Камчатский государственный технический университет

А. Исаков

Физика

Решение задач ЕГЭ
Часть 3

Петропавловск-Камчатский
2012

УДК 50(075.8)
ББК 20я73
И85

Рецензент
доктор физико-математических наук,
профессор Дальневосточного Федерального университета
Стоценко Л.Г.

Исаков Александр Яковлевич

И85 Физика. Решение задач ЕГЭ. Часть 3: КамчатГТУ, 2012. – 249 с.

Приведены решения задач заимствованных из сборника ЕГЭ 2012. Типовые тестовые задания/ О.Ф. Кабардин, С.И. Кабардина, В.А. Орлов. – М.: «Экзамен», 2012, а также задачи из сборника Л.М. Монастырского – Ростов на Дону: «Легион – М», 2010.

Решения некоторых задач сопровождаются подробными теоретическими обоснованиями получаемых результатов.

Материалы настоящего сборника могут быть полезны старшеклассникам, выпускникам средних специальных учебных заведений при самостоятельной подготовке к испытаниям по элементарной физике в формате ЕГЭ.

Оглавление

Вариант 1

А1. В таблице представлена зависимость координаты x движения тела от времени t:

t, с	0	1	2	3	4
x, м	0	2	4	6	8

С какой скоростью двигалось тело от момента времени 0 с до момента времени 4 с?

Решение

1. Поскольку задан конечный промежуток времени, то речь идёт о величине средней скорости

$$< v >= \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{8}{4} = 2\frac{м}{с};$$

А2. Самолёт выполняет фигуру высшего пилотажа «мёртвая петля». Как направлен вектор ускорения самолёта в тот момент, когда вектор равнодействующей всех сил направлен вертикально вверх к центру окружности, а вектор скорости направлен горизонтально?

Решение

1. Запишем второй закон Ньютона в векторной форме

$$\vec{a} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{i=n}\vec{F}_i,$$

из которого видно, что вектор ускорения всегда имеет такое же направление как и главный вектор сил (равнодействующая всех сил), т.е. вектор, равный геометрической сумме всех сил, действующих на материальную точку. Поскольку по условию задачи главный вектор направлен вверх, значит и вектор ускорения будет направлен так же.

А3. Тело подвешено на двух нитях и находится в состоянии равновесия. Угол между нитями α = 90^0, силы натяжения нитей равны T_1 = 3 Н, T_2 = 4 Н. Чему равен вес тела?

Решение

1. Вес тела в данном случае будет равен геометрической сумме сил натяжения нитей, которая определяется по правилу параллелограмма

$$\left|\vec{T}_1 + \vec{T}_2\right| = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + 2T_1T_2\cos\left(\vec{T}_1;\vec{T}_2\right)}; \quad \left(\vec{T}_1;\vec{T}_2\right) = 90^0; \quad \cos\left(\vec{T}_1;\vec{T}_2\right) = 1; \nu$$

$$G = \left|\vec{T}_1 + \vec{T}_2\right| = \sqrt{T_1^2 + T_2^2} = 5\ Н;$$

А4. Груз массой m на пружине совершает свободные колебания, проходи положение равновесия с некоторой скоростью v. Через половину периода колебаний он проходит положение равновесия с прежней по модулю скоростью, двигаясь в противоположном направлении. Чему будет равен модуль изменения кинетической энергии за это время?

Решение

1. Уравнение кинетической энергии груза

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

квадрат скорости, что делает кинетическую энергию во всех обстоятельствах положительной величиной, поэтому модуль изменения кинетической энергии будет равен нулю.

А5. Тело массой m = 2 кг под действием силы F = 30 Н, параллельной плоскости перемещается вверх на расстояние x = 5 м, поднимаясь на высоту h = 3 м. Коэффициент трения скольжения тела о плоскость равен μ = 0,5. Какую работу совершит сила против действия силы трения?

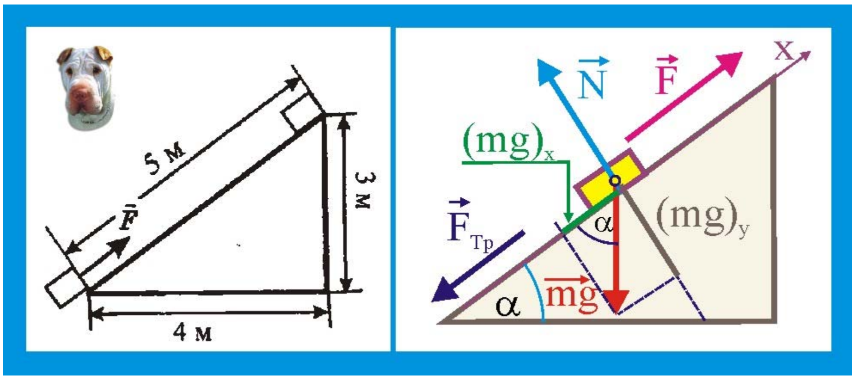


Рис. А5. Работа против силы трения

Решение

1. Определим величину силы трения

$$F_{Тр} = \mu N = \mu mg\sin\alpha\,;$$

2. По заданным геометрическим размерам найдём sinα

$$\sin\alpha = \frac{4}{5} = 0{,}8\,;$$

3. Работа, совершаемая против силы трения при перемещении тела на расстояние x

$$A(F_{Тр}) = F_{Тр}x = \mu mg\sin\alpha x = 0{,}5\cdot 2\cdot 10\cdot 0{,}8\cdot 5 = 40\text{ Дж}\,;$$

А6. Под действием силы тяжести $m\vec{g}$ и силы $\vec{F}$ рычаг находится в равновесии. Вектор силы $\vec{F}$ перпендикулярен рычагу. Если модуль силы тяжести, действующей на груз $|m\vec{g}|$ = 1500 Н, то чему равен модуль силы $|\vec{F}|$?

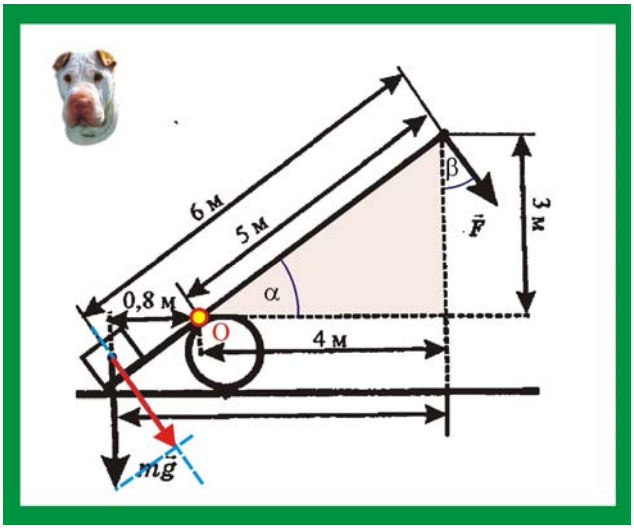


Рис. А6. Равновесие рычага

Решение

1. Для того чтобы рычаг находился в равновесии, алгебраическая сумма моментов сил относительно произвольной оси должна быть равна нулю

$$\sum_{i=1}^{i=2} M_Z(\vec{F}) = 0;$$

2. В качестве моментной выберем точку о, лежащую на оси, перпендикулярной плоскости чертежа и проходящей через эту точку.

3. Определим проекцию силы тяжести на направление перпендикуляра к рычагу

$$(mg)_y = mg\cos\beta = mg\sin\alpha = mg \cdot \sin\frac{4}{5} = 0{,}8mg;$$

4. Составим уравнение моментов

$$F \cdot 5 = 1500 \cdot 0{,}8 \cdot 1; \quad \Rightarrow F = \frac{1500 \cdot 0{,}8 \cdot 1}{5} = 240\ \text{Н};$$

5. Задача имеет более простое решение. Момент силы равен произведению модуля силы на плечо силы, т.е. на кратчайшее расстояние от оси относительно которой определяется момент до линии действия силы. В данном случае для силы $m\vec{g}$ э то расстояние составляет 0,8 м, оно задано по условию задачи. Условие равенства моментов примет вид

$$mg \cdot 0{,}8 = F \cdot 5; \quad \Rightarrow \quad F = 240\ \text{Н}.$$

А7. На графиках представлена зависимость координаты x центров масс тела *а* и тела *б* о времени *t* при гармонических колебаниях вдоль оси *Ox.* На каком расстоянии друг от друга находятся центры масс тел в момент времени t = 0 с?

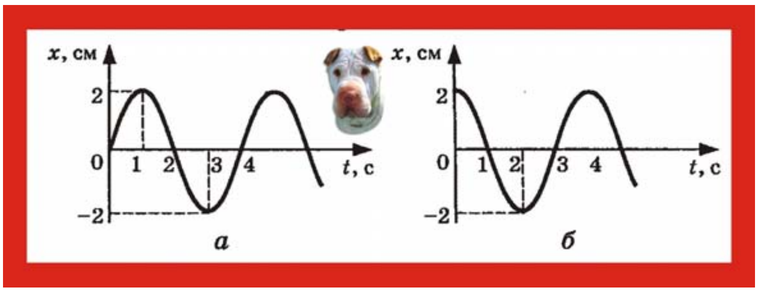


Рис. А7. Гармонические процессы

Решение

1. Уравнение колебаний тел:

$$x_а(t) = A\sin\omega t; \quad x_б(t) = A\cos\omega t;$$

2. При t = 0: $x_а(0) = 0$; $x_б(0) = A$, расстояние между центрами масс равно A= 2 см.

А8. При неизменной концентрации молекул абсолютная температура идеального газа была увеличена в 4 раза. Как при этом изменилось давление?

Решение

1. Давление идеального газа определяется уравнением:

$$p = nk_B T,$$

откуда следует, что четырёхкратное увеличение абсолютной температуры приведёт к увеличению давления в 4 раза.

А9. Идеальный газ нагревался при постоянном давлении, потом его давление увеличилось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначальной величины. Какой из графиков соответствует эти изменениям состояния газа?

Решение

1. Заданные изменения состояния в pV – координатах графически должны изображаться изохорой (V = cont), изобарой (p = const) и изотермой (T = const), причём при изотермическом расширении изменяется, и давление и объём. Этим условиям удовлетворяет только график, приведенный на фрагменте 1.

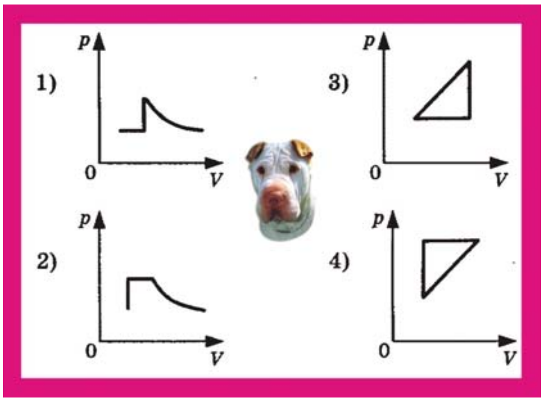


Рис. А9. Изменение состояния газа

А10. Идеальный газ получил количество теплоты ΔQ = 300 Дж и совершил работу δA = 100 Дж. Как при этом изменилась внутренняя энергия газа?

Решение

1. Изменение внутренней энергии можно определить из уравнения первого начала термодинамики:

$$\Delta Q = \Delta U + \delta A; \quad \Rightarrow \quad \Delta U = \Delta Q - \delta A = 200\text{Дж},$$

внутренняя энергия газа увеличилась на 200 Дж.

А11. Идеальная тепловая машина за цикл работы получает от нагревателя 100 Дж теплоты, из них отдаёт холодильнику 40 Дж. Чему равен КПД машины?

Решение

1. В соответствии с теоремой Сади Карно КПД идеальной тепловой машины равен:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = 0{,}6\,(60\%);$$

А12. При теплопередаче твёрдому телу массой m количества тепла ΔQ температура тела повысилась на ΔT. Чему равна удельная теплоемкость вещества?

Решение

1. Количество тепла, полученного телом и его температура связаны уравнением:

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

A13. Капля, имеющая положительный заряд +e, при освещении потеряла один электрон. Каким стал заряд капли?

Решение

1. В соответствии с законом сохранения заряда

$$\sum_{i=1}^{i=n} q_n = \text{const},$$

потеря единицы положительного заряда сделает заряд капли q = +2e.

A14. Резистор 1 с электрическим сопротивление R_1 = 3 Ом и резистор R_2 = 6 Ом включены в цепь постоянного тока последовательно. Чему равно отношение количества теплоты Q_1/Q_2, выделившей1ся на резисторах за одинаковое время?

Решение

1. Количество теплоты при прохождении постоянного тока в цепи определяется законом Джоуля – Ленца:

$$Q = IU\Delta t;$$

2. Резисторы включены последовательно, поэтому через них течёт ток одинаковой силы

$$Q_1 = IU_1\Delta t = I^2R_1\Delta t; \quad Q_2 = I^2R_2\Delta t; \quad Q_1/Q_2 = R_1/R_2 = 1/2;$$

A15. Какое явление наблюдалось в опыте Эрстеда?

Рис. A15. Эксперимент Эрстеда

Решение

1. Эрстед обнаружил, что магнитная стрелка, расположенная вблизи проводника перестаёт реагировать на магнитное поле Земли после пропускания по проводнику постоянного тока. Стрелка поворачивается перпендикулярно направлению ткущего тока и меняет ориентацию на противоположную при смене направления тока.

A16. В колебательном LC – контуре при L = 0,5 Гн возникают свободные гармонические колебания с циклической частотой ω = 10^3 с $^{-1}$. Амплитуда колебаний силы тока в контуре i_m = 0,01 А. Чему равна амплитуда колебаний напряжения на катушке?

Решение

1. Реактивное индукционное сопротивление катушки

$$R_L = \omega L;$$

2. Амплитудное значение напряжения на катушке индуктивности:

$$u_m = i_m R_L = i_m \omega L = 0{,}01 \cdot 10^3 \cdot 0{,}5 = 5\ \text{В}.$$

А17. В плоском зеркале наблюдается изображение стрелки С, глаз находится в точке Г. На какое минимальное количество клеток и в каком направлении следует сдвинуть стрелку, чтобы её изображение в зеркале не было видно глазу?

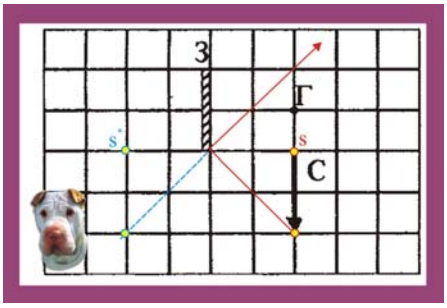


Рис. А17. Плоское зеркало

Решение

1. Приведенное на рис. А17 положение стрелки в клеточном масштабе является предельным, при перемещении стрелки на одну клетку вниз её изображение в зеркале исчезнет.

А18. Каким получается изображение предметов на сетчатке глаза?

Решение

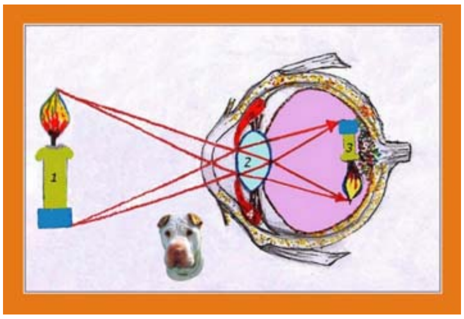


Рис. А18. Изображение на сетчатке

1. «Объектив» глаза и объектив фотоаппарата обладают общим оптическим свойством – **дают действительное, уменьшённое и перевёрнутое изображение предметов**. Но изображение предметов в фотоаппарате получается на фотопластинке, тогда как в глазу изображение образуется на сложной нервной ткани – сетчатке глаза. Именно с возникновения изображения предмета, его деталей на сетчатке глаза и начинается зрительное восприятие.

А19. Незаряженная изолированная от других тел металлическая пластинка освещается ультрафиолетовым светом. Заряд какого знака приобретёт пластинка в результате фотоэффекта?

Решение

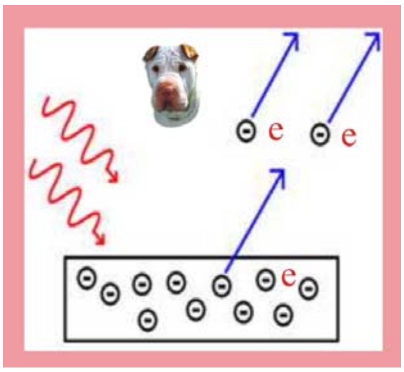


Рис. А19. Явление фотоэффекта

1. Явление фотоэффекта заключается в генерировании под действием падающих фотонов электронов с поверхности металлов

$$h\nu = \frac{m_e v^2}{2} + A,$$

поэтому при фотоэффекте, в результате вылета электронов за поверхность металла пластинка приобретает положительный заряд.

А20. Какой вид ионизирующих излучений из перечисленных ниже наиболее опасен для человека:

1) α-излучение;
2) β-излучение;
3) γ -излучение;
4) все одинаково опасны?

Решение

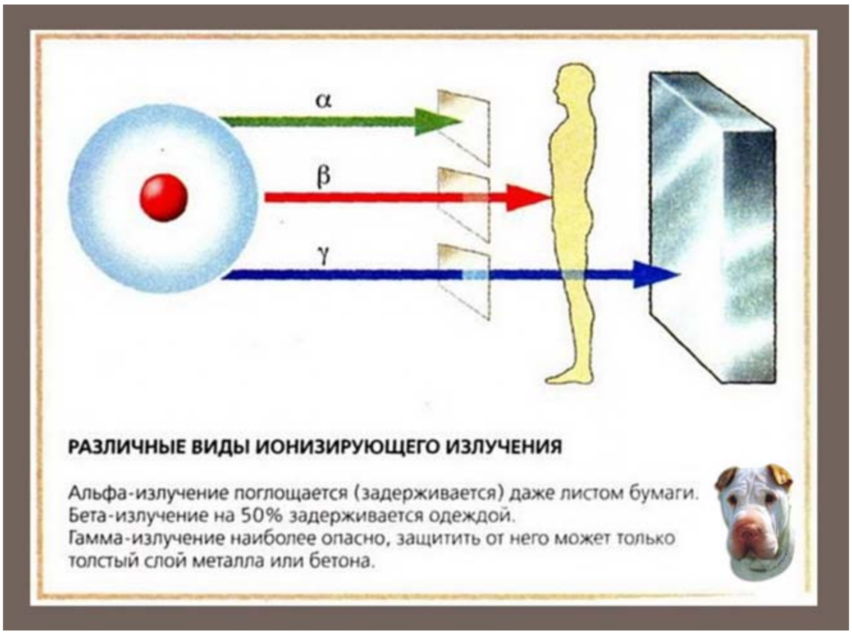


Рис. А20. Проникающая способность излучения

А21. Свет от двух точечных когерентных монохроматических источников приходит в точку 1 экрана с разностью фаз Δ = (3/2) λ, в точку 2 экрана с разностью фаз $\Delta = \lambda$. Одинакова ли в этих точках освещенность?

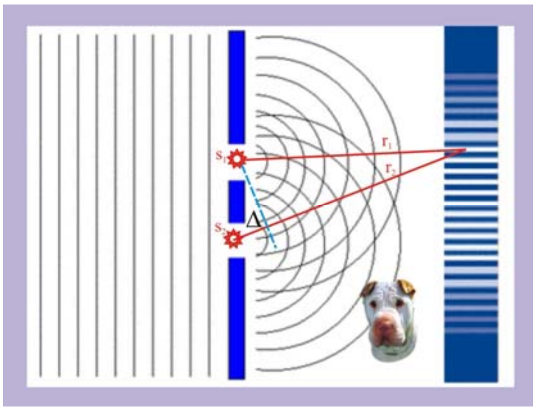


Рис. А21. Интерференция световых волн

Решение

1. Поскольку источники когерентные и монохроматические, то речь идёт об интерференции световых волн. Условия наблюдения интервенционных максимумов и минимумов имеют вид:

$$\Delta_{max} = \pm m\lambda; \quad \Delta_{min} = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2};$$

2. В точке 2 будет иметь место интерференционный максимум, а в точке 1 – минимум. Освещённость в точке 2 будет больше.

