закон термодинамики

661. При адиабатном сжатии температура газа повышается, а при адиабатном расширении — понижается. **662.** В воздухе всегда содержится некоторое количество водяного пара. Его плотность меньше, чем плотность воздуха, потому что молярная масса воды меньше, чем молярная масса газов, входящих в состав воздуха (азота и кислорода), поэтому водяной пар поднимается вверх. При этом он попадает в более разреженные и более холодные слои атмосферы. В результате содержащийся в воздухе водяной пар может сконденсироваться, то есть превратиться в капельки воды или кристаллики льда, это и есть образование облаков. **663.** Внутренняя энергия газа уменьшилась на 200 Дж. **664.** Адиабатному расширению соответствует график 2. **665.** В изотермическом процессе внутренняя энергия газа не изменяется. **666.** $Q = A_r$. **667.** При *любом* расширении работа газа положительна, а при *любом* сжатии — отрицательна. **668.** При изотермическом расширении газ получает некоторое количество теплоты, а при изотермическом сжатии — отдаёт. **669.** При изохорном процессе работа газа равна нулю, потому что газ не расширяется и не сжимается. **670.** $Q = \Delta U$. **671.** При изохорном нагревании внутренняя энергия газа увеличивается, а при изохорном охлаждении — уменьшается. **672.** При изохорном нагревании газ получает некоторое количество теплоты, а при изохорном охлаждении — отдаёт. **673.** При изобарном нагревании внутренняя энергия газа увеличивается, а при изобарном охлаждении — уменьшается. **674.** При изобарном нагревании работа газа положительна, а при изобарном охлаждении — отрицательна. **675.** При изобарном нагревании газ получает некоторое количество теплоты, а при изобарном охлаждении — отдаёт. **676.** Не получает и не отдаёт. **677.** $\Delta U + A_r = 0$. **678.** При *любом* расширении работа газа положительна, а при *любом* сжатии — отрицательна. **679.** При адиабатном сжатии внутренняя энергия газа увеличивается, а при адиабатном расширении — уменьшается. **680.** $c_1 = 500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $c_2 = 250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. **681.** 34 °С. **682.** 23 °С. **683.** Работа газа равна нулю. **684.** Внутренняя энергия газа увеличилась на 100 Дж. **685.** 150 Дж. **686.** 1,6 кДж. **687.** Изотермическим. **688.** Изохорным. **689.** Изохорным. **690.** 300 Дж; 100 Дж. **691.** $369 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. **692.** 2,7 м/с.

Применение первого закона термодинамики к газовым процессам

694. Внутренняя энергия газа увеличилась на 5 кДж. **695.** а) 0,4 моля; б) 8 г. **697.** $\Delta U = 3p_0V_0$. **698.** Внутренняя энергия газа уменьшилась на 600 Дж. **699.** а) $2 \cdot 10^5$ Па. б) $4 \cdot 10^5$ Па. в) $\Delta U = 4,5$ кДж. **702.** а) Изобразим график данного процесса в координатах (p, V) (рис. 12). Работа газа в изобарном процессе $A_r = p_0(V_2 - V_1)$, где p_0 — постоянное давление газа, V_1 и V_2 — начальный и конечный объём газа. Из уравнения Менделеева — Клапейрона следует, что в изобарном процессе $p_0\Delta V = \nu R\Delta T$. Следовательно, $A_r = \nu R(T_2 - T_1)$. б) $\Delta U = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1)$. в) $Q = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_1)$. **703.** а) Работа газа при переходе способом *a* в 2 раза больше, чем при переходе способом *b*. б) Изменение внутренней энергии при обоих способах перехода одинаково. **704.** Переданное газу количество теплоты при переходе способом *a* в 3 раза больше, чем при переходе способом *b*. **705.** а) Увеличивалась на этапах *a* и *b*, уменьшалась на этапах *c* и *d*.

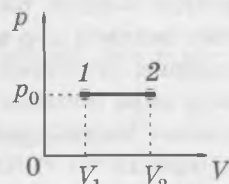


Рис. 12

б) На этапе *b*. в) На этапе *d*. г) Получал на этапах *a* и *b*, отдавал на этапах *c* и *d*. д) $(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)$.
706. а) Процесс 2—3 представляет собой адиабатное расширение, а процесс 3—1 — изотермическое сжатие. б) Газ совершает положительную работу на этапах 1—2 и 2—3; газ совершает отрицательную работу на этапе 3—1. в) Газ получает некоторое количество теплоты на этапе 1—2 и отдаёт некоторое количество теплоты на этапе 3—1. **707.** а) $T_1 = T_3$. б) $A_{12} = \nu R(T_2 - T_1)$. в) $\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R(T_2 - T_1)$.
 г) $Q_{12} = A_{12} + \Delta U_{12} = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_1)$. д) $A_{23} = \frac{3}{2}\nu R(T_3 - T_2)$. е) Количество теплоты, отданное газом в изотермическом процессе, равно работе внешних сил над газом. **708.** 250 кПа. **709.** Внутренняя энергия увеличилась на 750 Дж. **710.** а) 8 МДж; б) 2,4 кДж; в) 2,4 МДж. **711.** 1,25 кДж. **712.** Увеличилась на 80 К. **713.** 7,5 кДж. **714.** На 46,5 %. **715.** $9,6 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$. **716.** а) 8 кДж. б) 4 кДж. в) 3,6 кДж. г) 1,2 кДж. д) 400 Дж. е) 6 кДж. **717.** 600 Дж. **718.** Например, кислород. **719.** Внутренняя энергия газа увеличилась на 11,2 Дж. **720.** 200 кДж. **721.** 12,5 кДж. **722.** 46,5 кДж. **723.** 4 кДж. **724.** -163 Дж.

Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики

726. 4 кДж. **727.** 77 %. **728.** а) *a* — изохорное нагревание, *b* — изобарное расширение, *c* — изохорное охлаждение, *d* — изобарное сжатие. б) Газ совершает положительную работу на этапе *b*. $A_{\text{г}} = 2p_0V_0$. в) Используя первый закон термодинамики, найдем, что газ получает некоторое количество теплоты только на этапах *a* и *b*. Для нахождения изменения внутренней энергии газа на этих этапах воспользуемся формулой $U = \frac{3}{2}pV$. Произведение pV на этапах *a* и *b* изменилось от p_0V_0 до $2p_0 \cdot 2V_0 = 4p_0V_0$. Следовательно, $\Delta U = \frac{3}{2}(4p_0V_0 - p_0V_0) = \frac{9}{2}p_0V_0$. Согласно первому закону термодинамики $Q_1 = \Delta U + A_{\text{г}}$. Подставляя в эту формулу найденное выше выражение для работы газа ($A_{\text{г}} = 2p_0V_0$), получаем: $Q_1 = \frac{13}{2}p_0V_0$. г) $A_{\text{пол}} = p_0V_0$; д) $\eta = \frac{2}{13} \approx 15\%$. **729.** 29 %. **730.** В 3,3 раза.

731. 350 Дж; 35 %. **732.** 67 %; не может, потому что максимально возможный КПД теплового двигателя реализуется только в цикле Карно, а все реальные тепловые двигатели работают по другим циклам, со значительно меньшими КПД. **733.** 300 К. **734.** 1400 К. **735.** В 4 раза. **736.** 80 %. **737.** Увеличился; 38 %. **738.** 8,9 т. **739.** а) 400 Дж; б) 1,8 кДж; в) 22 %. **740.** 15 %. **741.** 24 %. **742.** 15 %. **743.** $\eta = \left(1 - \frac{3\nu R|\Delta T|}{2A}\right) \cdot 100\% = 25\%$. **744.** 21 кДж.

Фазовые переходы

745. До 78,6 °С. **746.** а) $2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$. б) 0 °С. в) 330 кДж/кг. г) $4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$. д) Вода. **747.** В процессе испарения жидкость покидают наиболее «быстрые» молекулы, поэтому средняя кинетическая энергия оставшихся молекул уменьшается. **748.** На 39-й этаж (при подъёме с первого этажа). **750.** а) 1,44 км/с. б) 73 %. **751.** В конечном состоянии может быть: только лёд — тогда его температура не выше 0 °С; лёд и вода — тогда их температура равна 0 °С; только вода — тогда её температура не ниже 0 °С. **752.** а) Не менее 29,6 кг; б) не более 359 г; в) больше 359 г, но меньше 29,6 кг. **753.** 77 °С. **754.** $t \geq 123 \text{ °С}$. **755.** 112 г. **756.** -2,9 °С. **757.** 41 мин. **758.** 21 °С. **759.** а) -2,5 °С; б) 7,8 °С. **760.** $3,36 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$. **761.** 15,3 °С. **762.** 3,6 г. **763.** 50 г.

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрические взаимодействия

764. а) Могут, если все шарики имеют заряд одного знака. б) Не могут, потому что среди трёх заряженных шариков хотя бы два будут иметь заряды одного знака. **765.** Тело 2. **766.** Положительный. **767.** Часть свободных электронов, притягиваясь к заряженной палочке, переместится с гильзы 2 на

гильзу **1. 768.** Свободные электроны гильзы притянутся к положительно заряженной палочке, поэтому на ближней к палочке части гильзы появится *отрицательный* электрический заряд, а на дальней её части из-за недостатка электронов возникнет *положительный* заряд. В результате гильза будет притягиваться к палочке: отрицательные заряды на гильзе находятся *ближе* к палочке, поэтому они будут взаимодействовать с палочкой сильнее, чем положительные. **769.** Гильза *B* заряжена отрицательно или не заряжена. **770.** а) $6 \cdot 10^{23}$. б) 10. в) $6 \cdot 10^{24}$. г) -10^6 Кл (округлено). д) 10^6 Кл (округлено). **771.** Силы электрического отталкивания электронов в $4,2 \cdot 10^{42}$ раз больше сил их гравитационного притяжения. Расстояние между частицами не имеет значения, потому что зависимость сил от расстояния одинакова для закона Кулона и закона всемирного тяготения. **772.** а) Силы взаимодействия шариков не изменятся; б) направление каждой силы, действующей на шарик, изменится на противоположное: если шарики притягивались, то они станут отталкиваться, а если шарики отталкивались, то они станут притягиваться. Модуль сил взаимодействия не изменится; в) силы взаимодействия шариков увеличатся в n^2 раз; г) силы взаимодействия шариков увеличатся в n^2 раз; д) силы взаимодействия шариков уменьшатся в n раз. **773.** $5,4 \cdot 10^8$; лишним данным является расстояние между шарами. **774.** а) На расстоянии 5 см от шарика с зарядом q . б) Заряд третьего шарика должен быть положительным. В таком случае, при смещении третьего шарика в сторону любого из заряженных шариков, на концах стержня будет «побеждать» сила отталкивания со стороны того шарика, к которому он приближается. В результате равнодействующая приложенных к третьему шарiku сил будет стремиться вернуть шарик в положение равновесия. **775.** Третий шарик надо поместить на расстоянии 20 см от шарика с зарядом q и на расстоянии 40 см от шарика с зарядом $-4q$ (при этом шарик с зарядом q будет находиться между третьим шариком и шариком с зарядом $-4q$). **776.** а) Этой точкой является середина отрезка, соединяющего данные заряды. б) Искомые точки лежат на серединном перпендикуляре к отрезку, соединяющему данные заряды. **777.** а) Изменятся на противоположные: до соприкосновения шарики притягивались, а после соприкосновения будут отталкиваться. б) Уменьшится в 1,25 раза. **778.** В первых трёх случаях достаточно делить заряд шарика пополам, приводя заряженный шарик в соприкосновение с незаряженным. Чтобы получить шарик с зарядом 3 нКл, можно привести в соприкосновение шарики с зарядами 2 нКл и 4 нКл. **779.** Нити отклонены на *одинаковый* угол от вертикали. **782.** а) Нет. б) На сфере образуется положительный заряд, а на стержне и стрелке — отрицательный. в) Стрелка электрометра вернётся в первоначальное положение. **783.** а) Да. б) Сфера, стержень и стрелка приобретут отрицательный заряд. в) Электрометр останется заряженным. **784.** а) Заряды палочки и электрометра имеют противоположные знаки. б) Увеличился. **785.** а) $-5e$; б) 0; в) $3e$. **786.** Заряд каждой из гильз стал равен -1 нКл. **787.** 3,6 мкН. **788.** $4,1 \cdot 10^{-7}$ Кл. **789.** 17,3 см. **790.** Нет. Шарик может быть и незаряженным. **792.** Шарик станет совершать колебания, касаясь поочерёдно то одной пластины, то другой до тех пор, пока пластины не разрядятся. **793.** 1,7 м. **794.** Сила направлена вертикально вниз. **795.** 1,44 мкН; вправо. **796.** а) 5 мН. б) 35 мН. **797.** Шар *A* останется заряженным положительно, а шар *B*, в зависимости от расстояния между ним и палочкой, может стать заряженным отрицательно, стать нейтральным или остаться положительно заряженным. **798.** В 2 раза. **799.** 5 мкКл и 3 мкКл или -5 мкКл и -3 мкКл. **800.** 0,6 мкКл; 162 мН.

Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости

801. 2 мкН; вниз. **802.** Направление напряжённости поля в данной точке пространства совпадает с направлением силы, действующей на *положительный* пробный заряд, помещённый в эту точку. Поскольку положительный пробный заряд будет отталкиваться от положительного точечного заряда, напряжённость поля положительного точечного заряда во всех точках пространства направлена от этого заряда. **804.** Модуль напряжённости поля точечного заряда Q на расстоянии r от заряда выражается формулой $E = k \frac{Q}{r^2}$. **805.** 10 Н/Кл. **806.** а) 4 нКл или -4 нКл. б) 900 Н/Кл; 400 Н/Кл; 36 Н/Кл. **807.** в) Нулю. **808.** а) 100 Н/Кл. б) 200 Н/Кл. **809.** б) $E_1 = \frac{kq}{h^2 + l^2}$. в) $E = 2 \frac{kqh}{\sqrt{(h^2 + l^2)^3}}$. **810.** б) $2 \frac{kql}{\sqrt{(h^2 + l^2)^3}}$. **811.** Линии напряжённости электрического поля не могут пересекаться. **812.** Только направлением вектора напря-

жённости поля. **813.** Только направлением вектора напряжённости поля. **814.** б) 3 см. **816.** а) Нулю; б) 15 кН/Кл. **817.** а) $1,5 \cdot 10^4$ Н/Кл; б) 1,9 кН/Кл. **818.** 10 кН/Кл; напряжённость поля направлена вверх. **819.** 18 кН/Кл; 90 мкН. **820.** а) Вправо. б) Влево. в) Вниз. г) Вверх. **821.** В обоих случаях модуль напряжённости поля равен нулю. **822.** $4,75 \cdot 10^{14}$ м/с². **823.** а) Нулю; б) нулю; в) 3,2 кН/Кл; г) 2,2 кН/Кл. **824.** а/6. **825.** Векторы напряжённости полей, создаваемых каждым из зарядов, направлены влево, причём модуль вектора напряжённости поля, создаваемого зарядом $2q$ в точке A , в 2 раза больше модуля вектора напряжённости поля, создаваемого зарядом $-q$. Вектор напряжённости результирующего поля направлен влево. Модуль напряжённости поля уменьшится в 3 раза. **826.** а) $-3q$; б) $+q$ и $-7q$; в) $-2q$ и $-4q$. **827.** 23 нКл. **828.** 262 кН/Кл; вертикально вверх. **829.** а) 1 см. б) 39 см. **830.** 90 Н/Кл. **831.** 11,5 кН/Кл. **832.** Заряд q_A положительный, а заряд q_B — отрицательный. Модуль заряда q_A в 2 раза больше, чем модуль заряда q_B . **833.** а) Углы отклонения нитей одинаковы. б) $E = \frac{4mg|q_1 - q_2|}{q_1q_2} \operatorname{tg}\alpha$. **834.** $\Delta p = 2\sqrt{2mh(mg + qE)}$.

Проводники и диэлектрики в электрическом поле

835. Влево. **836.** 36 Н/Кл. **837.** $F = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}$. **838.** Например, спирт. **839.** а) Вследствие электрического отталкивания одноимённо заряженных шариков. б) Да. г) $\frac{F_g}{F_T} = \operatorname{tg}\alpha$; д) $r = 2l\sin\alpha$. е) Например, $q_1q_2 = \frac{4l^2mg\sin^3\alpha}{k\cos\alpha}$. ж) Можно выразить любую из величин m , l , q_1 и q_2 через остальные величины и угол α (угол α выразить через другие величины будет сложно). Например, если заданы все величины, кроме массы шариков m , её можно найти по формуле $m = \frac{q_1q_2k\cos\alpha}{4l^2g\sin^3\alpha}$. **840.** а) Во-первых, на погружённые в жидкость шарики действует сила Архимеда. Во-вторых, сила взаимодействия между шариками уменьшилась. б) $\varepsilon = \frac{\rho_{ш}}{\rho_{ш} - \rho_{ж}}$. **841.** а) Часть A будет заряжена положительно, часть B — отрицательно. б) Части A и B будут не заряжены. в) если тело изготовлено из проводника, то часть A будет заряжена отрицательно, часть B — положительно. Если тело изготовлено из диэлектрика, то части A и B будут не заряжены. **842.** Шарики будут притягиваться независимо от материала, из которого они изготовлены. **843.** Уменьшатся в 2,1 раза. **844.** В областях A и B напряжённость электрического поля будет равна нулю независимо от знака заряда, сообщённого шару. **845.** Расстояние между зарядами надо уменьшить в 9 раз. **846.** 13,8 см. **847.** $\varepsilon = 6$. **848.** 18 мН. **849.** Например, в спирте. **851.** 13 см. **852.** 1800 Н/Кл; 450 Н/Кл.

Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение)

853. Работа поля положительна, потому что в этом случае направление силы совпадает с направлением перемещения. Если изменить знак заряда, то работа поля станет отрицательной, потому что направление силы будет противоположно направлению перемещения. **854.** Нулю, потому что в этом случае сила перпендикулярна перемещению. **855.** Три: qEa , 0, $-qEa$. **856.** Нулю. **857.** Одинаковую. **858.** Работа поля положительна. Потенциальная энергия заряда уменьшается. **859.** Красным надо обвести три точки, находящиеся левее точки M на рисунке, синим — три точки правее точки M , а зелёным — две точки, находящиеся на одной вертикали с точкой M . **860.** 100 В. **861.** а) Поле совершает отрицательную работу. б) -10^{-5} Дж. **864.** Около 220 В (напряжение в квартирной электрической сети!). Мы не ощущаем этого напряжения, потому что человеческое тело является проводником, в котором происходит перераспределение зарядов, в результате чего суммарная напряжённость поля внутри тела становится равной нулю. **865.** Нулю, потому что при перемещении заряда вдоль линии, перпендикулярной напряжённости поля, работа поля равна нулю. **866.** Да, является. **867.** а) Уменьшается. б) Не изменяется. в) Потенциальная энергия электрона увеличилась на $8 \cdot 10^{-17}$ Дж. г) Кине-

тическая энергия электрона уменьшилась на $8 \cdot 10^{-17}$ Дж. д) $1,3 \cdot 10^7$ м/с. **868.** а) Через $9,1 \cdot 10^{-9}$ с.

б) 3,6 см. в) $8 \cdot 10^6$ м/с. **869.** а) По параболе. б) $a = \frac{qE}{m}$. в) $v = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{qEt}{m}\right)^2}$. **870.** а) 2 мДж; б) 0.

871. Значения работы одинаковы. **872.** 2 кВ. **873.** 4 мДж. **874.** а) 0,7 мДж. б) Уменьшилась на 0,7 мДж. в) Потенциал начальной точки выше, чем конечной, на 69,3 кВ. **875.** 0,9 мДж. **876.** Не могут. **877.** 25 см. **878.** 132 мН. **879.** а) Кинетическая энергия протона увеличилась на $2 \cdot 10^{-18}$ Дж. б) Напряжённость электрического поля равна 62,5 В/м. в) Потенциальная энергия протона увеличилась бы на $2 \cdot 10^{-18}$ Дж, а его кинетическая энергия уменьшилась бы на $2 \cdot 10^{-18}$ Дж. **880.** 0,4 мкКл. **881.** 500 кВ/м. **882.** $T = 3(mg + qE)$.

Електроёмкость. Энергия электрического поля

883. 5 мкФ. **884.** а) Не изменится; б) не изменится. **885.** а) Увеличится в 4 раза; б) уменьшится в 2 раза; в) увеличится в 3 раза. **887.** 5 нКл. **888.** а) Напряжённость поля между пластинами не изменилась; б) напряжение между пластинами увеличилось в 4 раза. **889.** Энергия конденсатора *увеличивается*, потому что при удалении обкладок друг от друга мы совершаем положительную работу: направление прикладываемой нами силы совпадает с направлением перемещения. **891.** а) Не изменяется; б) уменьшается; в) увеличивается; г) увеличивается. **892.** а) Не изменяется; б) увеличивается; в) уменьшается; г) уменьшается. **893.** а) Не изменяется; б) увеличивается; в) увеличивается вследствие увеличения электроёмкости при неизменном напряжении между обкладками; г) увеличивается за счёт энергии источника тока, потому что увеличивается заряд обкладок конденсатора; д) соответствует.

894. а) Не изменяется; б) уменьшается; в) уменьшается; г) соответствует. **895.** а) $a_x = 0$; $a_y = \frac{qU}{md}$.

б) $v_x = v_0$; $v_y = \frac{qUt}{md}$. в) $x = v_0t$; $y = \frac{qUt^2}{2md}$. г) Начальная скорость частицы должна удовлетворять не-

равенству $v_0 > \frac{l}{d} \sqrt{\frac{qU}{m}}$. **896.** а) $\operatorname{tg} \alpha = \frac{qUl}{mdv_0^2}$. б) $v = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{qUl}{dmv_0}\right)^2}$. **897.** а) По прямолинейной.

б) $a_x = \frac{qU}{md}$. в) $a = \sqrt{\left(\frac{qU}{md}\right)^2 + g^2}$. г) $t = d \sqrt{\frac{m}{qU}}$. **898.** На первый; в 3 раза. **899.** На втором; в 3 раза.

900. На 300 мкКл. **901.** 2 кВ. **902.** 0,4 мкКл. **903.** 0,4 нФ. **904.** 5 мДж. **905.** 88,5 пФ. **906.** Энергия электрического поля конденсатора увеличилась в 1,5 раза. **907.** 6. **908.** а) Больше 142 В. б) На положительно заряженную пластину. в) 1,5 мм; г) 0,07. д) Потенциальная энергия уменьшится. е) Кинетическая энергия увеличится. **909.** а) 1,2 мН. б) $3,8 \cdot 10^4$ В/м. в) 1,9 кВ. **910.** 4,5 мкДж.

911. В 4 раза. **912.** $U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{mdv_0^2 \operatorname{tg} \alpha}{eL}$.