А22. Какое из приведенных высказываний правильно описывает способность атома к излучению и поглощению фотонов:

1) Атом может поглощать и излучать фотоны с любой частотой;

2) Атом может поглощать фотоны с любой частотой, излучать фотоны лишь с некоторыми определёнными значениями частоты;

3) Атом может поглощать фотоны лишь с некоторой определённой частотой, излучать фотоны любой частоты;

4) атом может поглощать и излучать фотоны только с некоторыми определёнными значениями частоты?

Решение

1. Нильс Бор сформулировал два постулата. Первый постулат: постулат стационарных состояний. Второй постулат: правило частот. Второй постулат гла-

сит: при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) один фотон с энергией, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний

$$h\nu = E_n - E_m;$$

2. Таким образом, верным является утверждение №4.

А23. Определить второй продукт ядерной реакции:

$$^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ?$$

Решение

1. Сумма зарядов (массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядов (массовых чисел) конечных продуктов (ядер и частиц) реакции. В результате ядерной реакции должно быть:

$$A = 3 + 1 = 4; \quad Z = 7 + 1 = 8,$$

откуда следует, что неизвестное ядро должно представлять собой $^{4}_{2}X$, т.е. α –частицу (дважды ионизированное ядро гения): $^{4}_{2}He$.

А24. При подключении к источнику постоянного тока заряд на одной обкладке плоского электрического конденсатора равен q. Какой заряд будет на одной обкладке конденсатора с таким же диэлектриком и таким же расстоянием между обкладками, но в 4 раза меньшей площадью пластин при подключении к тому же источнику постоянного тока?

Решение

1. Конденсаторы подключаются к одному и тому же источнику тока, поэтому разность потенциалов будет между пластинами U одинакова, что позволяет записать следующие уравнения:

$$\left.\begin{aligned} \frac{\varepsilon\varepsilon_0 s}{d} = \frac{q_1}{U}; \\ \frac{\varepsilon\varepsilon_0 s}{4d} = \frac{q_2}{U}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad q_2 = \frac{q_1}{4};$$

А25. Вагон массой m движущийся со скоростью v сталкивается с таким же вагоном, движущимся в противоположном направлении. Каков модуль суммарного импульса двух выгонов после столкновения? Столкновение считать упругим, взаимодействие с другими телами не учитывать.

Рис. А25. Столкновение вагонов

Решение

1. Поскольку внешние силы на систему «вагон – вагон» не действуют, то справедлив закон сохранения импульса системы

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \mathrm{const}; \quad |\vec{p}_1 + \vec{p}_2| = mv_1 - mv_2 = 0;$$

2. Столкновение вагонов протекает по упругой схеме, ввиду одинаковости скоростей и масс, вагоны обменяются импульсами и станут двигаться с противоположно направленными скоростями, при этом модуль суммарного импульса сохраниться, т.е он будет равен нулю.

В1. Люстра подвешена к потолку на крючке. Установите соответствие между силами, перечисленными в правом столбце таблицы и следующими характеристиками:

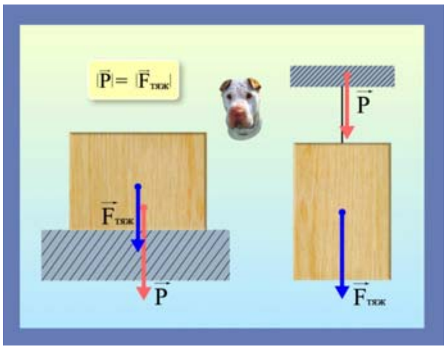


Рис. В1. Сила тяжести и вес тела

1. приложена к люстре;
2. приложена к крючку;
3. направлена вертикально вниз;
4. направлена вертикально вверх?

Решение

1. Сила тяжести приложена к люстре в точке соответствующей положению центра масс. Сила веса – это сила упругости опоры или сила натяжения нити подвеса, она приложена в случае люстры к крючку.

Сила тяжести люстры	1, 3
Сила веса люстры	2, 3

В2. По мере повышения температуры от –50 °С до +50 °С вода находилась вначале в твёрдом состоянии, затем происходил процесс плавления, и нагревания жидкой воды. Изменялась ли внутренняя энергия воды во время этих процессов и если изменялась, то как? Установить соответствие между физическими процессами, перечисленными в первом столбце, и изменениями внутренней энергии воды, перечисленные во втором столбце.

Рис. В2. Соответствие физических процессов и изменениям внутренней энергии

1. Изменение внутренней энергии молекул можно приближенно оценить по уравнению

$$\Delta U = \frac{i}{2}\frac{m}{\mu}R\Delta T;$$

где i – число степеней свободы молекул, m – масса вещества, ΔT – изменение абсолютной температуры, R – универсальная газовая постоянная.

2. Нагревание льда сопровождается увеличением внутренней энергии, т.к. увеличивается температура.

3. При плавлении льда температура остается постоянной 0 ^{o}C, но увеличивается масса воды, что приводит к увеличению внутренней энергии.

4. При нагревании воды увеличивается её температура и растёт внутренняя энергия.

А	Б	В
2	2	2

В3. Установить соответствие между физическими величинами, характеризующими адиабатный процесс расширения воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

Рис. В3. Соответствие физических величин изменениям

Решение

1. Уравнения адиабатного процесса (уравнения Пуассона), протекающего без теплообмена

$$\left.\begin{aligned} pV^{\gamma} &= const; \\ TV^{\gamma-1} &= const; \\ T^{\gamma}V^{1-\gamma} &= const; \end{aligned}\right\}$$

2. Из первого уравнения Пуассона видно, что расширение воздуха будет сопровождаться уменьшением давления.

3. Объём при расширении воздуха увеличивается.

4. Из второго уравнения Пуассона следует, что увеличение объёма должно сопровождаться уменьшением температуры и уменьшением внутренней энергии.

А	Б	В	Г
2	1	2	2

В4. К гальваническому элементу была подключена электрическая лампочка. Что произойдёт с силой тока через эту лампу, напряжением и мощностью на ней при подключении параллельно с первым гальваническим элементом второго таково же и параллельно с первой лампочкой второй такой же?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

1. увеличение;
2. уменьшение;
3. неизменность

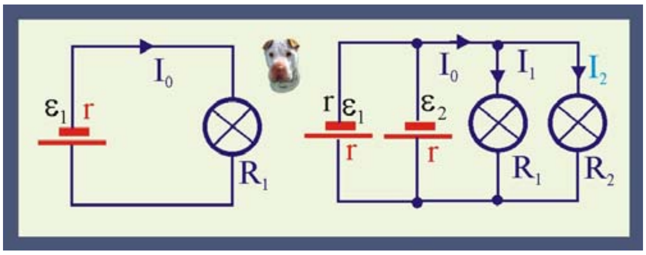


Рис. В4. Подключение лампочек

Решение

1. По условию задачи:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon; \quad r_1 = r_2 = r; \quad R_1 = R_2 = R;$$

2. На основании закона Ома для полной цепи найдём силу тока при включении одного источника ЭДС и одной лампочки, которую будем рассматривать как активное сопротивление R_1

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R + r};$$

3. Сила тока в цепи при согласованном подключении двух идентичных источников ЭДС и двух, параллельно соединённых одинаковых лампочек, определится с учётом изменения общего внутреннего сопротивления

$$I_0 \frac{\varepsilon}{\dfrac{RR}{R+R} + \dfrac{rr}{r+r}} = \frac{2\varepsilon}{R + r};$$

4. В случае подключения двух лампочек сила тока потребляемого нагрузкой от батареи ЭДС удвоится, при сохранении величины самой ЭДС (согласное параллельное включение источников с одинаковым внутренним сопротивлением).

5. Сила тока через лампочки определится из условия:

$$I_0 = I_1 + I_2; \quad I_1 = I_2 = \frac{I_0}{2} = \frac{\varepsilon}{R + r};$$

6. Так как ток в обоих случаях через лампочки и падение напряжения на них не изменяются, то указанные параметры: напряжение, мощность и сила тока останутся неизменными.

Сила толка	Напряжение	Мощность
3	3	3

Вариант 2

А1. В таблице представлена зависимость модуля скорости v от времени движения тела t:

t, с	0	2	3	4	5
v, м/с	0	10	10	0	0

Определить путь, пройденный телом от момента времени 0 с до момента времени 5 с.

Решение

1. Определим среднюю величину модуля ускорения движения:

$$<a>=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{10}{5}=2\frac{м}{c^2};$$

2. Пройденный телом путь:

$$s=\frac{<a>t^2}{2}=\frac{2\cdot 25}{2}=25м.$$

А2. Самолёт летит по круговой траектории в горизонтальной плоскости с постоянной по модулю скоростью. Как направлен вектор ускорения самолёта?

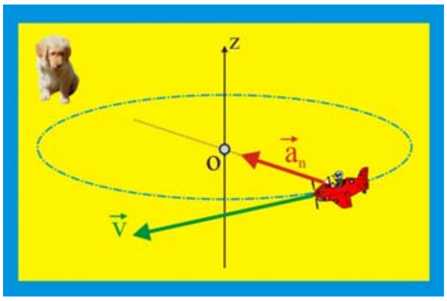


Рис. А2. Направление ускорения

Решение

1. Поскольку кинематическими методами установить направление ускорения не представляется возможным (направление ускорения зависит от системы действующих сил), то вектор ускорения принято представлять в виде двух взаимно перпендикулярных составляющих: нормального (центростремительного) ускорения, направленного к центру криволинейной траектории и тангенциального (касательного) ускорения, совпадающего с вектором скорости

$$\vec{a}=\vec{a}_n+\vec{a}_\tau; \quad |\vec{a}_n|=\frac{v^2}{r}; \quad |\vec{a}_\tau|=\frac{dv}{dt};$$

2. По условию задачи:

$$|\vec{v}|=const; \quad \Rightarrow \quad \vec{a}_\tau=0.$$

3. Самолет в рассматриваемой ситуации обладает только нормальным ускорением, которое будет направлено к оси вращения, т.е. к центру окружности о по которой он движется.

А3. Заданы три силы, линии действия которых лежат в одной плоскости. Каждая клетка приведенной на рисунке сетки соответствует 1 Н. Определить модуль вектора равнодействующей этих трёх сил, одновременно приложенных в одной точке.

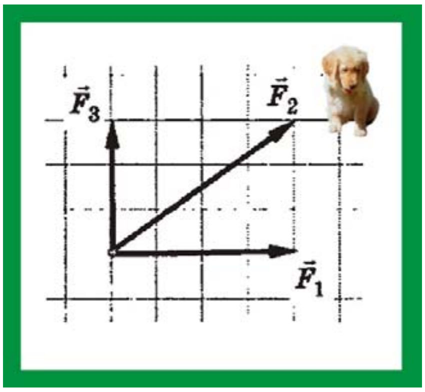


Рис. А3. Равнодействующая сил

Решение

1. Определим равнодействующую сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_3$, линии их действия составляют угол 90^o, поэтому:

$$\left|\vec{F}_{1,3}\right| = \sqrt{F_1^2 + F_3^2} = \sqrt{9+16} = 5\ H .$$

2. Модуль и направление силы $F_{1,3}$ удивительным образом совпали с модулем и направлением силы $\vec{F}_2$. В этой связи:

$$\left|\vec{R}\right| = F_{1,3} + F_2 = 10\ H,$$

Направление равнодействующей будет совпадать с направлением силы F_2.

А4. Груз массой m на пружине, совершая свободные незатухающие гармонические колебания, положение равновесия проходит со скоростью v. Через четверть периода колебаний он достигает положения максимального удаления от положения равновесия. Определить модуль изменения кинетической энергии груза за это время.

Решение

1. При прохождении положения статического равновесия пружина не деформирована и энергия груза полностью кинетическая.

2. По мере удаления груза от положения равновесия пружина растягивается или сжимается, кинетическая энергия трансформируется в потенциальную энергию, на основании закона сохранения энергии в отсутствии потерь на сопротивление и трение:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{kx^2}{2},$$

где k – коэффициент упругости пружины, x – расстояние до положения равновесия. При максимальном удалении от положения равновесия смещение становится равным амплитуде колебаний, при этом вся кинетическая энергия превращается в потенциальную, становясь равной нулю.

3. Таким образом кинетическая энергия за четверть периода колебаний изменяется в пределах:

$$\frac{mv^2}{2} \Leftrightarrow 0;$$

А5. Тело массой m = 2 кг под действием силы F = 30 Н, параллельной плоскости перемещается вверх на расстояние x = 5 м, поднимаясь на высоту h = 3 м. Коэффициент трения скольжения тела о плоскость равен μ = 0,5. Какую работу совершит сила против действия силы трения?

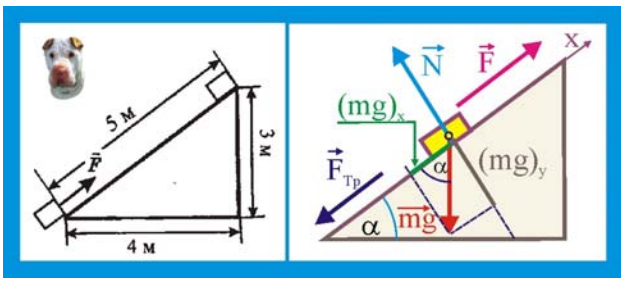


Рис. А5. Работа против силы трения

Решение

1. Определим величину силы трения

$$F_{Тр} = \mu N = \mu mg \sin\alpha;$$

2. По заданным геометрическим размерам найдём sinα

$$\sin\alpha = \frac{4}{5} = 0{,}8;$$

3. Работа, совершаемая силой трения при перемещении тела на расстояние x вверх по наклонной плоскости

$$A(F_{Тр}) = -F_{Тр}x = -\mu mg\sin\alpha x = 0{,}5\cdot 2\cdot 10\cdot 0{,}8\cdot 5 = -40\ Дж;$$

А6. Под действием силы тяжести груза mg и параллельной ей силы F, рычаг находится в равновесии. Модуль силы тяжести равен 1500 Н. При каком значении модуля силы F такое равновесие возможно?

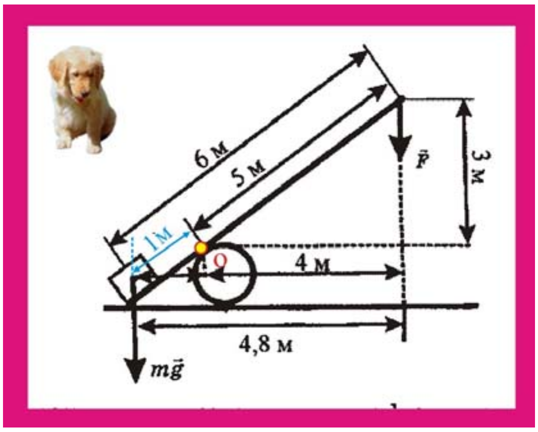


Рис. А6. Равновесие рычага

Решение

1. Для того чтобы рычаг находился в равновесии, алгебраическая сумма моментов сил относительно произвольной оси должна быть равна нулю

$$\sum_{i=1}^{i=2} M_Z(\vec F) = 0;$$

2. В качестве моментной выберем точку *о*, лежащую на оси, перпендикулярной плоскости чертежа и проходящей через эту точку.

3. Уравнение моментов с учётом того что момент сил есть произведение модуля силы на плечо (кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью) запишется следующим образом:

$$mg\cdot 1 = F\cdot 5; \quad \Rightarrow F = \frac{mg}{5} = 300\ Н.$$

А7. Приведены графики зависимости координаты x центров масс тела *а* и тела *б* от времени t при гармонических колебаниях вдоль оси *Ox*. На каком расстоянии друг от друга находятся центры масс тел в момент времени 1 с?

Решение

1. Уравнение колебаний тел:

$$x_а(t) = A\sin\omega t; \quad x_б(t) = A\cos\omega t;$$

2. При t = 1 с: $x_а(1) = A$; $x_б(1) = 0$, расстояние между центрами масс равно A= 2 см.

А8. При уменьшении абсолютной температуры идеального газа в 4 раза, как изменяется средняя квадратичная скорость его молекул?

Решение

1. Кинетическая энергия молекулы в соответствии с законом Людвига Больцмана о распределении кинетической энергии молекул между степенями свободы может быть выражена следующим образом:

$$\frac{i}{2}k_B T = \frac{m_0 < v^2 >}{2};$$

2. Принимая газ одноатомным (i = 3), получим

$$< v >= \sqrt{\frac{3k_B T}{m_0}},$$

откуда следует, что при уменьшении абсолютной температуры газа в 4 раза среднеквадратичная скорость молекул уменьшится в 2 раза.

А9. Идеальный газ сначала охлаждался при постоянном давлении, потом его давление уменьшалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре объём газа увеличивался до первоначального значения. Какой из приведенных графиков соответствует этим изменениям состояния?

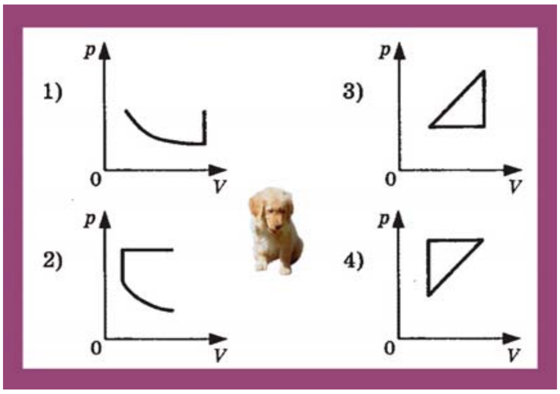


Рис. 9А. Изменение состояния газа

Решение

1. Заданные изменения состояния в pV – координатах графически должны изображаться изобарой (p = const), изохорой (V = cont), и изотермой (T = const), причём при изотермическом расширении изменяется, и давление и объём. Этим условиям удовлетворяет только график, приведенный на фрагменте 2.

А10. Идеальный газ получил количество теплоты 300 Дж, при этом внутренняя энергия увеличилась на 100 Дж. Какая работа была совершена газом?

Решение

1. Получаемое системой тепло, изменение внутренней энергии и совершаемая при этом работа связаны первым началом термодинамики, которое, по сути, является законом сохранения тепловой энергии

$$\Delta Q = \Delta U + \delta A; \quad \Rightarrow \quad \delta A = \Delta Q - \Delta U = 200 \text{ Дж}.$$

А11. Идеальная тепловая машина с КПД 50% за цикл работы отдаёт холодильнику 100 Дж тепла. Какое количество теплоты получает машина за цикл от нагревателя?

Решение

1. В соответствии с теоремой Сади Карно:

$$\eta = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H}; \quad \Rightarrow \quad \eta Q_H = Q_H - Q_X; \quad Q_H = \frac{Q_X}{\eta} = \frac{100}{0{,}5} = 200\ \text{Дж}.$$

А12. Жидкости передано количество теплоты Q при постоянной температуре T. В результате жидкость массой m перешла в газообразное состояние. Какое из приведенных уравнений определяет удельную теплоту парообразования?

1) $\frac{Q}{m}$  2) $\frac{Q}{m\Delta T}$ 3) $\frac{Q}{T}$ 4) $Q\Delta m\Delta T$

Решение

1. Удельная теплота испарения (удельная теплота парообразования) — физическая величина, показывающая количество теплоты, которое необходимо сообщить 1 кг вещества, взятому при температуре кипения, чтобы перевести его из жидкого состояния в газообразное

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

А13. Как направлены силы электрического взаимодействия двух точечных отрицательных зарядов и как эти силы зависят от расстояния между зарядами?

Решение

1. Силу взаимодействия меду двумя точечными зарядами определяет закон Шарля Огюста Кулона

$$\vec{F}_K = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{|q_1|\cdot|q_2|}{r^3}\vec{r},$$

из уравнения видно, что сила взаимодействия между двумя точечными зарядами прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Силы взаимодействия направлены по линии, соединяющей эти заряды, и могут в отличие от сил гравитационного взаимодействия, как силами притяжения, так и силами отталкивания. Разноимённые заряды притягиваются, а одноимённые (как в данном случае) отталкиваются.

А14. Модуль напряжённости однородного электрического поля равен 100 В/м. Какова разность потенциалов между двумя точками, расположенными на одной силовой линии поля на расстоянии 5 см?

Решение

1. Ввиду потенциальности электростатического поля связь между разностью потенциалов и работой, совершаемой полем при перемещении заряда имеет вид:

$$q(\varphi_1 - \varphi_2) = A = F_K\Delta r = qE\Delta r; \quad (\varphi_1 - \varphi_2) = E\Delta r = 100\cdot 5\cdot 10^{-2} = 5\ \text{В}.$$

А15. При подключении резистора с неизвестным сопротивлением к источнику тока с ЭДС ε = 10В и внутренним сопротивлением r = 1 Ом напряжение на выходе источника тока равно 8 В. Определить силу тока в цепи.

Решение

1. Закон Ома для полной замкнутой цепи

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}; \quad \Rightarrow \quad IR + Ir = \varepsilon = U_R + U_r;$$

2. Из условия задачи следует, что $U_R = 8$ В, $U_r = 2$ В, тогда сила тока в цепи

$$I = \frac{U_r}{r} = 2\ \text{А};$$

А16. При подключении неизвестной нагрузки к генератору переменной частоты получена зависимость силы тока от частоты. Напряжение на нагрузке оставалось постоянным. Что собой представляет нагрузка?

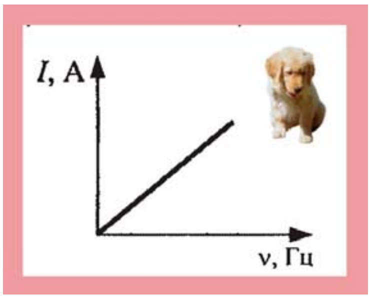


Рис. А16. Зависимость силы тока от частоты генератора

Решение

1. Зависимость силы тока от частоты указывает на зависимость сопротивления нагрузки от частоты, поскольку сила тока изменяется с частотой линейно, то нагрузка имеет ёмкостный характер, потому что:

$$R_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}; \quad i = \frac{u}{R_C} = u2\pi\nu C;$$

А17. При расположении предмета на расстоянии 25 см от глаза на сетчатке получается его чёткое изображение. Как должно измениться фокусное расстояние линзы-хрусталика при приближении предмета к глазу для поучения чёткого изображения этого предмета?

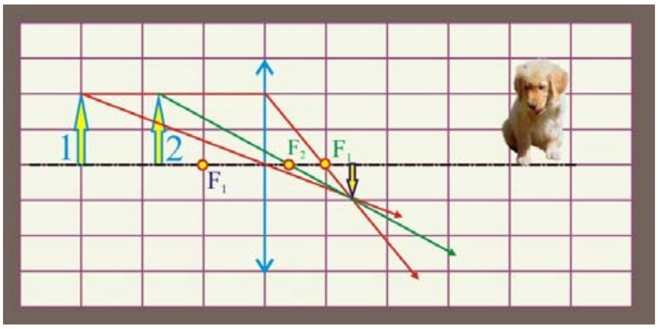


Рис. А17. Приближение предмета

Решение

1. Приведенное на рис. построение изображение в собирающей линзе, каковой является хрусталик глаза, показывает, что приближение предмета к глазу должно сопровождаться уменьшением фокусного расстояния от F_1 до F_2.

А18. Какое оптическое явление служит доказательством поперечности световых волн?

Решение

1. Доказательством поперечности электромагнитных волн, каковыми является свет, служит явление поляризации, характеризующее анизотропию световых волн, т.е. не эквивалентность различных направлений в плоскости перпендикулярной вектору скорости распространения.

А19. Какие по размерам изображения предметов может давать собирающая линза?

Решение

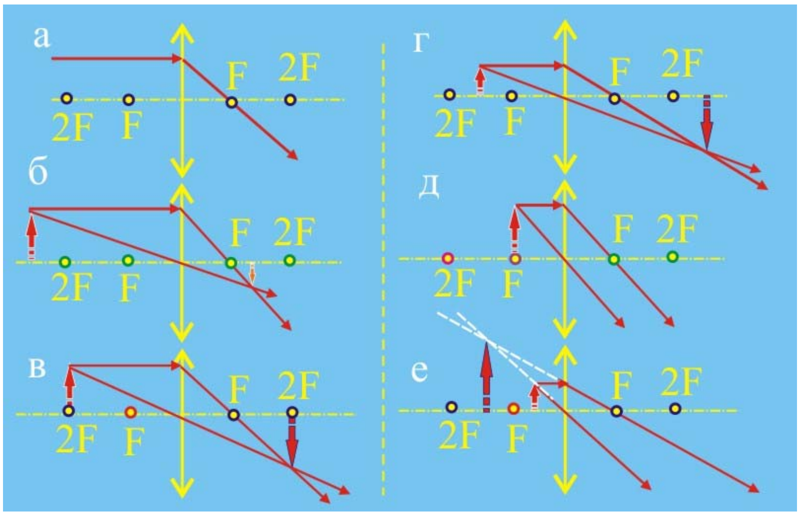


Рис. А19. Изображения предметов в собирающей линзе

1. Как видно из приведенных построений собирательная линза может давать уменьшенные, равные и увеличенные изображения в зависимости от расположения предмета относительно фокусного расстояния линзы.

А20. Какое вещество из перечисленных используется в ядерных реакторах в качестве ядерного горючего?

1) Уран
2) Графит

3) Кадмий
4) Тяжелая вода

Решение

1. В обычном состоянии ядра ^{235}U или ^{233}U между внутриядерными силами имеет место динамическое равновесие, но ядро находится, как бы, в «перегретом, метастабильном состоянии».

2. При попадании в ядро нейтрона (рис. А19.1) высвобождается энергия связи порядка 7,5 МэВ**.** Этой энергии оказывается вполне достаточно для перевода ядра в возбуждённое состояние. Ядро начинает совершать очень интенсивные колебания. Если подведенная энергия превышает значение работы деформации, необходимое для преодоления границы устойчивости, ядро распадается на две части: с помощью трековой камеры можно видеть, как они обе разлетаются в диаметрально противоположных направлениях со скоростями, составляющими около v = 1/20 скорости света. Энергию, высвобождающуюся при таком акте деления можно оценить, используя закон Кулона, она составляет примерно 200 МэВ.

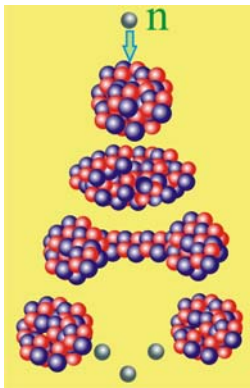


Рис. А19.1 Распад атомного ядра

3. Теория утверждает, что методом бомбардировки нейтронами возможно расщепление только относительно крупных и нестабильных ядер U^{233}, U^{235} и Pu^{239}. Энергии таких нейтронов совершенно недоста-

точно для деления стабильных ядер, например свинца. В природном уране, добываемом на рудниках, преобладает $^{238}_{92}U$, но расщепляется пополам лишь его изотоп U^{235}, содержание которого не превышает 0,7%.

4. Следует иметь в виду, что при делении одного ядра участвует 235 нуклонов, следовательно, избыток, равный 1 МэВ на нуклон, приведет к выделению примерно 200 МэВ в одном акте расщепления.

5. Чтобы нагляднее представить, значимость этого числа, напомним, что процессы, происходящие в оболочке атома (то есть химические процессы, например обычное горение), сопровождаются выделением энергии в единицы и десятки электрон-вольт на атом.

6. Расщепление же ядер урана сопровождается выделением энергии в миллионы раз большей! Например, в 1 кг способного к расщеплению нуклида $^{235}_{92}U$ содержится $2{,}56 \cdot 10^{24}$ ядер. Простой расчет при условии расщепления всех ядер дает энергию в $22{,}8 \cdot 10^{\ 6}$ Дж. Как показали проведенные исследования, в результате интенсивных колебаний ядро разрывается, как правило, на две части. Однако новые ядра не обязательно строго равны по массе. Возможно, это чисто случайно, но в большинстве случаев массы осколков относятся как 2:3.

7. Все «дочерние» ядра радиоактивны, так как по сравнению со своими устойчивыми изотопами они содержат достаточно много нейтронов. Каждое из образовавшихся ядер дает начало новому небольшому радиоактивному ряду распадов, каждый этап которого характеризуется своим периодом полураспада (рис. А.20.2). Таким образом, ядро урана $^{236}_{92}U$ превращается в ядро изотопа цезия $^{140}_{55}Cs$, которое, распадаясь в течение 66 с, становится ядром изотопа бария $^{140}_{56}Ba$. Этот изотоп тоже радиоактивен, в течение 12,8 дней он становится одним из изотопов лантана $^{140}_{57}La$, и наконец, спустя ещё 40 часов превращается в церий $^{140}_{58}Ce$. Кроме рассмотренной последовательности распада может наблюдаться схема показанная на рис 4.19 (нижняя последовательность). Яро $^{236}_{92}U$ распадается на ядра изотопа рубидия $^{94}_{37}Rb$, которое, живёт несколько микросекунд, становясь изотопом стронция $^{94}_{38}Sr$. Стронций, будучи радиоактивным, всего за 2 минуты превращается в изотоп йода $^{94}_{39}Y$ и ещё за 20 минут изотоп йода становится цирконием $^{94}_{40}Zr$. При каждом акте деления высвобождаются 2 – 3 нейтрона, вылетающие с большой скоростью, так называемые, быстрые нейтроны. Как видно, новые образования при ядерном делении получаются в возбужденном состоянии, и их внутренняя энергия высвобождается в первую очередь путем испарения нейтронов и в виде γ – излучения. Основными продуктами процесса деления являются, таким образом, два примерно равных ядра, несколько нейтронов и γ – квантов.

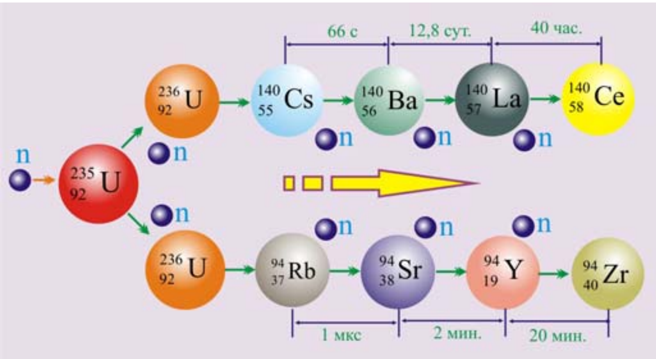


Рис. А.20.2. Схема распада ядер урана

A21. Приведен график зависимости максимальной энергии фотоэлектронов от частоты падающих на катод фотонов. Определить по графику энергию фотонов с частотой ν_1.

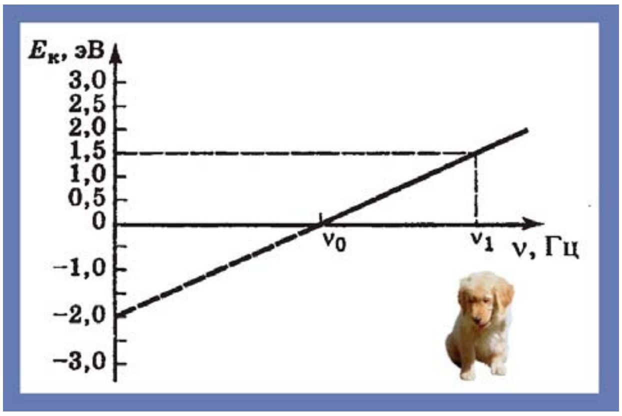


Рис. А21. Зависимость энергии фотоэлектронов от частоты

Решение

1. Запишем уравнение внешнего фотоэффекта

$$h\nu = \frac{m_e v^2}{2} + A;$$

2. Перепишем уравнение для случая $\nu = 0$

$$\frac{m_e v^2}{2} + A = 0;$$

$$\frac{m_e v^2}{2} = -A; \quad A = 2\ эВ;$$

3. Энергия фотонов при частоте падающего света ν_1

$$\varepsilon_f = 1{,}5 + 2 = 3{,}5\ эВ;$$

A22. Каким зарядовым числом обладает атомное ядро, возникшее в результате α-распада ядра атома с зарядовым числом Z?

Решение

1. Правило смещения при α-распаде

$${}^{A}_{Z}X \to {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He,$$

при α-распаде материнское ядро гелия с зарядовым числом 2 и массовым числом 4, таким образом, зарядовое число дочернего ядра будет на две единицы меньше, чем у материнского ядра.

A23. Определить второй продукт ядерной реакции:

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \to {}^{14}_{6}C + ?$$

Решение

1. Сумма зарядов (массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, равна сумме зарядов (массовых чисел) конечных продуктов (ядер и частиц) реакции. В результате ядерной реакции должно быть:

$$A = 14 + 1 = 15; \quad Z = 7 + 0 = 7,$$

откуда следует, что неизвестное ядро (частица) должно представлять собой ${}^{1}_{1}X$, т.е. протон ${}^{1}_{1}p$.

A24. Магнитная составляющая энергии катушки индуктивности колебательного LC контура равна 5 Дж, электрическая составляющая электромагнитной энергии, сосредоточенная в конденсаторе составляет тоже 5 Дж. Определить величину полной энергии электромагнитного поля колебательного контура.

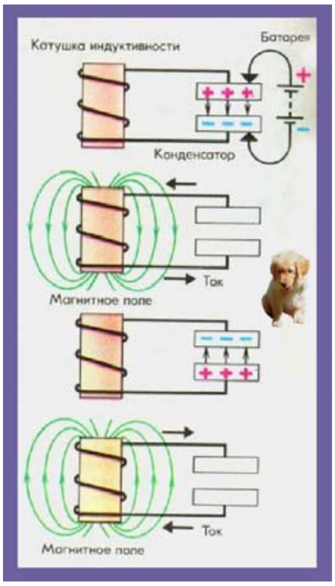


Рис. А24. Преобразование энергии в LC контуре

Решение

1. Закон сохранения механической энергии для консервативных систем

$$К + П = const,$$

сумма кинетической и потенциальной энергии для системы остаётся величиной постоянной, однако возможны взаимные преобразования кинетической энергии в потенциальную энергию и наоборот.

2. Для колебательного контура без потерь тоже можно рассматривать закон сохранения энергии: максимальное значение энергии электрического поля конденсатора равно максимальному значению энергии магнитного поля катушки индуктивности

$$W_Э + W_М = const;$$

$$\frac{Li^2}{2} + \frac{Cu_2}{2} = const; \quad W_{Э(max)} = W_{M(max)};$$

3. Полная электромагнитная энергия, таким образом, определится как:

$$W_\Sigma = W_{Э(max)} = W_{M(max)} = 5Дж;$$

А25. Атом водорода массой m, движущийся со скоростью v относительно Земли, сталкивается с таким же атомом, движущимся с такой же по модулю скоростью в противоположном направлении в той же системе отсчёта. Каким суммарным импульсом обладают два этих атома в той же системе отсчёта после столкновения? Взаимодействие атомов с другими телами отсутствует.

Решение

1. Поскольку внешние силы на систему «атом – атом» не действуют, то справедлив закон сохранения импульса системы

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = const; \quad \left|\vec{p}_1 + \vec{p}_2\right| = mv_1 - mv_2 = 0;$$

2. Если столкновение атомов протекает по упругой схеме, ввиду одинаковости скоростей и масс, атомы обменяются импульсами и станут двигаться с противоположно направленными скоростями, при этом модуль суммарного импульса сохраниться, т.е он будет равен нулю.

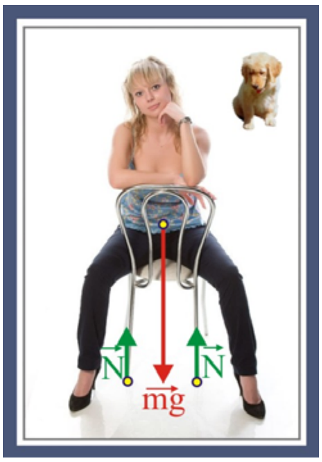


Рис. В1. Сила тяжести и вес тела

В1. Человек сидит на стуле. Установить соответствие между силами, перечисленными в первом столбце таблицы, и следующими характеристиками:

1. Приложена к человеку;
2. Приложена к стулу;
3. Направлена вертикально вниз;
4. Направлена вертикально вверх?

Решение

1. Сила тяжести приложена к человеку в точке соответствующей положению центра масс. Сила веса – это сила упругости опоры или сила натяжения нити подвеса, она приложена в случае стула к полу в местах касания ножек стула.

Сила тяжести человека	1	3
Сила веса человека	2	3

В2. По мере понижения температуры от +50 °С до –50 °С вода находилась сначала в жидком состоянии, затем происходил процесс её отвердевания, и дальнейшее охлаждение твёрдой воды – льда. Изменялась ли внутренняя энергия воды во время этих процессов и если изменялась, то как?

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ
А) Охлаждение жидкой воды	1) Остается неизменной
Б) Отвердевание воды	2) Увеличивается
В) Охлаждение льда	3) Уменьшается

Решение

1. Изменение внутренней энергии молекул можно приближенно оценить по уравнению

$$\Delta U = \frac{i}{2}\frac{m}{\mu}R\Delta T;$$

где i – число степеней свободы молекул, m – масса вещества, ΔT – изменение абсолютной температуры, R – универсальная газовая постоянная.

2. Охлаждение воды сопровождается уменьшением внутренней энергии, т.к. уменьшается температура.

3. При образовании льда температура остается постоянной 0 °С, но уменьшается масса воды, что приводит к уменьшению внутренней энергии.

4. При охлаждении льда уменьшается его температура, внутренняя энергия падает.

А	Б	В
3	3	3

В4. К источнику постоянного тока была подключена одна электрическая лампочка, сопротивление которой равно внутреннему сопротивлению источника тока. Что произойдёт с силой тока в общей цепи, напряжением на выходе источника тока и мощностью тока на внешней цепи при подключении параллельно с этой лампой второй такой же лампы:

1. Увеличение;
2. Уменьшение;
3. Неизменность?

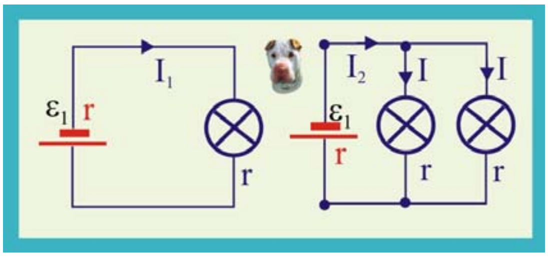


Рис. В4. Электрическая цепь

Решение

1. Сила тока в цепи с одной и двумя лампочками

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{2r}; \quad I_2 = \frac{2\varepsilon}{3r}; \quad \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 1{,}33;$$

2. При уменьшении сопротивления внешней цепи сила тока увеличится а падение напряжения на лампочках уменьшится

$$U_1 = I_1 r; \quad U_2 = 1{,}33 I_1 \cdot 0{,}5r = 0{,}67 I_1 r; \quad U_1/U_2 = 0{,}67;$$

3. Мощность тока во внешней цепи

$$P_1 = I_1 U_1; \quad P_2 = I_2 U_2 = 1{,}33 U_1 \cdot 0{,}67 U_1 = 0{,}89 P_1;$$

Сила тока	Напряжение	Мощность
1	2	2

Вариант 3

А1. В таблице представлена зависимость модуля скорости v движения тела от времени t:

t, с 	0	1	3	5
x, м	0	1	1	7

С какой скоростью двигалось тело от момента времени 3с до 5 с?

Решение

1. Величина средней скорости движения

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{7-1}{5-3} = 3\,\frac{м}{с};$$

А2. При свободных колебаниях шара, подвешенного на нити, куда направлен вектор его ускорения в момент прохождения положения статического равновесия?

Решение

1. Шар при колебаниях движется по криволинейной траектории (часть окружности с центом в точке подвеса), поэтому присутствует нормальная (центростремительная) составляющая ускорения.

2. В момент прохождения положения равновесия скорость шара максимальна, максимально и нормальное ускорение

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

3. Линии действия силы тяжести и натяжения нити лежат на одной линии, из геометрическая сумма равна нулю. Второй закон Ньютона в проекции на вертикальную ось запишется как:

$$\frac{mv^2}{r} = ma; \quad \Rightarrow \quad |\vec{a}| = \frac{v^2}{r},$$

вектор $\vec{a}_n$ направлен вертикально вверх.

А3. С каким ускорением будет двигаться тело массой 4 кг, находящееся под действием постоянной силы 8 Н?

Решение

1. В соответствии со вторым законом Ньютона

$$\vec{F} = m\vec{a}; \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = 2\,\frac{м}{с^2};$$

А4. Задана плоская система сходящихся сил. Модуль силы F_1 = 5 Н. Определить модуль равнодействующей силы заданной системы $\{\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3\}$.