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Закон Ома для участка цепи

913. Носителями заряда в металлах являются свободные электроны. Заряд электронов отрицательный, а за направление тока принимают направление движения *положительно* заряженных частиц. Поэтому направление движения свободных электронов противоположно направлению электрического тока. **914.** В нагревании проводников, по которым идёт ток. **915.** Вследствие прохождения электрического тока через электролит (например, раствор медного купороса) могут происходить химические реакции. **916.** Проводник с током действует на магнитную стрелку; проводники с током взаимодействуют: притягиваются или отталкиваются. **917.** а) Сопротивление проводника 2 больше. б) $R_1 = 0,25$ Ом; $R_2 = 1,5$ Ом. **918.** Потому что у этих металлов малые удельные сопротивления (у серебра ещё меньше,

- но оно слишком дорого). 919. а) 1 мм². б) 0,17 Ом. 920. Вольтамперной характеристике металлического провода соответствует график, отмеченный цифрой 1. 921. Не может. 922. $R = nr$. 923. а) $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$. б) $U_1 = 10$ В; $U_2 = 30$ В. 924. а) 8 В. б) 2 А; в) $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 4$ Ом. 925. Не может. 926. $R = \frac{r}{n}$. 927. а) $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$; б) $I_1 = 3$ А; $I_2 = 1$ А. 928. а) Параллельно. б) 2 А; в) $R_1 = 6$ Ом; $R_2 = 3$ Ом. 929. Напряжение на проводниках будет одинаковым. 930. $U_1 = 15$ В; $U_2 = 5$ В. 931. Сила тока в амперметре должна быть равна силе тока в данном проводнике. 932. Напряжение на вольтметре должно быть равно напряжению на данном проводнике. 933. 0,15 А. 934. 13,1 м. 935. а) Увеличится в 4 раза; б) уменьшится в 2 раза; в) не изменится. 936. 4 А. 937. 0,9 В. 938. 0,1 А. 939. Из 20. 940. 4 А. 942. 10 В и 15 В. 943. 60 В; 60 В; 60 В; 120 В. 944. Резисторы могут быть соединены и параллельно: в таком случае их сопротивления равны. 945. Диаметр второго провода в 2 раза больше. 946. 336 м. 949. а) 0,5 А. б) 3 В; 7 В. в) 40 Ом. 950. 100 м. 953. 2 Ом и 8 Ом. 954. 1 Ом или 16 Ом. 955. 40 мВ/м. 956. $\frac{R_1}{R_2} = 3$. 957. 261 Ом.

Работа и мощность тока

958. а) Для сравнения количества теплоты, выделившегося в последовательно соединённых проводниках, удобнее использовать формулу $Q = I^2Rt$. б) $Q_2 = 2,4$ кДж. в) $I_1 = I_2 = 1$ А. 959. Во втором проводнике выделится в 2 раза большее количество теплоты, чем в первом. 960. а) Для сравнения количества теплоты, выделившегося в параллельно соединённых проводниках, удобнее использовать формулу $Q = \frac{U^2}{R}t$. б) $Q_2 = 150$ Дж. в) $U_1 = U_2 = 1$ В. 961. В первом проводнике выделится в 2 раза большее количество теплоты, чем во втором. 962. а) Если проводники соединены параллельно, $\frac{R_1}{R_2} = 4$. б) Если проводники соединены последовательно, $\frac{R_1}{R_2} = 0,25$. 964. Сопротивление проводов намного меньше, чем сопротивление нагревательного элемента. 966. а) Для сравнения значений мощности в последовательно соединённых проводниках удобнее использовать формулу $P = I^2R$. б) $P_2 = 36$ Вт. в) $I_1 = I_2 = 3$ А. 967. В первом проводнике мощность тока в 2 раза больше, чем во втором. 968. а) Для сравнения значений мощности в параллельно соединённых проводниках удобнее использовать формулу $P = \frac{U^2}{R}$. б) $P_2 = 16$ Вт. в) $U_1 = U_2 = 8$ В. 969. В первом проводнике мощность тока в 3 раза больше, чем во втором. 971. а) 24,2 Ом. б) 9,1 А. в) за 2 мин 48 с. 972. Максимальная мощность выделяется при параллельном соединении элементов, она выражается формулой $P = \frac{U^2(R_1 + R_2)}{R_1R_2}$. Минимальная (не равная нулю) мощность выделяется при последовательном соединении элементов, она выражается формулой $P = \frac{U^2}{R_1 + R_2}$. 973. 60 кДж. 974. 3 А. 975. 60 Кл. 976. 7 кДж. 977. 63 кДж. 978. 0,7 Вт. 979. 60 кДж. 980. а) 13,3 Ом; б) 480 Вт. 981. 80 Вт и 160 Вт. 982. а) 484 Вт; б) 242 Вт; в) 968 Вт. 983. 70 %. 984. $5 \cdot 10^{20}$. 985. а) Наибольшее напряжение на резисторе 4, наименьшее — на резисторах 1 и 2. б) Наибольшая сила тока в резисторе 4, наименьшая — в резисторах 1 и 2. в) Наибольшая мощность тока в резисторе 4, наименьшая — в резисторах 1 и 2. г) P_2 станет равной нулю, P_3 увеличится, P_4 не изменится. д) P_2 увеличится, P_3 уменьшится, P_4 не изменится. 986. $\frac{Q_2}{Q_3} = 2,37$. 987. Выделяемая в проводе мощность увеличится на 33 %. 988. 50 Ом и 200 Ом. 989. За 15 с. 990. 50 мин; 12 мин. 991. См. рисунок 13.

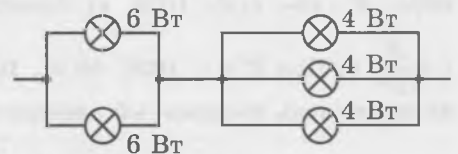


Рис. 13

Закон Ома для полной цепи

992. б) Сила тока в цепи максимальна при сопротивлении внешней цепи, равном нулю: $R = 0$. Максимальное значение силы тока равно 6 А. 993. а)

$$\begin{cases} I_1 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + r}; \\ I_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_2 + r}. \end{cases} \quad \text{б) } r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1}. \quad \text{в) } \mathcal{E} = \frac{I_1 I_2 (R_2 - R_1)}{I_1 - I_2}.$$

994. а) 2 Ом. б) 6 В. 995. Из формулы $U = \mathcal{E} - Ir$ следует, что $U = \mathcal{E}$ при $I = 0$. Из формулы закона Ома для полной цепи следует, что сила тока I стремится к нулю, когда сопротивление R внешней цепи стремится к бесконечности. А бесконечно большое сопротивление внешней цепи соответствует тому, что полюса источника разомкнуты. 996. а) 6 В. б) 3 Ом. 997. $\mathcal{E} = 12$ В; $r = 2$ Ом. 998. Закон Ома для участка цепи соответствует случаю, когда сила тока и напряжение изменяются при постоянном сопротивлении участка цепи. А изображённый на рисунке 215 график соответствует случаю, когда сила тока и напряжение изменяются вследствие того, что сопротивление внешней цепи изменяется. 1000. а) $R_1 = 0$; $R_2 = 4$ Ом. б) Увеличилось в 2 раза. в) 4 Ом. 1002. а) 2 Ом; 8 Ом; 198 Ом. б) 3 А; 1,2 А; 0,06 А. в) Чем ближе КПД источника тока к 100 %, тем больше сопротивление внешней цепи и тем меньше сила тока в цепи. Когда КПД источника тока стремится к 100 %, сопротивление внешней цепи стремится к бесконечности, а сила тока в цепи стремится к нулю — это соответствует размыканию цепи. 1003. 3 В. 1004. 3 А; 15 В. 1005. 2 Ом. 1006. 12 кДж. 1007. 90 Дж. 1008. 4,5 В. 1009. Сопротивление реостата при втором положении ползунка больше на 6 Ом. 1010. 2 Ом. 1011. 36 В; 0,5 Ом. 1012. 4 лампы. 1013. 2 А. 1014. 2 Ом. 1016. 4 Ом. 1017. 20 А. 1018. 90 %.

Дополнительные примеры расчёта электрических цепей

1019. а) Параллельно соединённые резисторы 1 и 2 можно заменить одним резистором сопротивлением $R_{12} = \frac{2}{3}$ Ом. Последовательно соединённые резисторы 4 и 5 можно заменить одним резистором сопротивлением $R_{45} = 9$ Ом. б) Последовательно соединённые резисторы R_{12} и R_3 можно заменить одним резистором $R_{123} = 3\frac{2}{3}$ Ом. После этого параллельно соединённые резисторы R_{123} и R_{45} можно заменить одним резистором, сопротивление которого равно сопротивлению

данного участка цепи. в) $R = \frac{99}{38}$ Ом. 1020. $R = \frac{19}{26}$ Ом. 1021. а) Равны

нулю разность потенциалов между точками А и С, а также разность потенциалов между точками В и D, потому что точки каждой пары этих точек соединены проводом с пренебрежимо малым сопротивлением. б) См. рисунок 14. Точка АС представляет собой «объединение» точек А и С, а точка BD — «объединение» точек В и D. Обратите внимание: резисторы 1, 2, 3 на самом деле соединены параллельно, хотя при первом взгляде на схему можно было решить, что они соединены последовательно; в) $R = \frac{6}{11}$ Ом. 1022. а) Равна нулю разность потенциалов между точками В и D, потому что они соединены проводом. Обратите внимание: разность потенциалов между точками А и С в данном случае не равна нулю! б) См. рисунок 15. в) $R = \frac{13}{16}$ Ом. 1023. $P = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}$.

1024. $P = (\mathcal{E} - Ir)I$. 1025. а) Функция $P(I)$ достигает максимума при

$I = \frac{\mathcal{E}}{2r}$. б) При $R = r$. 1026. 50 %. 1027. 80 %. 1028. Через конденсатор не может течь постоянный электрический ток. 1029. а) 12 В. б) Напряжение между точками В и D равно нулю. в) 12 В. г) $2,4 \cdot 10^{-5}$ Кл. 1030. а) $U = \frac{\mathcal{E}R}{R + r} = 20$ В. б) $q = \frac{\mathcal{E}RC}{R + r} = 80$ нКл. 1031. а) Ток

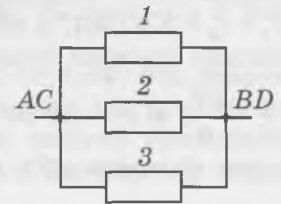


Рис. 14

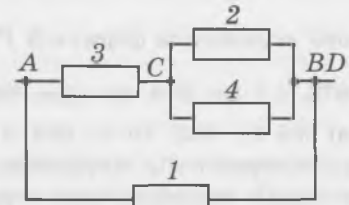


Рис. 15

будет течь через источник тока и резисторы 1, 3. б) $R = R_1 + R_3 = 11$ Ом. в) 12 Ом. г) 0,5 А. д) 4 В. е) 4 В. ж) 32 мкКл. з) Отрицательный. 1032. 1 А. 1033. $R = 18$ Ом; $I_1 = I_6 = 2$ А, $I_3 = 1,2$ А, $I_2 = I_4 = I_5 = 0,8$ А. 1034. 12 В. 1035. 4 А. 1036. Нет; 2 А. 1037. 2 Вт. 1038. 6 В. 1039. Заряд второго конденсатора в 5 раз больше, чем заряд первого. 1040. 1,32 Ом. 1041. 211 В. 1042. 8 мкКл.

Электрический ток в жидкостях и газах

1043. Ток, обусловленный движением ионов любого знака, направлен от положительного анода к отрицательному катоду. 1044. С отрицательным. 1045. Ток может течь только от холодного электрода к нагретому. Электроны будут двигаться от нагретого электрода к холодному. 1046. Ионы движутся в противоположных направлениях, но обусловленный их движением ток направлен одинаково — от положительного полюса источника тока к отрицательному. 1047. Напряжение уменьшится. 1048. 15 мкм. 1049. 333 К. 1050. 37 кВт · ч.

Электрический ток в полупроводниках

1051. Совпадает. 1052. а) Сурьма, фосфор; б) индий, скандий, галлий. 1053. а) 6 Ом. б) 16 Вт; 67 %. в) 18 Вт; 50 %. 1054. а) С валентностью, большей чем 5, например мышьяк; б) с валентностью, меньшей чем 4, например галлий. 1055. На рисунке 236, а — в прямом направлении, на рисунке 236, б — в обратном. 1057. В $9,1 \cdot 10^4$ раз. 1058. 40 Ом; 25 Ом. 1059. б) $3r$. в) $\frac{2\mathcal{E}^2}{9r}$. г) 67 %. д) $4r$; $\frac{3\mathcal{E}^2}{16r}$; 75 %. 1060. 300 Ом; 100 Ом.