Решение

1. По масштабной сетке определяем модули заданных сил:

$$F_2 = 4\ Н;\quad F_3 = 2\ Н;\quad F_1 = 5\ Н;$$

2. Определим сумму сил F_1 и F_3

$$F_{1,3} = 5 - 2 = 3\ Н;$$

3. Модуль равнодействующей R

$$|\vec{R}| = \sqrt{F_{1,3}^2 + F_2^2} = 5\ Н;$$

4. Такой же результат получится, если вначале сложить силы F_1 и F_2, а затем $F_{1,2}$ и F_3.

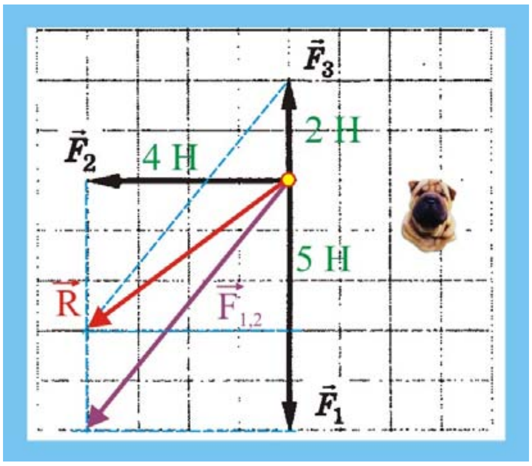


Рис. А4. Плоская система сил

А5. Тело массой m = 3 кг под действием силы F = 20 Н, линия действия которой параллельна наклонной плоскости опустилось вниз по плоскости на h = 3 м. Коэффициент трения скольжения μ = 0,5. Какую работу совершила сила F при спуске тела по плоскости?

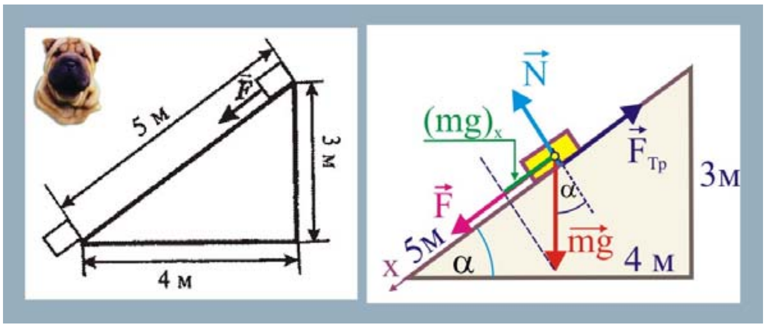


Рис. А5. Спуск тела по плоскости

Решение

1. Определим величину силы трения

$$F_{Тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha = \mu mg\frac{3}{5} = 0{,}5 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 0{,}6 = 9Н;$$

2. Проекция силы тяжести на направление движения

$$(mg)_x = mg\sin\alpha = 30 \cdot 0{,}8 = 24Н;$$

3. Так как $(mg)_x > F_{Тр}$, то тело будет скатываться вниз без участия приложенной к телу силы F. Используя принцип независимости действия сил, определим работу силы F

$$A(\vec{F}) = F\ell = 20 \cdot 5 = 100\ Дж.$$

А6. Под действием силы тяжести $m\vec{g}$ и силы $\vec{F}$ рычаг находится в равновесии. Определить модуль силы $\vec{F}$, если модуль силы тяжести равен 30 Н.

Решение

1. Проекция силы тяжести на вертикаль к рычагу

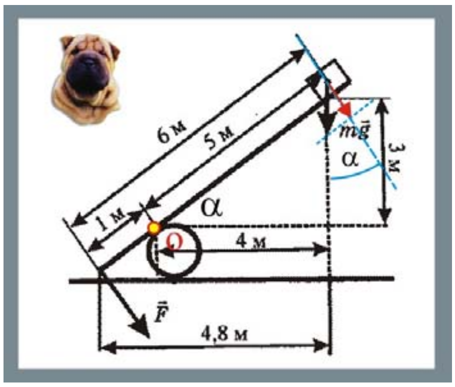


Рис. А6. Условие равновесия рычага

$$(mg)_y = mg\cos\alpha = mg\frac{3}{5} = 0{,}6mg = 18\ \text{Н};$$

2. Условие равновесия рычага

$$F\cdot 1 = 0{,}6mg\cdot 5; \quad \Rightarrow F = 90\ \text{Н}.$$

А7. Две одинаковые струны, натянутые одинаково на гитаре и на обыкновенной доске большой массы, после щипка совершают свободные колебания с одинаковой частотой и одинаковой начальной амплитудой. От какой из этих струн будет слышен более громкий звук и от каковой звук будет слышен дольше:

1. Громче и дольше будет слышен звук от струны на гитаре;
2. Громче будет звук от струны на гитаре, дольше звук от струны на доске;
3. Громче будет слышен звук от струны на гитаре, длительность звучания обеих струн будет одинаковой;
4. Громкость звучания и длительность звук от обеих струн будет одинаковой?

Рис. А7. Резонатор гитары

Решение

1. Верным является утверждение 2, потому что при колебаниях струны на гитаре в процессе формирования акустических волн принимает участие резонатор, выполненный в виде гитарного корпуса.

2. Стоячие волны, возникающие на струне, возбуждают колебания резонатора, поэтому звучание более громкое. Первоначальная энергия струны в случае гитары расходуется на преодоление сопротивления воздуха и на возбуждение колебаний резонатора, поэтому в единицу времени энергии расходуется больше, чем при колебаниях струны, натянутой на доске, где влияние на затухание оказывает только сопротивление воздуха и потери в узлах крепления.

А8. Если при сжатии объём идеального газа уменьшился в два раза, а давление увеличилось в 2 раза, то, как изменилась при этом абсолютная температура?

Решение

1. Составим следующую систему уравнений, характеризующих состояния идеального газа

$$\left.\begin{aligned} pV &= \nu RT_1; \\ 2p\frac{V}{2} &= \nu RT_2; \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad T_1 = T_2;$$

А9. Идеальный газ сначала нагревался при постоянном давлении, потом его давление уменьшалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре давление газа увеличилось до первоначального значения. Какой из графиков в осях p – T соответствует эти изменениям состояния газа?

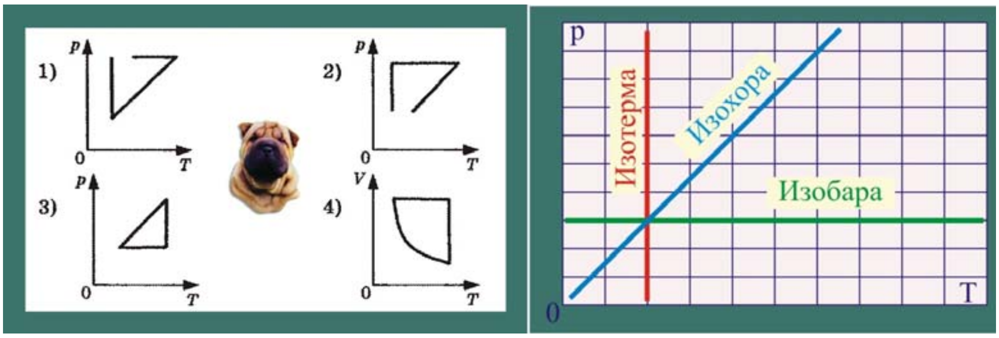


Рис. А9. Изменение состояния газа

Решение

1. На правом фрагменте рис. А9 приведены графические интерпретации изопроцессов в p-T координатах. Сравнение и правого и левого фрагментов показывает, что заданным условиям изменения состояния удовлетворяет график №1.

А10. Идеальный газ получил количество теплоты 100 Дж, и при этом его внутренняя энергия увеличилась на 100 Дж. Какая работа совершена газом?

Решение

1. Поскольку вся полученная энергия преобразовалась во внутреннюю энергию, то процесс этот явно изохорный, протекающий без изменения объёма

$$V = const,$$

работа в этом процессе равна нулю. С другой стороны

$$\Delta Q = \Delta U + \delta A; \quad \Rightarrow \quad \delta A = \Delta Q - \Delta U = 0;$$

А11. Чему равен КПД идеальной тепловой машины, если она за цикл совершает полезную работу 50 Дж и отдаёт холодильнику 100 Дж?

Решение

1. Количество тепла, полученное от нагревателя

$$Q_H = A + Q_X = 150 \text{ Дж};$$

2. КПД машины

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{50}{150} \cong 0{,}33\,(33\%);$$

А12. Приведен график зависимости температуры T воды массой m от времени t при осуществлении теплопередачи с постоянной мощностью P. В момент времени t = 0 вода находилась в твёрдом состоянии. В течение какого интервала времени происходило нагревание льда, и в каком временном интервале времени происходило нагревание пара?

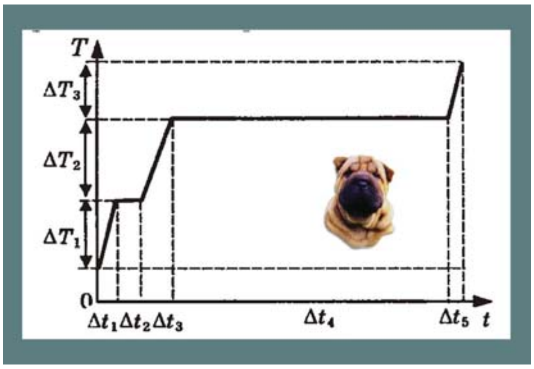


Рис. А12. Зависимость температуры

Решение

1. Уравнения, описывающие процессы нагревания

$$Q_Л = c_Л m\Delta T; \quad Q_П = c_П m\Delta T;$$

При постоянстве подводимой тепловой мощности (количество энергии в единицу времени) зависимость температуры от времени имеет вид прямой. Два горизонтальных участка графика соответствуют процессу плавления льда и испарению воды, поэтому процесс нагревания льда происходит в течение времени Δt_1, а процесс нагревания пара в промежутке времени Δt_5.

А13. Как изменится сила взаимодействия между двумя точечными зарядами при уменьшении каждого заряда в 2 раза и уменьшении расстояния между ними тоже в 2 раза?

Решение

1. Составим систему уравнений на основании закона Кулона, описывающего взаимодействие точечных зарядов

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}; \\ F_2 &= \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{\frac{q_1}{2}\frac{q_2}{2}}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad F_1 = F_2;$$

А14. Как изменится энергия электрического поля в подключенном к источнику постоянного тока плоском конденсаторе при увеличении в 2 раза расстояния между обкладками?

Решение

1. Ёмкость плоского конденсатора и запасаемая энергия определяются уравнениями:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 s}{d}; \quad W_E = \frac{CU^2}{2};$$

Увеличение расстояния d в два раза уменьшит ёмкость плоского конденсатора в два раза, что приведёт в свою очередь к уменьшению в два раза энергии электрического поля между обкладками.

А15. Какая сила действует на участок прямолинейного проводника длиной 50 см по которому течёт ток силой 20 А, находящийся в однородном магнитном поле с индукцией 2 Тл? Проводник расположен к силовым линиям под углом $37^{0.}$

Решение

1. Проводник с током, помещенный в магнитное поле испытывает действие силы Ампера

$$\left|\vec{F}_A\right| = IB\ell\sin\left(\vec{B};\vec{\ell}\right) = IB\ell\sin 37^0 = 20\cdot 2\cdot 0,5\cdot 0,6 = 12\ Н;$$

А16. Как изменится индуктивное сопротивление катушки при уменьшении частоты переменного тока в 4 раза?

Решение

1. Индуктивное сопротивление катушки определяется уравнением

$$R_L = \omega L = 2\pi\nu L,$$

при уменьшении частоты переменного тока в четыре раза индуктивное сопротивление катушки тоже уменьшится в 4 раза.

А17. При каком движении электрического заряда не происходит излучение электромагнитных волн?

Решение

1. Стараниями Максвелла, Герца, Хависайда взаимодействие электрических зарядов и магнитного поля удалось свести к четырём уравнениям:

$$\left.\begin{aligned}
&(\mathrm{I}) \quad \oint_S \vec{E}d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_V \rho dV;\\
&(\mathrm{II}) \quad \oint_S \vec{B}d\vec{S} = 0;\\
&(\mathrm{III}) \quad \oint_\ell \vec{E}d\vec{\ell} = -\int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}d\vec{S};\\
&(\mathrm{IV}) \quad \oint_\ell \vec{B}d\vec{\ell} = \mu_0\oint_S\left(\vec{j} + \varepsilon_0\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right)d\vec{S},
\end{aligned}\right\}$$

где E − напряжённость электрического поля, B − индукция магнитного поля, S − площадь контура, ℓ − длина контура, μ_0 − магнитная постоянная, ε_0 − электрическая постоянная, j − плотность тока.

2. Выяснилось, что **в уравнениях «зашифрована» скорость света**, которая к моменту появления уравнений была уже измерена экспериментально. Дело в том, что комбинация достаточно хорошо известных постоянных величин, входящих в систему уравнений

$$\sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0\mu_0}} \cong \sqrt{\frac{1}{9\cdot 10^{-12}\cdot 12{,}56\cdot 10^{-7}}} \cong 2{,}99874109\cdot 10^8\ \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

совпала с высокой степенью точности с измеренным значением скорости света. Совпадение было настолько разительным, что его трудно было отнести к случайному, если даже очень сильно захотеть.

3. До этого даже мысли ни у кого из учёных не возникало, что световые волны имеют какое-то отношение к электродинамике. Оптика, хоть и волновая, никак не связывалась с электромагнитными забавами Максвелла Герца и Хевисайда.

4. Проведя анализ уравнений с позиций закона сохранения энергии, Максвелл пришёл к совершенно фантастическому по тем временам выводу. **Уравнения не удовлетворяли закону сохранения энергии.**

5. Процесс преобразования переменного электрического поля в магнитное поле, **сопровождается ускоренным движением электрических зарядов**, поэтому, по предположению Максвелла, должен сопровождаться образованием волн, которые и уносят часть энергии, первоначально запасённой в рассматриваемом контуре.

6. Мало того, по Максвеллу, для распространения этих волновых процессов совершенно не требовалась среда, **они могли путешествовать в пустоте**.

7. Сейчас можно только представить, как эта идея подействовала на учёный мир, полагавший, кстати, не без оснований, что распространения волны обязательно должно быть связано с теми или иными деформациями среды. В этом плане уравнения Максвелла были просто опасны для всего, что было написано по электродинамике до того, так как они не оставляли камня на камне в электродинамических замках, построенных многими поколениями талантливых учёных.

8. Но очевидно именно в этом и состоит суть прогресса, когда на смену, казалось бы, безупречным причёсанным временем теориям, приходят, кажущиеся по началу несуразными, новые воззрения и напористо занимают своё место под Солнцем. Так случилось и с системой уравнений Максвелла.

9. Электромагнитные волны, предсказанные Максвеллом и экспериментально обнаруженные Герцем, не возникали в соответствие с третьим уравнением при постоянстве магнитного потока, т.е. при отсутствии ускоренного движения зарядов.

10. Таким образом, электромагнитные волны не возникают только при равномерном прямолинейном движении электрических зарядов.

A18. Изменяется ли частота и длина волны света при его переходе из воды в вакуум?

Рис. A18. Изменение длины волны при переходе из воздуха в воду

Решение

1. Частота не изменяется, потому что она обусловлена параметрами источника волн.

2. При переходе из одной среды в другую меняется скорость распространения световых волн в зависимости от оптической плотности среды. Скорость распространения (фазовая скорость) связана с показателем преломления среды

$$n_1 = \frac{c}{v_1}; \quad n_2 = \frac{c}{v_2};$$

3. В рассматриваемом случае показатель преломления воздуха $n_2 = 1$, поэтому $v_2 = c \cong 3 \cdot 10^8$ м/с. у воды показатель преломления $n_1 \approx 1,33$

$$v_1 = \frac{c}{n} \approx 2,25 \cdot 10^8 \frac{м}{с};$$

4. Поскольку $v = \lambda\nu$, то при переходе волны из воды в воздух её скорость увеличивается, значит должна увеличиваться и длина волны.

A19. Могут ли линзы давать действительные изображения предметов?

Решение

1. Действительные, прямые, перевёрнутые, уменьшенные и увеличенные изображения предметов можно получить в собирающих линзах. Характеристики изображения зависят от взаимного положения предметов относительно

главного оптического центра линзы. В рассеивающих линзах изображения мнимые.

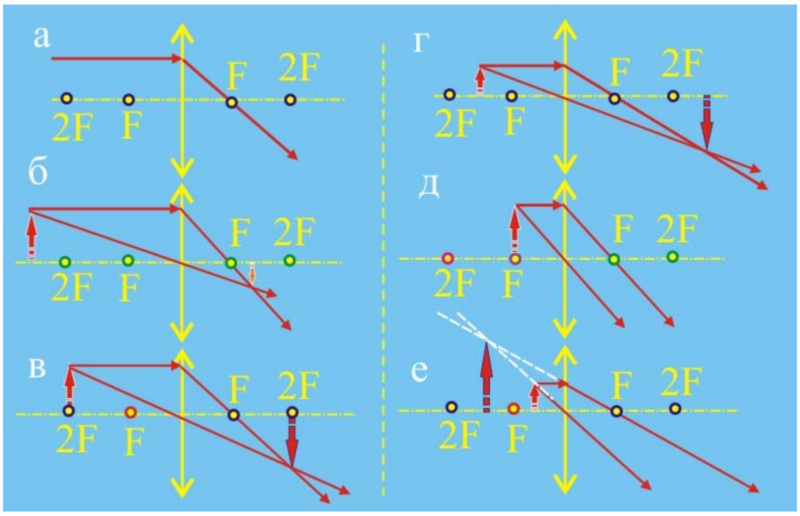


Рис. А19. Изображения предметов в собирающей линзе

А20. Какое изображение даёт обычно объектив фотоаппарата на матрице или фотоплёнке?

Решение

1. Объективы современных фотоаппаратов представляют собой, по сути, собирающие линзы с переменными фокусными расстояниями и компенсаторами различных оптических искажений. При расположении предметов за двойным фокусным расстоянием (рис. А19 б) изображение получается действительным, уменьшенным и перевёрнутым.

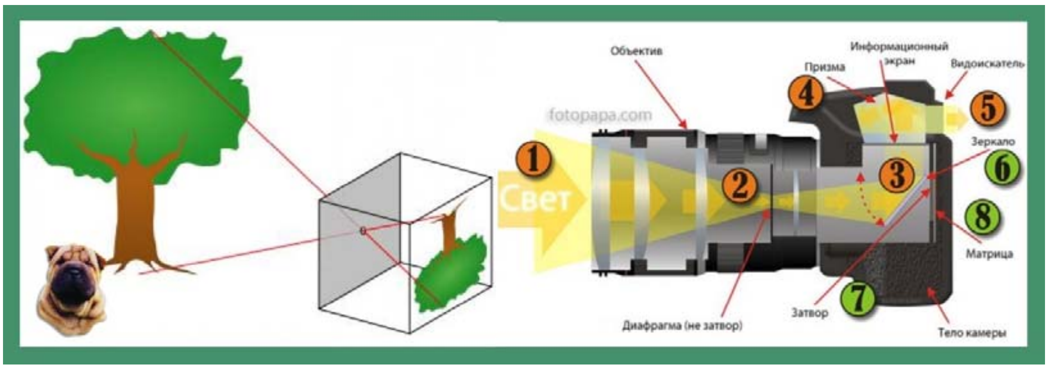


Рис. А20. Камера Обскура и получение изображение в фотоаппарате

А21. Фотокатод с работой выхода А освещают монохроматическим светом с частотой ν, максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, при этом равна ε_1. Как изменится максимальное значение энергии фотоэлектронов при использовании фотокатода с работой выхода 2А при неизменных характеристиках падающих фотонов?

Решение

1. Составим систему уравнений, используя закон внешнего фотоэффекта:

$$\left.\begin{aligned} h\nu &= \varepsilon_1 + A \\ h\nu &= \varepsilon_2 + 2A \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \varepsilon_1 + A = \varepsilon_2 - 2A; \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_1 - A;$$

А22. В каком из перечисленных ниже приборов для регистрации ядерных излучений прохождение быстрой заряженной частицы вызывает появление импульса электрического тока в газе:

1. В счётчике Гейгера:
2. В камере Вильсона;
3. В фотоэмульсии;
4. В сцинтилляционном счётчике?