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
тера	Т	10^{12}	деци	д	10^{-1}
гига	Г	10^9	санти	с	10^{-2}
мега	М	10^6	милли	м	10^{-3}
кило	к	10^3	микро	мк	10^{-6}
гекто	г	10^2	нано	н	10^{-9}
дека	да	10	пико	п	10^{-12}

НЕКОТОРЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ

Длина окружности $l = \pi D = 2\pi R$

Площадь круга $S = \frac{\pi D^2}{4} = \pi R^2$

Площадь поверхности шара $S = 4\pi R^2$

Объём шара $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

Объём прямоугольного параллелепипеда $V = abc$

Объём цилиндра $V = Sh = \pi R^2 h$

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ЗЕМЛЕ, СОЛНЦЕ И ЛУНЕ¹⁾

Радиус Земли	6400 км
Радиус Солнца	700 000 км
Радиус Луны	1 740 км
Расстояние от Земли до Солнца	150 млн км
Расстояние от Земли до Луны	380 000 км
Период обращения Луны вокруг Земли	27,3 сут.
Масса Земли	$6 \cdot 10^{24}$ кг
Масса Солнца	$2 \cdot 10^{30}$ кг
Масса Луны	$7,3 \cdot 10^{22}$ кг

¹⁾ Приведены с округлением.

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Сталь по льду	0,015
Сталь по стали	0,03—0,09
Дерево по дереву	0,2—0,5
Шины по сухому асфальту	0,5—0,7
Шины по мокрому асфальту	0,35—0,45
Шины по гладкому льду	0,15—0,20

ПЛОТНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

Вещество	Плотность, кг/м ³
Алюминий	2700
Вода	1000
Железо	7800
Золото	19300
Керосин	800
Лёд	900
Медь	8900
Нефть	800
Ртуть	13600
Свинец	11300
Сталь	7800
Чугун	7000

ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Показания сухого термометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С					
	0	1	2	3	4	5
	Относительная влажность, %					
20	100	91	83	74	66	59
21	100	91	83	75	67	60
22	100	92	83	76	68	61
23	100	92	84	76	69	61
24	100	92	84	77	69	62
25	100	92	84	77	70	63
26	100	92	85	78	71	64
27	100	92	85	78	71	65
28	100	93	85	78	72	65
29	100	93	86	79	72	66
30	100	93	86	79	73	67

**ЗАВИСИМОСТЬ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО
ВОДЯНОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Температура t , °С	Давление p_n , кПа
0	0,61
3	0,76
6	0,93
10	1,23
15	1,71
17	1,93
18	2,07
19	2,20
20	2,33
25	3,17
30	4,24
50	12,34
80	47,3
90	70,11
100	100

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

Вещество	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Алюминий	900
Вода	4200
Железо, сталь	460
Лёд	2100
Медь	400
Свинец	130

Удельная теплота парообразования воды 2,3 МДж/кг.

Удельная теплота плавления льда $3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Температура плавления свинца 327 °С.

**ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
ПРОНИЦАЕМОСТЬ
НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ**

Вещество	Диэлектрическая проницаемость
Вода	81
Воздух	1
Керамика	20
Керосин	2,1
Парафин	2
Слюда	7,5
Спирт	26
Эбонит	3

**УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
НЕКОТОРЫХ
МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ**

Вещество	10^{-8} Ом · м
Никелин	0,42
Алюминий	0,028
Медь	0,017
Сталь	0,12
Нихром	1,1
Латунь	0,071

ТАБЛИЦА Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Период	Ряд	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ										Обозначение элемента		Атомный номер		
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII							
I	1	(H)							H ¹ Водород 1,00797	He ² Гелий 4,0026						
II	2	Li ³ Литий 6,939	Be ⁴ Бериллий 9,0122	B ⁵ Бор 10,811	C ⁶ Углерод 12,01115	N ⁷ Азот 14,0067	O ⁸ Кислород 15,9994	F ⁹ Фтор 18,9984	Ne ¹⁰ Неон 20,179							
III	3	Na ¹¹ Натрий 22,9898	Mg ¹² Магний 24,305	Al ¹³ Алюминий 26,9815	Si ¹⁴ Кремний 28,086	P ¹⁵ Фосфор 30,9738	S ¹⁶ Сера 32,064	Cl ¹⁷ Хлор 35,453	Ar ¹⁸ Аргон 39,948							
IV	4	K ¹⁹ Калий 39,102	Ca ²⁰ Кальций 40,08	Sc ²¹ Скандий 44,956	Ti ²² Титан 47,90	V ²³ Ванадий 50,942	Cr ²⁴ Хром 51,996	Mn ²⁵ Марганец 54,9380	Fe ²⁶ Железо 55,847	Co ²⁷ Кобальт 58,9330	Ni ²⁸ Никель 58,71					
	5	Cu ²⁹ Медь 63,546	Zn ³⁰ Цинк 65,37	Ga ³¹ Галлий 69,72	Ge ³² Германий 72,59	As ³³ Мышьяк 74,9216	Se ³⁴ Селен 78,96	Br ³⁵ Бром 79,904	Kr ³⁶ Криптон 83,80							
V	6	Rb ³⁷ Рубидий 85,47	Sr ³⁸ Стронций 87,62	Y ³⁹ Иттрий 88,905	Zr ⁴⁰ Цирконий 91,22	Nb ⁴¹ Ниобий 92,906	Mo ⁴² Молибден 95,94	Tc ⁴³ Технеций [99]	Ru ⁴⁴ Рутений 101,07	Rh ⁴⁵ Родий 102,905	Pd ⁴⁶ Палладий 106,4					
	7	Ag ⁴⁷ Серебро 107,868	Cd ⁴⁸ Кадмий 112,40	In ⁴⁹ Индий 114,82	Sn ⁵⁰ Олово 118,69	Sb ⁵¹ Сурьма 121,75	Te ⁵² Теллур 127,60	I ⁵³ Иод 126,9044	Xe ⁵⁴ Ксенон 131,30							
VI	8	Cs ⁵⁵ Цезий 132,905	Ba ⁵⁶ Барий 137,34	La* ⁵⁷ Лантан 138,91	Hf ⁷² Гафний 178,49	Ta ⁷³ Тантал 180,948	W ⁷⁴ Вольфрам 183,85	Re ⁷⁵ Рений 186,2	Os ⁷⁶ Осмий 190,2	Ir ⁷⁷ Иридий 192,2	Pt ⁷⁸ Платина 195,09					
	9	Au ⁷⁹ Золото 196,967	Hg ⁸⁰ Ртуть 200,59	Tl ⁸¹ Таллий 204,37	Pb ⁸² Свинец 207,19	Bi ⁸³ Висмут 208,980	Po ⁸⁴ Полоний [210]*	At ⁸⁵ Астат [210]	Rn ⁸⁶ Радон [222]							
VII	10	Fr ⁸⁷ Франций [223]	Ra ⁸⁸ Радий [226]	Ac** ⁸⁹ Актиний [227]	Rf ¹⁰⁴ Резерфордий [261]	Db ¹⁰⁵ Дубний [262]	Sg ¹⁰⁶ Сиборгий [263]	Bh ¹⁰⁷ Борий [262]	Hs ¹⁰⁸ Хассий [265]	Mt ¹⁰⁹ Мейтнерий [266]	110					