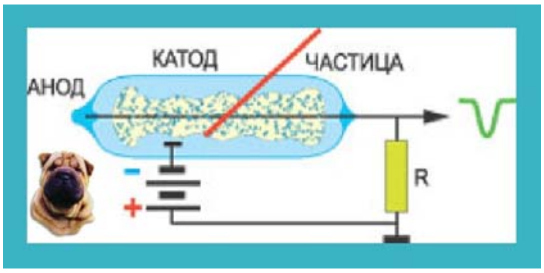


Рис. А22. Счётчик Гейгера

Решение

1. Работа счётчика Гейгера основана на возникновении ударной ионизации молекул газа высокоэнергетическими частицами и квантами излучения. Прибор представляет собой трубку, заполненную газом. Посередине трубки расположен анод, а внутренняя сторона цилиндрической трубки покрыта проводящим веществом, которое играет роль анода. Между катодом и анодом создаётся высокая разность потенциалов, но недостаточная для электрического пробоя газа. γ-кванты, испускаемые радиоактивным изотопом, попадая на стенки счетчика, выбивают из него электроны.

2. Электроны, двигаясь в газе и сталкиваясь с атомами газа, выбивают из атомов электроны и создают положительные ионы и свободные электроны. Электрическое поле между катодом и анодом ускоряет электроны до энергий, при которых начинается ударная ионизация. Возникает лавина ионов, и ток через счетчик резко возрастает.

А23. изменится ли масса системы, состоящей из одного свободного протона и одного свободного нейтрона после соединения их в атомном ядре?

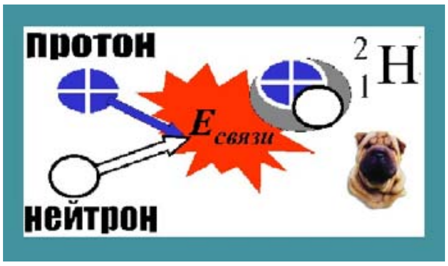


Рис. А22. Дефект массы

Решение

1. Масса ядра образовавшегося их свободных частиц всегда меньше суммы масс этих частиц в свободном состоянии. Это, так называемый дефект массы

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_я;$$

2. При синтезе ядер высвобождается энергия порядка $E_{связи} = \Delta mc^2$.

А24. Как изменится электроёмкость плоского воздушного конденсатора, если заряд на его обкладках увеличить в два раза, а расстояние между пластинами уменьшить в 2 раза?

Решение

1. Разность потенциалов между пластинами не изменяется, поэтому:

$$C_1 = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}; \quad C_2 = \frac{2q}{\varphi_1 - \varphi_2}; \quad C_2 = 2C_1;$$

А25. Человек массой m прыгает с горизонтальной скоростью v с берега в неподвижную лодку массой М. Каким суммарным импульсом обладают лодка с человеком, если сопротивление движению лодки пренебрежимо мало?

Решение

1. Прыжок с берега подразумевает в этой задаче вертикальную скорость человека в момент касания лодки, т.е. вектор скорости человека перпендикуляррен возможному направлению перемещения лодки, вектор импульса человека тоже будет иметь вертикальное направление.

2. В направлении возможных перемещений лодки, например по горизонтальной оси импульс не передаётся, поэтому

$$p_{X1} + p_{X2} = 0;$$

В1. Комета движется по эллиптической орбите вокруг Солнца. Как изменяются скорость, ускорение, кинетическая энергия, потенциальная энергия и полная механическая энергия во время приближения кометы к Солнцу:

1. Не изменяется;
2. Только увеличивается по модулю;
3. Только уменьшается по модулю;
4. Увеличивается по модулю и изменяется по направлению;
5. Уменьшается по модулю и изменяется по направлению;
6. Увеличивается по модулю и не изменяется по направлению;
7. Уменьшается по модулю и не изменяется по направлению?

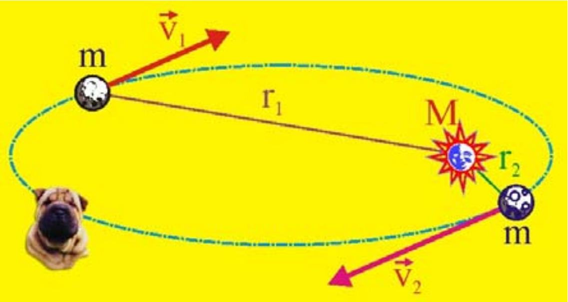


Рис. В1. Движение кометы вокруг Солнца

Решение

1. Из условия нахождения кометы на стационарной орбите

$$\frac{mv^2}{r} = G\frac{mM}{r^2};$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}; \quad \Rightarrow \quad v_2 > v_1;$$

2. Кинетическая, потенциальная энергия кометы и закон сохранения полной энергии кометы:

$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad \Pi = G\frac{mM}{r}; \quad E = \frac{mv^2}{2} - G\frac{mM}{r} = const;$$

Скорость	4
Ускорение	4
Кинетическая энергия	2
Потенциальная энергия	3
Полная энергия	1

В2. Установить соответствие между физическими процессами в микромире, перечисленными в первом столбце, и характеристиками этих процессов во втором столбце.

ФИЗИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС	ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ
А) Изменение кинетической энергии атома в результате столкновения с другим атомом	1) Спектр возможных изменений энергии линейчатый
Б) Изменение энергии атома как системы из ядра и электронной оболочки в результате взаимодействия с другим атомом или частицей	2) Спектр возможных изменений энергии сплошной
В) Испускание электромагнитного излучения возбужденным атомом	3) Спектр электромагнитного излучения линейчатый
Г) Поглощение электромагнитного излучения атомом	4) Спектр электромагнитного излучения линейчатый

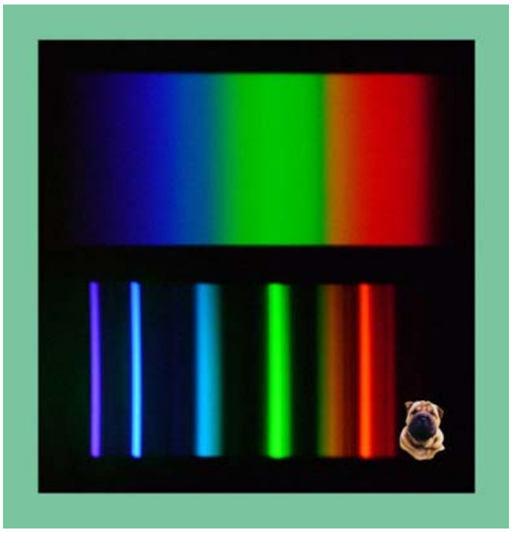


Рис. В2. Сплошной и линейчатый спектры

1. В результате столкновения атомов как материальных частиц изменение энергетического состояния протекает по классической механической схеме, никаких частотных ограничений не накладывается, поэтому возможный спектр изменений сплошной, случай А.

2. Во всех остальных случаях Б, В и Г процессы носят квантовый характер и в соответствии со вторым постулатом Бора (правило частот) излучение (поглощение) описывается уравнением

$$h\nu = \varepsilon_n - \varepsilon_m;$$

т.е. излучение и поглощение происходит порциями, что даёт линейчатые спектры поглощения и испускания.

А	Б	В	Г
2	1	3	3

В3. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими изобарный процесс охлаждения воздуха.

А) Давление	1) Увеличение
Б) Объем	2) Уменьшение
В) Температура	3) Неизменность
Г) Внутренняя энергия	

Решение

1. Процесс протекает при постоянстве давления p = const.

2. Из уравнения Клапейрона – Менделеева

$$\left.\begin{aligned} pV_1 = \nu RT_1; \\ pV_2 = \nu RT_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

следует, что при уменьшении температуры (охлаждение) будет уменьшаться объём.

3. Изменение внутренней энергии воздуха при нормальных условиях, когда его можно считать идеальным газом

$$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T,$$

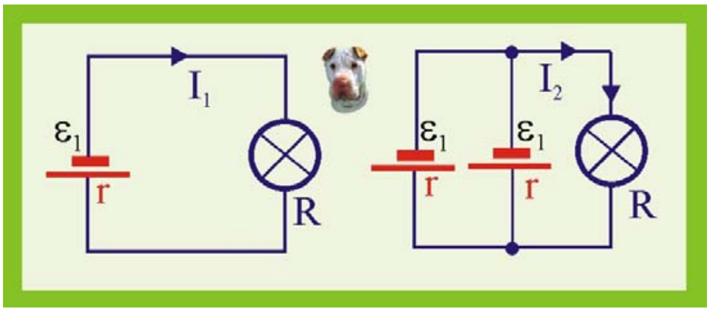
откуда видно, что уменьшение температуры приводит к уменьшению внутренней энергии

А	Б	В	Г
3	2	2	2

В4. К гальваническому элементу была подключена электрическая лампочка. Что произойдёт с силой тока в цепи, напряжением на лампе и мощностью тока при подключении параллельно с первым гальваническим элементом второго идентичного первому:

1. Увеличение;
2. Уменьшение;
3. Неизменность?

Решение



1. Сила тока в цепях определится законом Ома для полной цепи

$$I_0 = \frac{\varepsilon}{R + r}; \quad I_1 = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{2}}; \quad \Rightarrow \quad I_1 > I_0;$$

2. Падение напряжения на лампочке:

$$U_1 = \varepsilon - I_1 r; \quad U_2 = \varepsilon - I_2\frac{r}{20}; \quad \Rightarrow \quad U_2 > U_1;$$

3. Мощность тока

$$P_1 = I_1 U_1; \quad P_2 = I_2 U_2; \quad \Rightarrow \quad P_2 > P_1;$$

Сила тока	Напряжение	Мощность
1	1	1

Вариант 4

А1. В таблице представлена зависимость координаты *x* движения тела от времени *t*:

t, с	0	1	3	5
x, м	0	1	1	2

Определить скорость движения тела в интервале времени от 1 с до 3 с.

Решение

1. В указанном интервале времени координата тела не изменялась, поэтому скорость равна нулю.

А2. Шар, подвешенный на нити, движется по круговой траектории в горизонтальной плоскости с постоянной по модулю скоростью, между нитью и вертикалью угол α = 25^0. Каково направление вектора ускорения шара?

Решение

1. Ускорение шара можно представить в виде двух составляющих; нормальной (центростремительной) и тангенциальной (касательной)

$$\vec a = \vec a_n + \vec a_\tau;\quad |\vec a| = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2};\quad |\vec a_\tau| = \frac{dv}{dt} = 0;\quad |\vec a_n| = \frac{v^2}{r} \neq 0;$$

2. При постоянстве модуля скорости шар обладает только нормальным ускорением, вектор которого направлен к центру, через который проходит ось вращения.

А3. Как движется тело при равенстве нулю геометрической суммы всех, действующих на него сил?

Решение

1. В соответствии с первым законом Ньютона, открытый Галилеем

$$\sum_{i=1}^{i=n} \vec F_i = 0;\quad \Rightarrow\quad m\vec a = 0;\quad m\frac{d\vec v}{dt} = 0;\quad \frac{d(m\vec v)}{dt} = 0;\quad \Rightarrow\quad \vec p = const;\quad \left.\begin{matrix} \vec v = 0; \\ \vec v = const; \end{matrix}\right\}$$

При равенстве нулю геометрической суммы всех действующих сил, тело может либо покоится, либо двигаться равномерно и прямолинейно с любой скоростью.

А4. Камень массой 1 кг брошен вертикально вверх с начальной скоростью 4 м/с. Какой станет потенциальная энергия камня при уменьшении его скорости до 2 м/с?

Решение

1. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии камня

$$A_{1\to 2} = \Delta\Pi = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = \frac{m}{2}\left(v_1^2 - v_2^2\right) = 6 \text{ Дж};$$

А5. Сжатая на 2 см пружина подбрасывает стальной шар вертикально вверх на 20 см. На какую высоту поднимется шар при сжатии пружины на 4 см, если вся энергия передаётся шару?

Решение

1. Силы тяжести и упругие силы относятся к классу консервативных сил, поэтому в данном случае можно использовать закон сохранения энергии

$$\left.\begin{aligned} mgh_1 &= \frac{k\Delta x_1^2}{2}; \\ mgh_2 &= \frac{k\Delta x_2^2}{2} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{h_1}{h_2} = \frac{\Delta x_1^2}{\Delta x_2^2}; \quad h_2 = \frac{h_1 \Delta x_2^2}{\Delta x_1^2} = \frac{0{,}2\cdot 4\cdot 10^{-4}}{16\cdot 10^{-4}} = 5\cdot 10^{-2}\text{м};$$

А6. Под действием силы тяжести $m\vec{g}$ и вертикальной силы $\vec{F}$ рычаг находится в равновесии. Определить величину силы тяжести, если $|\vec{F}|$ = 300 Н.

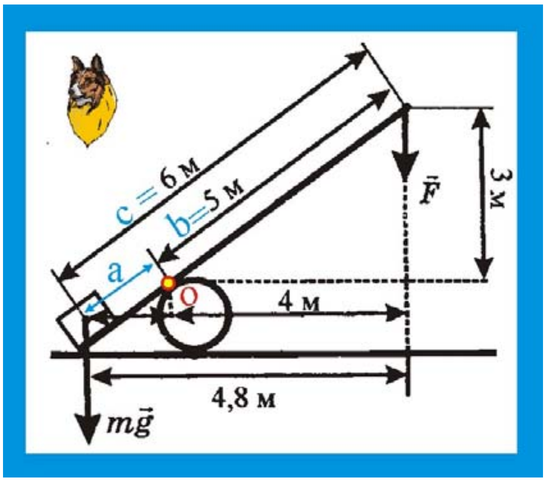


Рис. А6. Равновесие рычага

Решение

1. Условие равновесия рычага относительно оси, проходящей через тоску О перпендикулярно плоскости чертежа запишется следующим образом

$$mg\cdot(c - b) = Fb;$$

$$mg = \frac{Fb}{c - b} = \frac{Fb}{a} = \frac{300\cdot 5}{1} = 1500 \text{ Н};$$

А7. Представлены координаты центров масс двух тел *а* и *б* в зависимости от времени *t* при гармонических колебаниях вдоль оси *Ox*. В какой момент времени тело *б* движется с такой же скоростью, с какой тело *а* двигалось в момент времени *t = 2 с*?

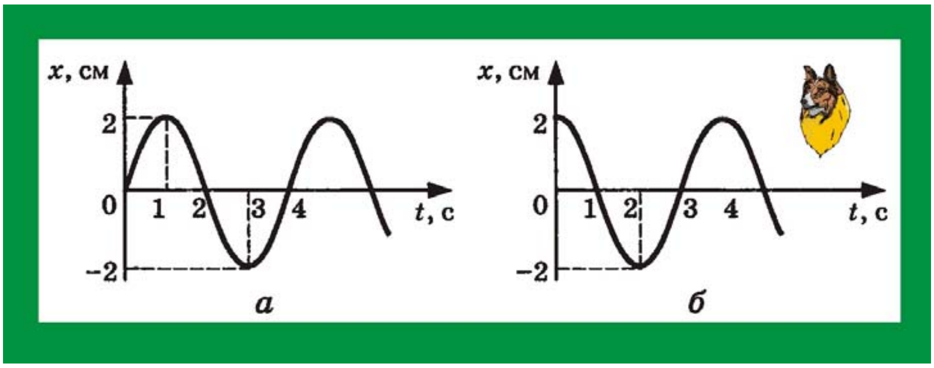


Рис. А7. Гармоническое движение

Решение

1. Кинематические уравнения движения тела *а*

$$\left.\begin{aligned} x(t) &= A\sin\frac{2\pi}{T}t; \\ v_x(t) &= A\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi}{T}t; \end{aligned}\right\} \quad t = \frac{\pi}{2}; \quad v_x(t) = A\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi}{T}\frac{T}{2} = \frac{2\pi A}{T};$$

2. Кинематические уравнения движения тела *б*

$$\left.\begin{aligned} x(t) &= A\cos\frac{2\pi}{T}t; \\ v_x(t) &= -A\frac{2\pi}{T}\sin\frac{2\pi}{T}t; \end{aligned}\right\} \quad \frac{2\pi}{T}t = \frac{\pi}{2}; \quad \Rightarrow \quad t = \frac{T}{4} = 1c;$$

3. Анализ уравнений заданных гармонических процессов показывает, что тело *а* при t = T/2 имеет амплитудное значение скорости изменяющейся по закону косинуса. Скорость тела *б* изменяется по закону синуса, поэтому первое максимальное значение её модуля будет иметь место при t = T/4 = 1 с.

А8. Как изменится абсолютная температура идеального газа при постоянной его концентрации, если давление увеличить в 2 раза?

Решение

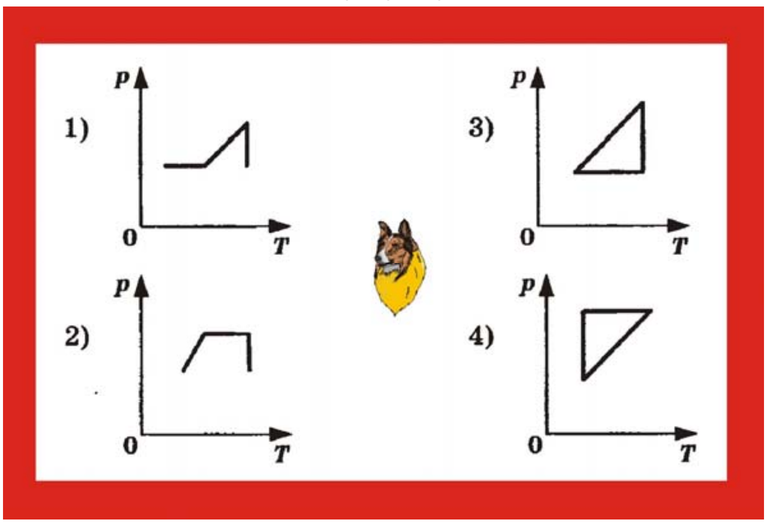
1. Уравнение давления идеального газа является следствием основного уравнения МКТ

$$p = nk_BT,$$

откуда видно, что увеличение давления при постоянстве концентрации возможно, только при увеличении во столько же раз абсолютной температуры, т.е. в 2 раза.

А9. Идеальный газ сначала нагревали при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объёме, а затем при постоянной температуре давление газа уменьшилось до первоначального значения. Какой из графиков в координатах p – T соответствует этим изменениям?

Решение



Решение

1. График заданных процессов должен представлять собой последовательность следующих графических представлений изопроцессов:

- изобару (p = const);
- изохору (V = const);
- изотерму (T = const).

2. Такой последовательности изменения состояний соответствует график № 1.

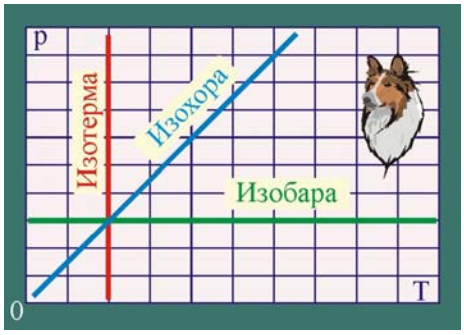


Рис. А9. Изопроцессы в p – T координатах

А10. Идеальный газ отдал количество теплоты 300 Дж и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на 100 Дж. Какую работу совершил газ?

Решение

1. В соответствии с первым началом термодинамики

$$-\Delta Q = \Delta U + \delta A; \quad \delta A = -\Delta Q - \Delta U = -400\ \text{Дж};$$

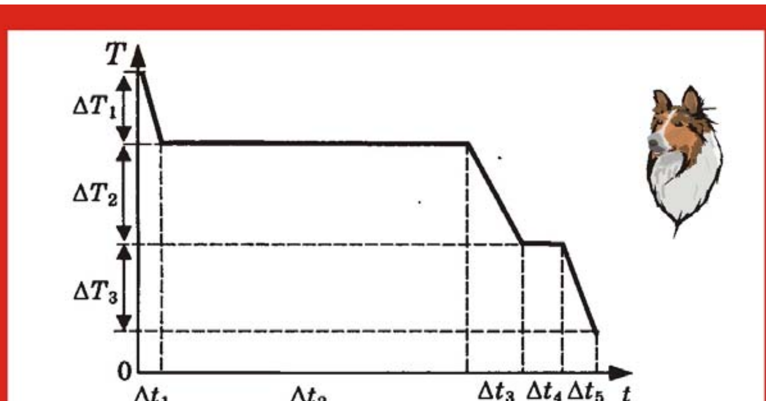
А11. Идеальная тепловая машина с КПД 60% за цикл работы получает от нагревателя 100 Дж теплоты. Какую полезную работу совершает машина за цикл?

Решение

1. КПД идеальной тепловой машины определяется в виде отношения совершённой за цикл работы к количеству полученного тепла

$$\eta = \frac{\delta A}{\Delta Q}; \quad \Rightarrow \quad \delta A = \eta \Delta Q = 60\ \text{Дж};$$

А12. На графике представлена зависимость температуры воды T массой m от времени t при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью P. В момент времени t = 0 вода находится в газообразном состоянии. Какое из приведенных ниже выражений определяет удельную теплоёмкость воды по результатам опыта?



1) $\frac{P \cdot \Delta t_1}{m \cdot \Delta T_1}$ 2) $\frac{P \cdot \Delta t_2}{m}$ 3) $\frac{P \cdot \Delta t_3}{m \cdot \Delta T_2}$ 4) $\frac{P \cdot \Delta t_4}{m}$

Решение

1. В промежутке времени Δt_1 пары воды охлаждаются, в течение времени Δt_2 пар конденсируется, в течение Δt_3 сконденсировавшаяся вода охлаждается, в течение времени Δt_4 вода превращается в лёд, Δt_5 – соответствует охлаждению льда.

2. Таким образом, охлаждение воды в жидком состоянии происходит в течение времени t_3, верным является уравнение 3

$$\Delta Q = cm\Delta T; \quad \Rightarrow \quad c = \frac{P\Delta t_3}{m\Delta T_2} = \frac{\Delta Q}{m\Delta T_2};$$

А13. Почему зимой в меховой куртке человеку тепло?

Решение

1. Структура меховых ворсинок такова, что они содержат много воздуха, который обладает малой теплопроводностью, по этой же причине рекомендуется двойное остекление окон.

А14. Резисторы с сопротивлением 3 Ом, 6 Ом и 9 Ом включены последовательно в цепь постоянного тока. В каком отношении будут находиться работы, совершённые током при его прохождении через эти резисторы одинаковое время?

Решение

1. Через последовательно соединённые резисторы течёт ток одинаковой силы, поэтому закон Джоуля – Ленца для данного случая можно записать следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} &Q_1 = \delta A_1 = IU_1\Delta t = I^2R_1\Delta t; \\ &\delta A_2 = I^2R_2\Delta t; \\ &\delta A_3 = I^2R_3\Delta t; \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \delta A_1 : \delta A_2 : \delta A_3 = 1 : 2 : 3;$$

А15. В каком из перечисленных ниже устройств используется явление возникновения тока при движении проводника в магнитном поле?

1) Электромагнит
2) Электродвигатель
3) Электрогенератор
4) Амперметр

Решение

1. Если проводник с током поместить в магнитное поле, то на него действует сила Ампера

$$F_A = IB\ell\sin\left(\vec{B}; \vec{\ell}\right),$$

если же перемещать проводник в магнитном поле, прикладывая к нему внешнюю силу, то это вызовет перемещение в проводнике зарядов, т.е. получится генератор тока.

А16. Если, при подключении неизвестной нагрузки к выходу генератора переменного тока с переменной частотой при неизменной амплитуде колебаний, обнаружена зависимость амплитуды колебаний силы тока от частоты (рис. А.16). Что собой представляет нагрузка?

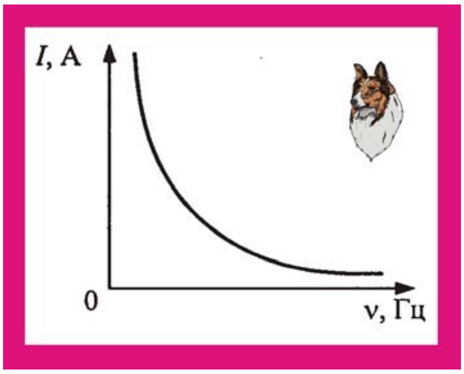


Рис. А16. Зависимость силы тока от частоты

Решение

1. Нагрузка представляет собой индуктивное сопротивление, потому что

$$R_L = 2\pi\nu L; \quad i_L = \frac{u}{R_L} = \frac{u}{2\pi\nu L};$$

А17. Контур радиоприёмника настроен на длину волны λ_1 = 30 м. Как нужно изменить индуктивность катушки контура, чтобы он при неизменной ёмкости конденсатора был настроен на волну λ_2 = 15 м?

Решение

1. На основании формулы Томсона можно записать следующие уравнения

$$T = 2\pi\sqrt{LC}; \quad \frac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{LC}; \quad \frac{\lambda}{c} = 2\pi\sqrt{LC}; \quad \lambda = 2\pi c\sqrt{LC},$$

где с – скорость распространения электромагнитных волн, ν – частота колебаний.

2. Составим систему уравнений

$$\left.\begin{aligned} \lambda_1 &= 2\pi c\sqrt{L_1 C}; \\ \lambda_2 &= 2\pi c\sqrt{L_2 C}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad L_2 = \frac{L_1}{4};$$

А18. Как изменяются частота и длина волны света при переходе из вакуума в среду с абсолютным показателем преломления n?

Рис. А18. Изменение длины волны при переходе из вакуума в среду

Решение

1. Частота не изменяется, потому что она обусловлена параметрами источника волн.

2. При переходе из одной среды в другую меняется скорость распространения световых волн в зависимости от оптической плотности среды. Скорость распространения (фазовая скорость) связана с показателем преломления среды

$$n_1 = \frac{c}{v_1}; \quad n_2 = \frac{c}{v_2};$$

3. В рассматриваемом случае показатель преломления вакуума принимается равной n_1 = 1, поэтому $v_1 = c \cong 3\cdot 10^8$ м/с. у среды показатель преломления n, поэтому

$$v_2 = \frac{c}{n}; \quad v_2 = \lambda_2 \nu; \quad \Rightarrow \quad \lambda_2 < \lambda_1;;$$

4. Поскольку $v = \lambda\nu$, то при переходе волны из воды в воздух её скорость увеличивается, значит должна увеличиваться и длина волны.

А19. Явление дифракции света происходит

1) только на малых круглых отверстиях
2) только на больших отверстиях
3) только на узких щелях
4) на краях любых отверстий и экранов

Решение

1. Дифракция света, открытая Франческо Гримальди, представляет собой комплекс явлений обусловленных отклонением распространения света от прямолинейного направления. Явление дифракции возникает во всех случаях, когда размер огибаемого светом препятствия соизмерим с длиной волны.

2. В качестве примера на рис. А19 приведена схема возникновения дифракции на узкой щели и картина освещённости на экране, расположенном за щелью.

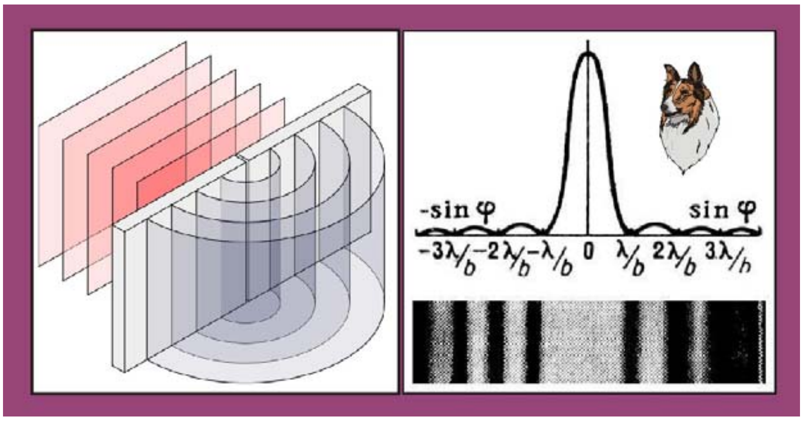


Рис. А19. Дифракция света на щели

А20. При освещении мыльной плёнки белым светом она переливается всеми цветами радуги. Какое физическое явление обуславливает появление цветности?

Решение

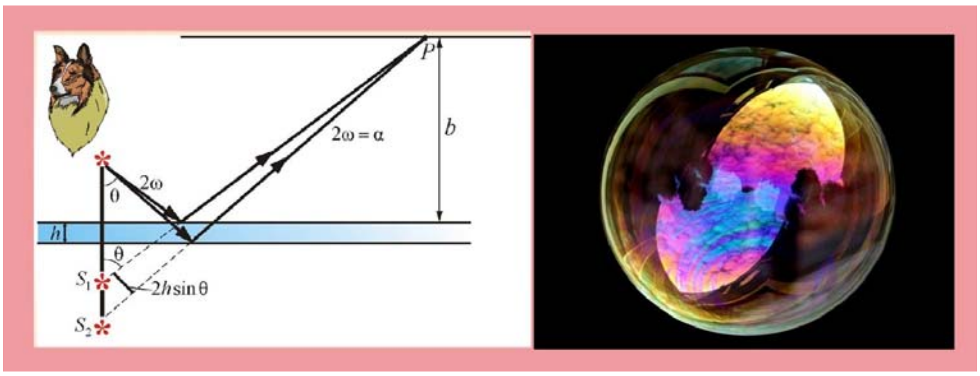


Рис. А20. Интерференция на тонкой мыльной плёнке

1. Окрашивание плёнки обусловлено явлением интерференции на тонкой плёнке, окраска образуется из-за изменения толщины плётки даже на незначительную величину ($\lambda \approx 380 - 760$ нм). Условие интерференционных максимумов и минимумов определяется разностью хода лучей, т.е. длиной волны падающего света:

$$\delta_{max} = \pm m\lambda; \quad \delta_{min} = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2};$$

А21. При отодвигании предмета от глаза для получения чёткого изображения на сетчатке, как должно меняться фокусное расстояние хрусталика?

Решение

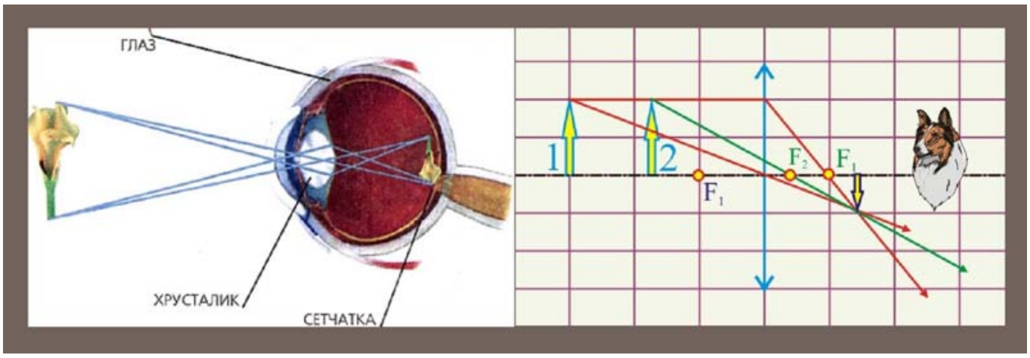


Рис. А21. Изображение предмета на сетчатке глаза

1. Глазной хрусталик можно рассматривать как собирающую линзу с переменным фокусным расстоянием. Как видно из построения, при отодвигании предмета от глаза фокусное расстояние хрусталика должно уменьшаться.

А22. Чему равен импульс фотона, переданный фотоном веществу при нормальном падении на поверхность в случае его поглощения и в случае его отражения?

1) В обоих случаях $\frac{h}{\lambda}$

2) В первом случае $\frac{h}{\lambda}$, во втором $\frac{2h}{\lambda}$

3) В обоих случаях $\frac{2h}{\lambda}$

4) В первом случае $\frac{2h}{\lambda}$, во втором $\frac{h}{\lambda}$

Решение

1. При поглощении фотона взаимодействие происходит по неупругой схеме, поэтому переданный импульс равен

$$\Delta p = \frac{h}{\lambda},$$

2. В случае отскока взаимодействие протекает по упругой схеме, когда импульс не изменяя своего модуля, меняет направление на обратное

$$\Delta p = p - (-p) = 2p; \quad \Rightarrow \quad \Delta p = \frac{2h}{\lambda};$$

A23. Каков спектр энергетических состояний атомного ядра и какие частицы испускает ядро при переходе из возбуждённого состояния в нормальное?

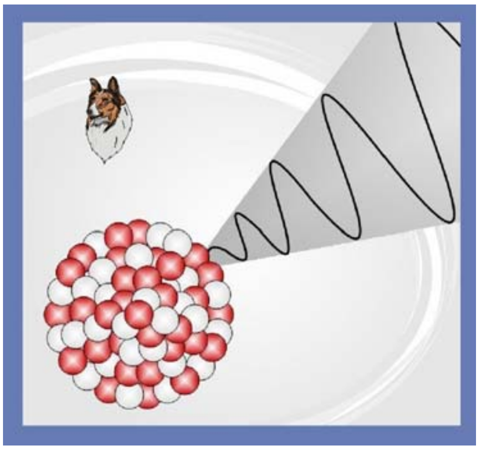


Рис. A23. Испускание ядром γ-кванта

Решение

1. Ядро атома, как и сам атом, может находиться в различных стационарных энергетических состояниях. При переходе из одного энергетического состояния в другое происходит испускание (поглощение) γ-кванта, которые, как принято считать, подчиняются правилу Нильса Бора

$$E_\gamma = E_2 - E_1;$$

$$h\nu = E_2 - E_1;$$

Спектр испускания будет линейчатый.

A24. Плоский воздушный конденсатор подключён к источнику постоянного тока. Как изменится заряд на обкладке конденсатора, если пространство между обкладками заполнить диэлектриком в проницаемостью $\varepsilon = 2$?

Решение

1. При замене диэлектрика между пластинами ёмкость конденсатора увеличится в два раза ($\varepsilon = 2$)

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d}; \quad C_2 = \frac{\varepsilon\varepsilon_0}{d}; \quad \frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{2};$$

2. Так как конденсатор подключён к источнику тока, то разность потенциалов при замене диэлектрика не изменится:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2}; \quad \left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{q_1}{\varphi_1 - \varphi_2}; \\ C_2 &= \frac{q_2}{\varphi_1 - \varphi_2}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad q_1 = 2q_2;$$

A25. Снаряд, обладавший импульсом P, разорвался на два осколка. Векторы импульса снаряда P до разрыва и импульса P_2 одного из осколков заданы на рисунке. Какой из векторов, обозначенных на схеме взрыва, соответствует вектору импульса второй части снаряда?

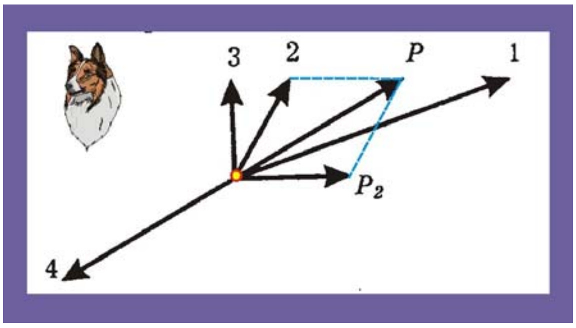


Рис. A25. Разрыв снаряда

Решение

1. Разрыв снаряда происходит под действием только внутренних сил, поэтому справедлив закон сохранения импульса: вектор импульса снаряда до разрыва должен быть равен геометрической сумме импульсов осколков после разрыва

$$\left|\vec{P}\right| = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2\cos\left(\vec{P}_1;\vec{P}_2\right)};$$

2. Вектор $\vec{P}$ должен являться диагональю параллелограмма, построенного на векторах $\vec{P}_1$ и $\vec{P}_2$. Этому условию, как видно из построения, удовлетворяет вектор 2.

В1. Брусок движется равномерно вверх по наклонной плоскости. Установите для силы трения соответствие между параметрами силы, перечисленными в первом столбце и свойствами вектора силы:

1) перпендикулярно поверхности наклонной плоскости
2) вертикально вниз
3) против направления вектора скорости
4) вертикально вверх
5) обратно пропорционален площади поверхности бруска
6) пропорционален силе нормального давления
7) обратно пропорционален силе нормального давления
8) пропорционален площади поверхности бруска
9) не зависит от площади поверхности бруска

Решение

1. Сила нормальной связи

$$N = mg\cos\alpha; \quad \vec{N} \perp x;$$

2. Сила трения скольжения

$$F_{Тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha; \quad \vec{F}_{Тр} \parallel \vec{v}$$

Направление вектора	3
Модуль вектора	6, 9

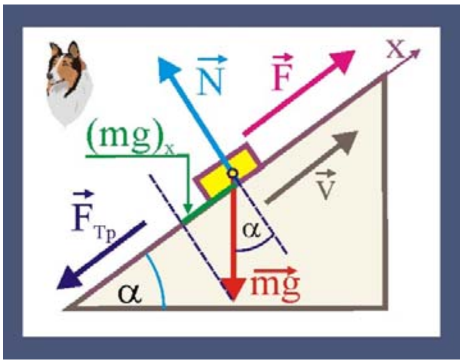


Рис. В1. Тело на наклонной плоскости

В2. При освещении металлической пластины светом частотой ν наблюдается явление внешнего фотоэффекта. Установить соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс фотоэффекта, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце при увеличении частоты падающего на пластину света в 2 раза.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
А) Длина световой волны	1) Остается неизменной
Б) Энергия фотона	2) Увеличивается в 2 раза
В) Работа выхода	3) Уменьшается в 2 раза
Г) Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона	4) Увеличивается более чем в 2 раза
	5) Увеличивается менее чем в 2 раза

Решение

1. Уравнение внешнего фотоэффекта, открытого Столетовым и исследованным и описанным Герцем

$$h\nu = \frac{m_e v^2}{2} + A;$$

2. Длина волны и энергия фотона связаны отношением:

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

с увеличением частоты в 2 раза длина волны уменьшается в 2 раза.

3. Работа выхода электронов является физическим свойством материала пластины, варьированием частоты никак изменяться не будет.

4. Как видно из уравнения внешнего фотоэффекта кинетическая энергия увеличится, но менее чем в два раза (работа выхода).

А	Б	В	Г
3	2	1	5

В3. Установить соответствие между физическими величинами, характеризующими изохорный процесс сжатия воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
А) Давление	1) Увеличение
Б) Объем	2) Уменьшение
В) Температура	3) Неизменность
Г) Внутренняя энергия	

Решение

$$V = \text{const}; \quad \left.\begin{aligned} p_1V &= \nu RT_1; \\ p_2V &= \nu RT_2; \end{aligned}\right\} \quad \left.\begin{aligned} p_2 &> p_1; \\ T_2 &> T_1; \end{aligned}\right\} \quad \Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T; \quad U_2 > U_1;$$

А	Б	В	Г
1	3	1	1

В4. К источнику постоянного тока последовательно включены лампа накаливания и полупроводниковый терморезистор. Что произойдёт с электрическим сопротивлением нити лампы, напряжение на ней и сопротивлением терморезистора при увеличении силы тока?

1) увеличение
2) уменьшение
3) неизменность

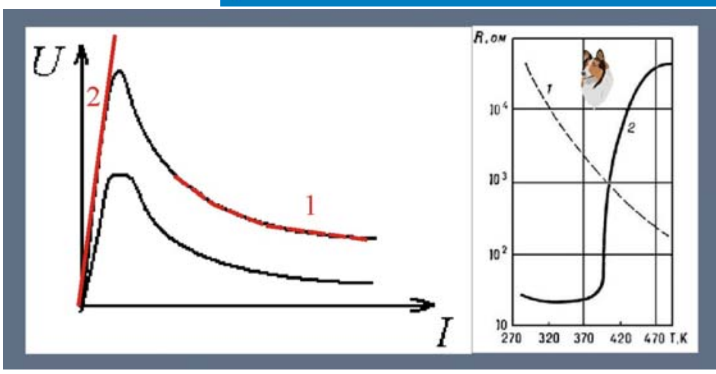


Рис. В4. Вольтамперная характеристика терморезистора

Решение

1. При работе терморезистора на ниспадающем участке вольтамперной характеристики терморезистора его сопротивление уменьшится, а электрическое сопротивление лампы и напряжение на ней возрастут.