Лантаноиды*	58 Ce 140,12 Церий	59 Pr 140,907 Празеодим	60 Nd 144,24 Неодим	61 Pm [147]* Прометий	62 Sm 150,35 Самарий	63 Eu 151,96 Европий	64 Gd 157,25 Гадолиний	65 Tb 158,924 Тербий	66 Dy 162,50 Диспрозий	67 Ho 164,930 Гольмий	68 Er 167,26 Эрбий	69 Tm 168,934 Тулий	70 Yb 173,04 Иттербий	71 Lu 174,97 Лютеций
Актиноиды**	90 Th 232,038 Торий	91 Pa [231] Протактиний	92 U 238,03 Уран	93 Np [237] Нептуний	94 Pu [244] Плутоний	95 Am [243] Америций	96 Cm [247] Кюрий	97 Bk [247] Берклий	98 Cf [252]* Калифорний	99 Es [254] Эйнштейний	100 Fm [257] Фермий	101 Md [257] Менделевий	102 No [255] Нобелий	103 Lr [256] Лоуренсий

Содержание

ТОМУ, КТО ХОЧЕТ НАУЧИТЬСЯ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ	3
ТОМУ, КТО ХОЧЕТ НАУЧИТЬ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ.....	3
«ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	4
ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ	5
КИНЕМАТИКА	
Система отсчёта, траектория, путь и перемещение.....	7
Прямолинейное равномерное движение. Сложение скоростей	9
Прямолинейное равноускоренное движение.....	12
Движение с ускорением свободного падения.....	16
Равномерное движение по окружности	22
ДИНАМИКА	
Три закона Ньютона.....	25
Силы тяготения	27
Силы упругости	30
Силы трения.....	36
Тело на наклонной плоскости	40
Равномерное движение по окружности под действием нескольких сил.....	44
Движение системы тел	47
ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ	
Импульс. Закон сохранения импульса.....	52
Применение закона сохранения импульса.....	56
Реактивное движение	60
Механическая работа. Мощность.....	62
Энергия и работа. Потенциальная и кинетическая энергия	66
Закон сохранения энергии в механике	70
Неравномерное движение по окружности в вертикальной плоскости.....	75
Применение законов сохранения в механике к движению нескольких тел или системы тел	81
СТАТИКА	
Условия равновесия тела	85
Центр тяжести.....	89
Равновесие жидкости и газа	92
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА	
Строение вещества.....	96
Изопроцессы и другие газовые процессы	98
Уравнение состояния идеального газа.....	102
Абсолютная температура и средняя кинетическая энергия молекул	106
Насыщенный пар. Влажность	109
Механические свойства твёрдых тел.....	112

ТЕРМОДИНАМИКА

Первый закон термодинамики.....	113
Применение первого закона термодинамики к газовым процессам	116
Тепловые двигатели. Второй закон термодинамики	122
Фазовые переходы	125

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электрические взаимодействия.....	128
Напряжённость электрического поля. Линии напряжённости.....	133
Проводники и диэлектрики в электрическом поле	138
Работа электрического поля. Разность потенциалов (напряжение).....	141
Емкость. Энергия электрического поля.....	145

ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК

Закон Ома для участка цепи	149
Работа и мощность тока	154
Закон Ома для полной цепи.....	159
Дополнительные примеры расчёта электрических цепей.....	162
Электрический ток в жидкостях и газах.....	167
Электрический ток в полупроводниках.....	168

УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ПОВЫШЕННОЙ ТРУДНОСТИ

Механика.....	171
Молекулярная физика и термодинамика.....	199
Электростатика и постоянный электрический ток	207

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ.....

212

СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

234

Геиденштейн Лев Элевич,
Булатова Альбина Александровна и др.

ФИЗИКА

10 класс
Базовый и углубленный уровни
Задачник

Редактор Г. Ершова. Методист Н. Лукиенко
Оформление Н. Новак. Художник Ю. Корчмарь
Технический редактор Е. Денюкова. Корректор И. Копылова
Компьютерная вёрстка А. Борисенко

Подписано в печать 26.01.18. Формат 84×108/16. Усл. печ. л. 19,5.
Тираж 3000 экз. Заказ № м5875.

ООО «БИНОМ. Лаборатория знаний»
127473, Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 1,
тел. (495)181-53-44, e-mail: binom@lbz.ru, <http://lbz.ru>, <http://methodist.lbz.ru>

Отпечатано в филиале «Смоленский полиграфический комбинат»
ОАО «Издательство «Высшая школа». 214020, г. Смоленск, ул. Смольянинова, 1
Тел.: +7 (4812) 31-11-96. Факс: +7 (4812) 31-31-70
E-mail: spk@smolpk.ru <http://www.smolpk.ru>