Электрическое сопротивление лампы	Напряжение на нити лампы	Сопротивление терморезистора
1	1	2

Вариант 5

А1. В таблице представлена зависимость модуля скорости v от времени движения автомобиля t:

t, с	0	1	2	4	6
v, м/с	0	2	2	6	0

Определить путь, пройденный автомобилем в интервале времени 0 с до момента времени 6 с.

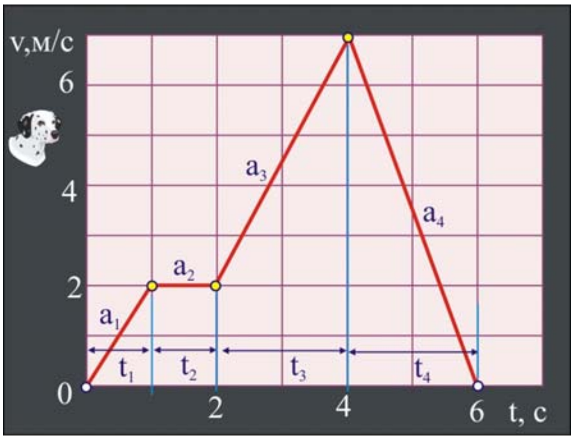


Рис. А1. Зависимость скорости от времени

Решение

1. Определим средние величины ускорений автомобиля

$$< a_1 >= \frac{\Delta v_1}{t_1} = 2\frac{м}{с^2};$$

$$< a_2 >= \frac{\Delta v_2}{t_2} = 0;$$

$$< a_3 >= \frac{\Delta v_3}{t_3} = 2\frac{м}{с^2};$$

$$< a_4 >= \frac{\Delta v_4}{t_4} = 3\frac{м}{с^2};$$

2 Расстояния, пройденные автомобилем:

$$x_1 = \frac{< a_1 > t_1^2}{2} = 1м; \quad x_2 = v_2 t_2 = 2м; \quad x_3 = v_2 t_3 + \frac{< a_3 > t_3^2}{2} = 8м;$$

$$x_4 = v_4 t_4 - \frac{< a_4 > t_4^2}{2} = 6м;$$

3. Суммарное расстояние, пройденное автомобилем:

$$s = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 17м;$$

А2. Тело, брошенное под углом α к горизонту, движется, не испытывая сопротивления. Как направлены векторы скоростей и ускорений тела на различных участках движения? По какой траектории движется тело?

Решение

1. Этот тип движения возбуждал у наших предков наибольший интерес, потому что был связан с желанием «удлинять» свои руки за счёт камней, палок, копий, стрел, ядер, снарядов, ракет и т.п. движущихся в поле земного тяготения предметов. В большинстве своём, эти устремления были связаны с неотвратимым желанием умерщвлять представителей животного мира. Соплеменники были отнюдь не исключением. Проблема пропитания, власти и территорий во все времена решалась далеко не дипломатическими методами.

2. Экспериментальные исследования движения тел, брошенных под углом к горизонту, начались за долго до возникновения первых научных потуг что-

либо описать и посчитать. Война, как это ни может показаться странным, со времён австралопитеков и до настоящего продвинутого времени была, есть, и к сожалению, будет одним из основных приводных ремней научно-технического прогресса. Самые передовые научно-технические достижения цивилизации людской всегда были связаны с милитаристическими устремлениями. В этом смысле рассматриваемому далее типу движения, можно сказать, «повезло», оно постоянно находилось на острие «прогресса». Достаточно вспомнить такие имена как Аристотель, Архимед, Леонардо да Винчи, Коперник, Галилей, Ньютон, Наполеон Бонапарт, чтобы проникнуться исторической значимостью этого типа движения.

3. Тело, брошенное в поле земного тяготения с начальной скоростью v_0, направленной под углом α к горизонту будет двигаться по криволинейной траектории, лежащей в плоскости, перпендикулярной поверхности земли. Существенно отметить, движение протекает при постоянном по модулю и направлению ускорении $\vec{g}$. Это даёт возможность разложить криволинейное движение на два более простых: равномерное вдоль горизонтальной оси т.к. $g_x = 0$ и ускоренное по вертикальной оси, где проявляется двояко ускорение свободного падения (рис. А2).

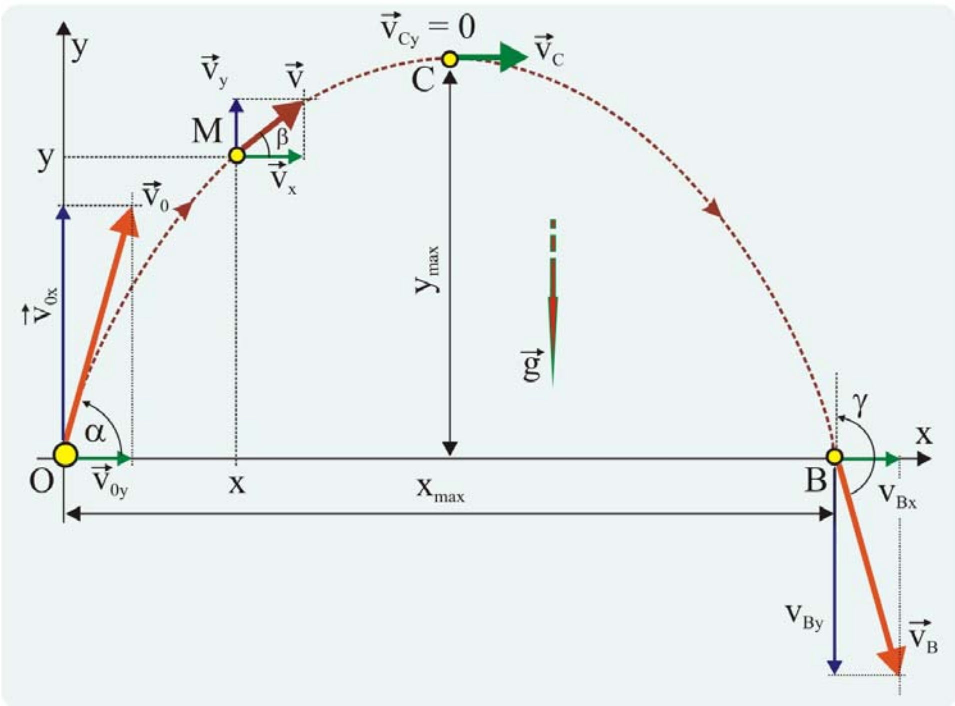


Рис. А2. Тело, брошенное под углом α к горизонту

4. Движение исследуемого тела относительно вертикальной оси из начальной точки О в точку С – равнозамедленное, а из точки С в точку В – равноускоренное с ускорением свободного падения $\vec{g}$. В начальный момент времени при t = 0 имеем: $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, $v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha$, $v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha$, $a_x = 0$, $a_y = -g$.

5. Для проекций скорости в любой момент времени, например в точке М, движения можно записать следующие уравнения

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cos\alpha, \\ v_y(t) = v_0 \sin\alpha - gt. \end{cases}$$

6. Модуль вектора скорости определится как

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_0^2\cos^2\alpha + (v_0\sin\alpha - gt)^2} = \sqrt{v_0^2\cos^2\alpha + \left(v_0^2\sin^2\alpha - 2v_0\sin\alpha gt + g^2t^2\right)},$$

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_0^2\left(\cos^2\alpha + \sin^2\alpha\right) - 2v_0 gt\sin\alpha + g^2t^2}\ .$$

7. Положение вектора скорости определим, используя свойства прямоугольного треугольника, построенного на векторе скорости и его проекциях

$$\mathrm{tg}\beta = \frac{|\vec{v}_y|}{|\vec{v}_x|}, \quad \Rightarrow \quad \beta = \mathrm{arctg}\frac{v_0\sin\alpha - gt}{v_0\cos\alpha}\ .$$

8. Уравнения движения запишем, используя особенности равномерного перемещения точки по горизонтали и равноускоренного по вертикали

$$\begin{cases} x(t) = v_0 t\cos\alpha, \\ y(t) = v_0 t\sin\alpha - \dfrac{gt^2}{2}\cdot \end{cases}$$

9. Время подъёма тела в верхнюю точку траектории С определим, используя второе уравнение исходной системы при условии: $v_y = 0$

$$v_0\sin\alpha - gt_C = 0, \quad \Rightarrow t_C = \frac{v_0\sin\alpha}{g}.$$

10. Определим далее полное время полёта

$$\tau = 2t_C = \frac{2v_0\sin\alpha}{g}.$$

11. При подстановке времени полёта τ в первое уравнение исходной системы получим максимальную дальность броска

$$x_{max} = \frac{2v_0^2\sin\alpha\cos\alpha}{g} = \frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g}.$$

12. Из последнего уравнения, в частности, следует, что при прочих равных условиях максимальная дальность броска будет иметь место при $\alpha = 45^0$, т.к. в этом случае $2\alpha = \pi/2$, $\sin 2\alpha = 1$.

13. Максимальная высота подъёма определится путём подстановки времени t_C во второе уравнение системы

$$y_{max} = v_0\sin\alpha\frac{v_0\sin\alpha}{g} - \frac{g}{2}\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{g^2}, \quad y_{max} = \frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g}.$$

14. Уравнение траектории получается при исключении времени из уравнений движения. Из первого уравнения

$$t = \frac{x}{v_0\cos\alpha},$$

при подстановке этого значения t во второе уравнение, получим

$$y = v_0\sin\alpha\frac{x}{v_0\cos\alpha} - \frac{g}{2}\frac{x^2}{v_0^2\cos^2\alpha} = x\mathrm{tg}\alpha - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x^2.$$

15. Если ввести обозначения: $\mathrm{tg}\alpha = a$, $g/\left(2v_0^2\cos^2\alpha\right) = b$, то уравнение траектории примет более классифицируемый вид параболы

$$y = ax - bx^2.$$

А3. При свободном падении в вакууме свинцового шарика, пробки и птичьего пера:

1) **свинцовый шарик падает с наибольшим ускорением**
2) **пробка падает с наименьшим ускорением**
3) **птичье перо падает с наименьшим ускорением**
4) **все эти тела падают с одинаковым ускорением**

Рис. А2. Эксперимент Галилея

Решение

1. Независимость ускорения свободного падения от массы тела впервые экспериментально установил Галилео Галилей, который всю свою жизнь целенаправленно своими исследованиями в области движения опровергал Аристотеля. Бросая с Пизанской башни деревянные нары и чугунные ядра такого же диаметра, скреплённые цепочкой, от со своими студентами установил, что предметы приземляются одновременно, вопреки Аристотелю. Эти эксперименты послужили началом разработки земной динамики.

А4. Четырьмя натянутыми нитями груз закреплен на тележке. Сила натяжения горизонтальных нитей соответственно T_1 и T_2, а вертикальных – T_3 и T_4. С каким ускорением тележка движется по горизонтальной плоскости?

Решение

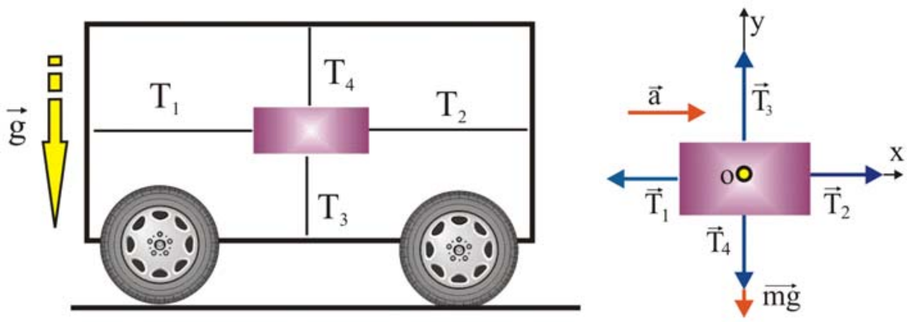


Рис. А4. Груз на растяжках в движущейся тележке

1. Запишем уравнение второго закона Ньютона в проекции на оси координат

$$\left.\begin{aligned} T_2 - T_1 &= ma, \\ T_3 - T_4 - mg &= 0, \end{aligned}\right\}$$

откуда несложно определить ускорение

$$a = g\frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4}.$$

А5. Брусок массой m под действием силы F, направленной под углом α перемещается на расстояние s по прямой горизонтальной поверхности с коэффициентом трения μ. Чему равна работа силы трения?

Решение

1. Проекция действующей силы на вертикальную ось

$$F_y = F\sin\alpha;$$

2. Геометрическая сумма сил в проекции на вертикальную ось

$$R_y = N - F\sin\alpha = mg - F\sin\alpha;$$

3. Сила трения

$$\left|\vec{F}_{Тр}\right| = \mu\left(mg - F\sin\alpha\right);$$

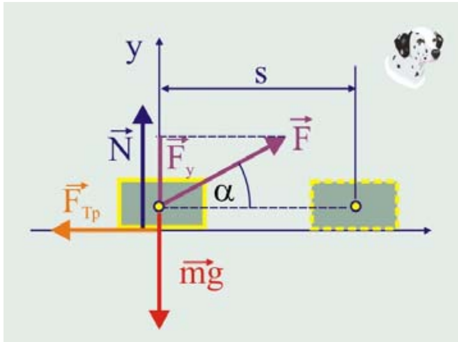


Рис. А5. Перемещение бруска

4. Работа силы трения на перемещении $\vec{s}$

$$A(\vec{F}_{Тр}) = F_{Тр}\cos\left(\vec{F}_{Тр};\vec{s}\right) = F_{Тр}\cos 180^0 = -\mu\left(mg - F\sin\alpha\right);$$

А6. Рычаг АВ находится в равновесии под действием силы тяжести груза mg и вертикальной силы F = 150 Н. Определить модуль силы тяжести.

Решение

1. Условие равновесия рычага АВ относительно оси, проходящей через тоску О перпендикулярно плоскости чертежа запишется следующим образом

$$mg \cdot b = F(a - b);$$

$$mg = \frac{Fc}{b} = \frac{150 \cdot 1}{5} = 30\ \text{Н};$$

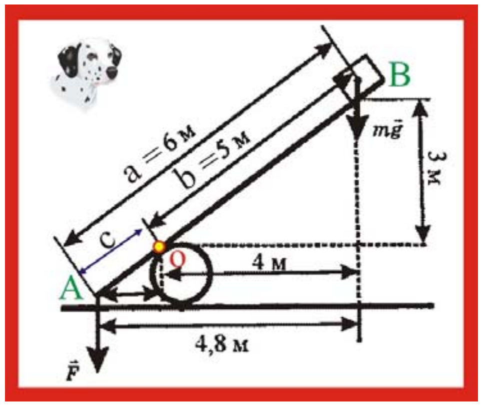


Рис. А6. Равновесие рычага

А7. При свободных колебаниях на пружине груз массой m проходит положение равновесия со скоростью v. Через четверть периода колебаний он достигает положения максимального удаления от положения равновесия. Чему равен модуль изменения полной механической энергии груза за это время?

Решение

1. При отсутствии в колебательной системе потерь к ней применим закон сохранения энергии, для массы, скрепленной с пружиной жёсткости k закон для амплитудных значений представится следующим образом:

$$\frac{mv_m^2}{2} = \frac{kA^2}{2},$$

для произвольных моментов времени:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{k\xi^2}{2}; \quad \frac{mv^2}{2} + \frac{k\xi^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2} = \frac{kA^2}{2},$$

другими словами, изменение модуля полной энергии колебаний за четверть периода, как и за всякий прочий промежуток времени, будет равно нулю, если колебания гармонические свободные и не затухающие.

А8. Если давление идеального газа при постоянной концентрации молекул уменьшить в два раза, как изменится при этом его абсолютная температура?

Решение

1. Из основного уравнения МКТ следует:

$$p = nk_B T,$$

т.е. уменьшение давления при постоянной концентрации молекул приводит к пропорциональному уменьшению абсолютной температуры.

А9. Идеальный газ сначала нагревался при постоянном объёме, потом его объем увеличили при постоянном давлении, затем при постоянной температуре давление уменьшилось до первоначального значения. Какой и графиков в p – T координатах соответствует этим изменениям состояния?

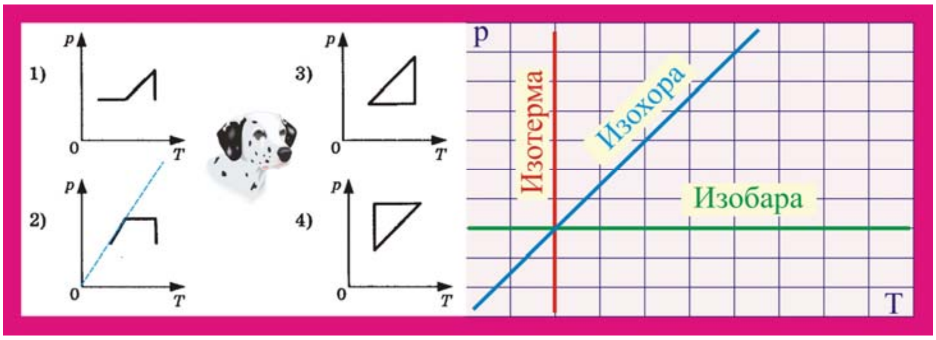


Рис. А.9. Изменение состояний газа

Решение

1. График заданных процессов должен представлять собой последовательность следующих графических представлений изопроцессов:

- изохору (V = const);
- изобару (p = const);
- изотерму (T = const).

2. Такой последовательности изменения состояний идеального газа соответствует график № 2.

А10. Идеальный газ за цикл отдаёт 300 Дж тепловой энергии, при этом его внутренняя энергия уменьшается на 100 Дж. Чему равна работа совершённая газом?

Решение

1. В соответствии с первым началом термодинамики

$$-\Delta Q = -\Delta U + \delta A; \quad \delta A = -\Delta Q + \Delta U = 200 \text{ Дж};$$

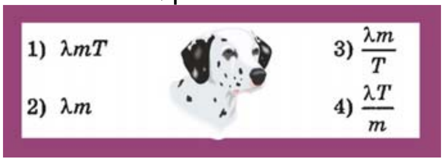
А11. Идеальная тепловая машина с КПД 40% за цикл работы получает от нагревателя 100 Дж тепла. Какую полезную работу за цикл совершила машина?

Решение

1. КПД идеальной тепловой машины определяется в виде отношения совершённой за цикл работы к количеству полученного тепла

$$\eta = \frac{\delta A}{\Delta Q}; \quad \Rightarrow \quad \delta A = \eta \Delta Q = 40 \text{ Дж};$$

А12. При превращении вещества массой m и удельной теплотой отвердевания λ из жидкого состояния в твёрдое при постоянной температуре Т отданное веществом количество тепла Q равно:



Решение

1. Количество теплоты, отдаваемой веществом при изменении фазового состояния при постоянной температуре равно:

$$Q = \lambda m;$$

А13. Как изменяется сила кулоновского взаимодействия двух точечных зарядов при увеличении зарядов в 2 раза и уменьшении расстояния между зарядами тоже в 2 раза?

Решение

1. Составим систему уравнений на основании закона Кулона, описывающего взаимодействие точечных зарядов

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q^2}{r^2}; \\ F_2 &= \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{4q^2}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{F_2}{F_1} = 16;$$

А14. Резисторы с сопротивлением 3 Ом, 6 Ом и 9 Ом включены параллельно в цепь постоянного тока. В каком отношении будет находиться количество тела выделенное током при его прохождении через эти резисторы одинаковое время?

Решение

1. Через параллельно соединённые резисторы течёт ток разной силы силы, а падение напряжения на всех резисторах одинаково, поэтому закон Джоуля – Ленца для данного случая можно записать следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} \delta Q_1 &= I_1 U\Delta t = \frac{U^2}{R_1}\Delta t; \\ \delta Q_2 &= \frac{U^2}{R_2}\Delta t; \\ \delta Q_3 &= \frac{U^2}{R_3}\Delta t; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \delta Q_1 : \delta Q_2 : \delta Q_3 = \frac{1}{3} : \frac{1}{6} : \frac{1}{9} = 6:3:2;$$

А15. В каком из перечисленных технических устройств используется явление движения проводника с током под действием магнитного поля?

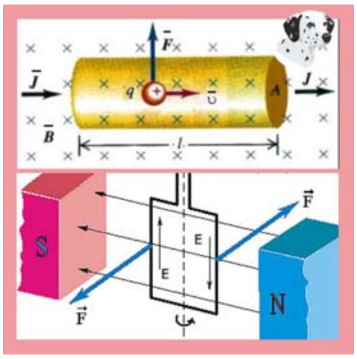


Рис. А15. Проводник с током в магнитном поле

1) В электромагните
2) В электродвигател
3) В электрогенераторе
4) В электронагревателе

Решение

1. Проводник с током, помещённый в магнитное поле испытывает действие силы Ампера:

$$F_A = IB\ell \sin(\vec{B};\vec{\ell});$$

2. Если в магнитное поле поместить проводник в виде рамки, способной вращаться вокруг оси, то на противоположные стороны рамки будет действовать пара сил, создающая вращающий момент. Это простейшая модель электрического двигателя.

А16. При подключении неизвестной нагрузки к генератору переменного тока получена зависимость силы тока в цепи от частоты питающего напряжения. Что можно сказать о сопротивлении нагрузки?

Решение

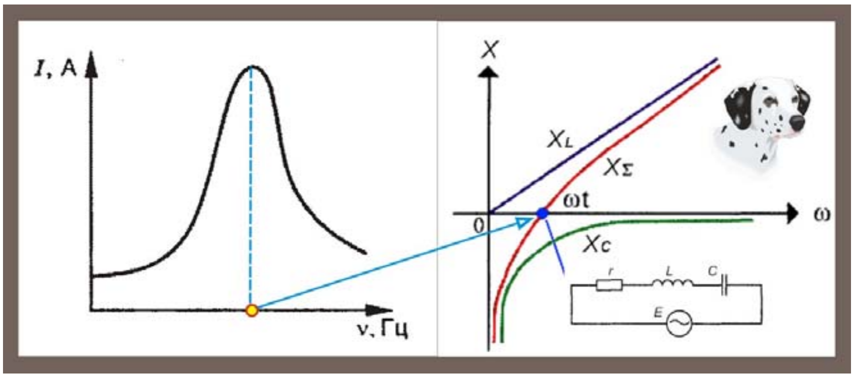


Рис. А16. Резонанс токов в LC-цепи

1. Приведена резонансная кривая, характерная для последовательного соединения конденсатора и катушки индуктивности. Реактивные сопротивления этих элементов зависят от частоты следующим образом

$$X_C = \frac{2}{2\pi\nu C}; \quad X_L = 2\pi\nu L,$$

сопротивление конденсатора с ростом частоты уменьшается, а сопротивление катушки, наоборот – растёт. При некотором значении частоты суммарное сопротивление становится маленьким и сила тока в цепи резко возрастает, это явление носит название резонанса токов.

А17. Контур радиоприёмника настроен на длину волны λ_1 = 15 м. Как нужно изменить индуктивность катушки контура, чтобы он при неизменной ёмкости конденсатора был настроен на волну λ_2 = 30 м?

Решение

1. На основании формулы Томсона можно записать следующие уравнения

$$T = 2\pi\sqrt{LC}; \quad \frac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{LC}; \quad \frac{\lambda}{c} = 2\pi\sqrt{LC}; \quad \lambda = 2\pi c\sqrt{LC},$$

где c – скорость распространения электромагнитных волн, ν – частота колебаний.

2. Составим систему уравнений

$$\left.\begin{aligned} \lambda_1 = 2\pi c\sqrt{L_1 C}; \\ \lambda_2 = 2\pi c\sqrt{L_2 C}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{1}{4} = \frac{L_1}{L_2}; \quad L_2 = 4L_1;$$

A18. Как изменяются частота и длина волны света при переходе из воды (n = 1,33) в вакуум (n =1)?

Решение

1. Частота не изменяется, потому что она обусловлена параметрами источника волн.

2. При переходе из одной среды в другую меняется скорость распространения световых волн в зависимости от оптической плотности среды. Скорость распространения (фазовая скорость) связана с показателем преломления среды

$$n_1 = \frac{c}{v_1}; \quad n_2 = \frac{c}{v_2};$$

3. В рассматриваемом случае показатель преломления вакуума $n_2 = 1$, поэтому $v_2 = c \cong 3\cdot 10^8$ м/с. у воды показатель преломления $n_1 \approx 1{,}33$

$$v_1 = \frac{c}{n} \approx 2{,}25\cdot 10^8\,\frac{м}{с};$$

4. Поскольку $v = \lambda\nu$, то при переходе волны из воды в вакуум её скорость увеличивается, значит должна увеличиваться и длина волны.

A19. Какие изображения может давать собирающая линза?

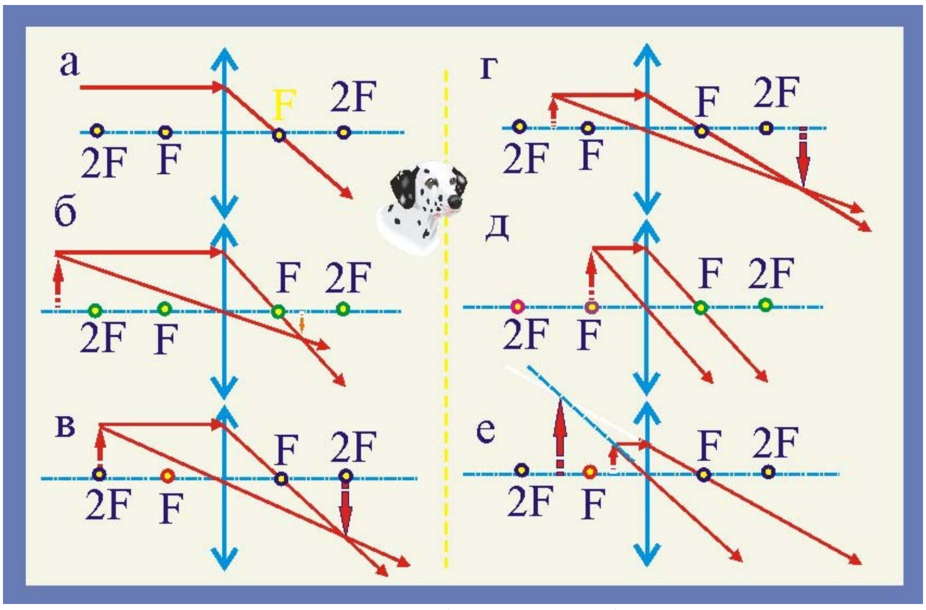


Рис. А19. Построение изображений в собирающей линзе

А20. Определить импульс фотона, энергия которого равна энергии покоя электрона.

Решение

1. Найдём энергию покоя электрона

$$E_0 = m_e c^2 \cong 1 \cdot 10^{-30} \cdot 9 \cdot 10^{16} \cong 9 \cdot 10^{-14}\,\text{Дж};$$

2. Определим импульс фотона

$$p_f = \frac{E_0}{c} \cong \frac{9 \cdot 10^{-14}}{3 \cdot 10^{8}} \cong 3 \cdot 10^{-22}\,\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}};$$

А21. При расположении предмета на расстоянии 3 м от объектива фотографического аппарата на матрице получается его чёткое изображение. При приближении предмета к объективу как должно измениться расстояние от матрицы до объектива?

Решение

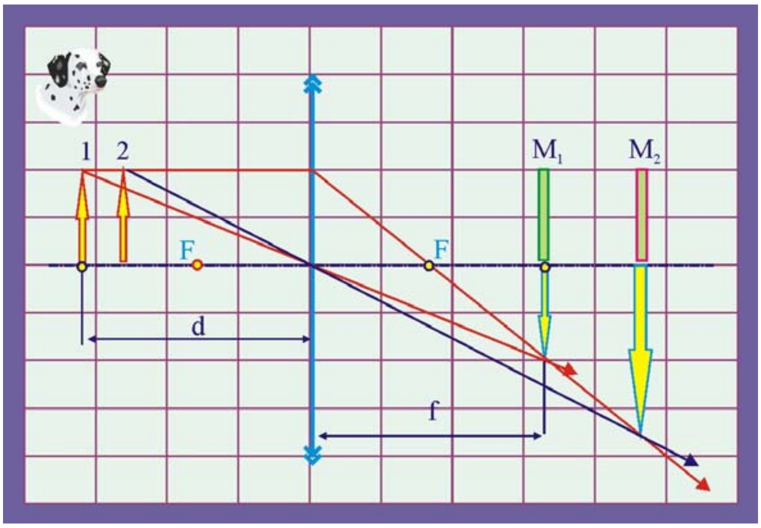


Рис. А21. Построение изображения в фотоаппарате

1. Если объектив фотоаппарата принять за собирающую линзу, то смещение предмета к объективу для получения чёткого изображения матица должна удаляться от тыльной стороны объектива.

А22. Сумма масс ядра кислорода ${}^{18}_{8}O$ и протона ${}^{1}_{1}p$ меньше суммы масс ядра фтора ${}^{18}_{9}F$ и нейтрона ${}^{1}_{0}n$. Возможна ли в принципе ядерная реакция

$${}^{18}_{8}O + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{18}_{9}F + {}^{1}_{0}n$$

Решение

1. Сумма зарядов (массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, должна быть равна сумме зарядов (массовых чисел) конечных продуктов (ядер и частиц) реакции. В результате ядерной реакции должно быть:

$$A = 18 + 1 = 19; \quad Z = 8 + 1 = 9,$$

откуда следует, что для заданной реакции закон сохранения зарядовых и массовых чисел соблюдается, значит реакция возможна с поглощением энергии.

А23. Капля воды массой 0,2 г нагревается светом с длиной волны λ = $5{,}5 \cdot 10^{-7}$ м. Какое количество фотонов ζ поглощается водой ежесекундно, если скорость нагревания капли $\Delta T/\Delta\tau$ = 5 К/с?

Решение

1. Количество тепла, потребляемое каплей воды

$$Q = c_T m \Delta T;$$

2. Энергия ежесекундно поглощаемых квантов

$$E_\tau = \zeta \frac{hc}{\lambda}\Delta\tau;$$

3. Приравняем

$$Q = E; \quad \zeta\frac{hc}{\lambda}\Delta\tau = c_T m\Delta T; \Rightarrow \quad \zeta = \frac{c_T m \Delta T\lambda}{hc\Delta\tau};$$

$$\zeta = \frac{4200 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 5 \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-7}}{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}} \cong 1{,}17 \cdot 10^{19}\,c^{-1};$$

А24. Основным свойством p-n перехода является:

1) **уменьшение сопротивления при нагревании**
2) **уменьшение сопротивления при освещении**
3) **односторонняя проводимость**
4) **увеличение сопротивления при нагревании**

Решение

1. Важные свойства полупроводников, предопределившие их широкое применение, проявляются в пограничной области, вернее в очень узком слое вещества между двумя частями полупроводника, обладающими проводимостями различных видов. Этот слой получил название электронно-дырочного перехода или сокращенно p-n перехода. Определяющее свойство p-n перехода – его односторонняя проводимость.

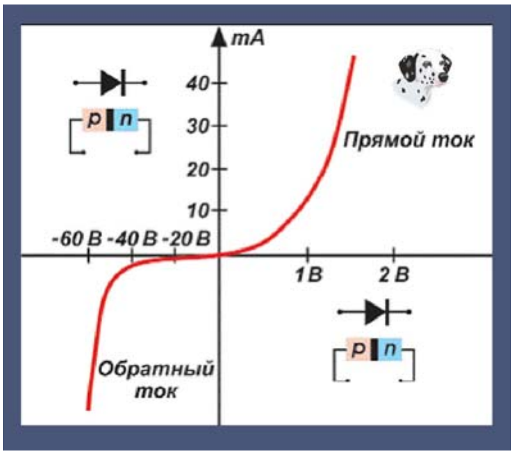


Рис. А24. Вольтамперная характеристика p-n перехода

А25. При подъёме вверх поршня в цилиндре водяного насоса вода поднимается вверх вслед за поршнем потому, что:

1) **атмосферное давление снаружи больше давления разреженного воздуха в цилиндре насоса**
2) **жидкость обладает свойством расширения и заполняет любое пустое пространство**
3) **пустой сосуд втягивает воду**
4) **воздух обладает способностью заполнять пустоту. Он стремится в цилиндр насоса и вталкивает туда находящуюся на его пути воду**

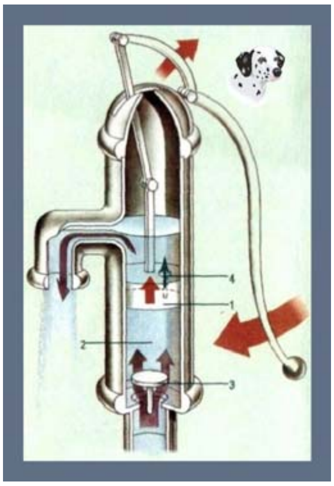


Рис. А25. Водяной насос

Решение

1. При перемещении поршня вверх объём слоя воздуха увеличивается, в соответствии с уравнением состояния

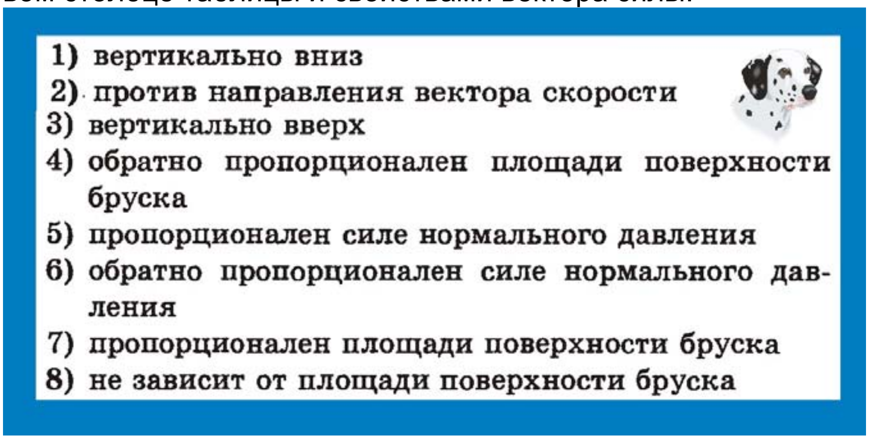
$$p\Delta V = \nu RT,$$

правая часть уравнения остаётся постоянной, следовательно давление под поршнем уменьшается по сравнению с нормальным (атмосферным), появление Δp приводит в возникновению силы

$$F = \Delta pS,$$

где S – площадь поршня. Под действием силы вода поднимается вверх. Таким образом, создавая пониженное давление под поршнем, по сравнению с атмосферным, удаётся перемещать воду вверх.

В1. Брусок движется равномерно по горизонтальной поверхности. Установить для силы трения соответствие между параметрами силы, перечисленными в первом столбце таблицы и свойствами вектора силы:



1) вертикально вниз
2) против направления вектора скорости
3) вертикально вверх
4) обратно пропорционален площади поверхности бруска
5) пропорционален силе нормального давления
6) обратно пропорционален силе нормального давления
7) пропорционален площади поверхности бруска
8) не зависит от площади поверхности бруска

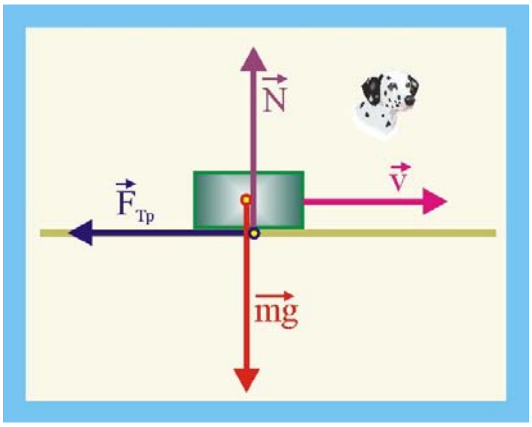


Рис. В1. Сила трения скольжения

Решение

1. Модуль силы трения скольжения:

$$\left|\vec{F}_{Тр}\right| = \mu N = \mu mg;$$

2. Сила трения направлена в сторону противоположную вектору скорости тела.

3. Модуль силы трения пропорционален нормальной реакции связи, т.е. силе нормального давления.

Направление вектора $\vec{F}_{Тр}$	2	-
Модуль вектора $\left|\vec{F}_{Тр}\right|$	5	8

В2. При освещении металлической пластины светом длиной волны λ наблюдается явление внешнего фотоэффекта. Установить соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс фотоэффекта, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце при уменьшении в 2 раза длины волны падающего света.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
А) Частота световой волны	1) Остается неизменной
Б) Энергия фотона	2) Увеличивается в 2 раза
В) Работа выхода	3) Уменьшается в 2 раза
Г) Максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона	4) Увеличивается более чем в 2 раза
	5) Увеличивается менее чем в 2 раза

1. Уравнение внешнего фотоэффекта

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{m_e v^2}{2} + A\,;$$

2. Частота световой волны

$$c = \nu\lambda; \quad \nu = \frac{c}{\lambda},$$

уменьшение λ приводит к росту ν.

3. Энергия фотона

$$\varepsilon_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

при уменьшении λ энергия фотона растёт.

4. Работа выхода является физическим свойством материала катода, поэтому от внешних факторов не зависит.

5. Кинетическая энергия фотоэлектронов

$$\frac{m_e v^2}{2} = \frac{hc}{\lambda} - A\,,$$

увеличивается, но менее чем в два раза.

А	Б	В	Г
2	2	1	5

В3. Установить соответствие между физическими величинами, характеризующими изобарный процесс нагревания воздуха, перечисленными в первом столбце, и их размерностями во втором столбце.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
А) Давление	1) Увеличение
Б) Объем	2) Уменьшение
В) Температура	3) Неизменность
Г) Внутренняя энергия	

Решение

1. Предположим, что температура увеличилась в ζ раз, в этом случае, изменение состояния идеального газа можно описать уравнениями

$$\left.\begin{aligned} pV_1 &= \nu RT_1; \\ pV_2 &= \nu R\zeta T_1; \end{aligned}\right\} \quad \frac{V_2}{V_1} = \zeta;$$

2. Внутренняя энергия

$$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R(\zeta T_1 - T_1) = \frac{i}{2}\nu RT_1(\zeta - 1);$$

А	Б	В	Г
3	1	1	1

В4. К источнику постоянного тока последовательно включены лампа накаливания и полупроводниковый терморезистор. Что произойдёт с электрическим сопротивлением нити лампы, напряжение на ней и сопротивлением терморезистора при уменьшении силы тока?

1) увеличение **3) неизменность**
2) уменьшение

Решение

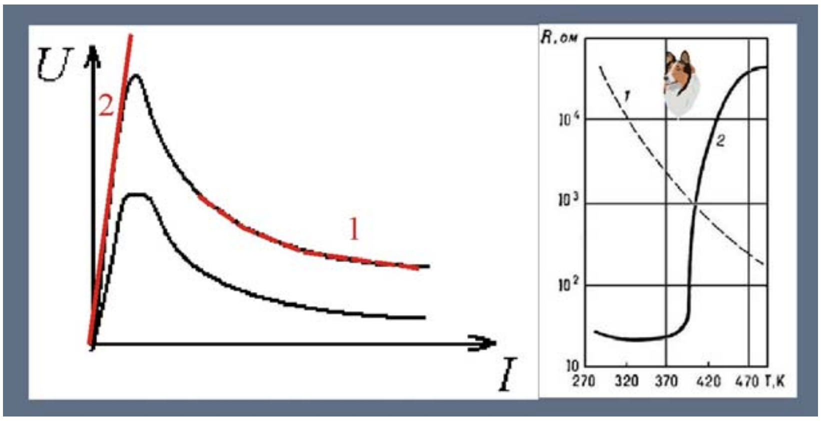


Рис. В4. Вольтамперная характеристика терморезистора

1. Варианты ответа зависят от того, в какой области вольтамперной характеристики терморезистора осуществляется наблюдение. На восходящем участке 1 или на ниспадающем участке 2, ответы будут диаметрально противоположными.

2. При работе терморезистора на ниспадающем участке вольтамперной характеристики терморезистора его сопротивление уменьшится, а электрическое сопротивление лампы и напряжение на ней возрастут.

Электрическое сопротивление лампы	Напряжение на нити лампы	Сопротивление терморезистора
2	1	1

Вариант 6

А1. В таблице представлена зависимость координаты *x* движения тела от времени *t*:

t, с	0	1	2	3	4
x, м	0	3	6	9	12

С какой скоростью двигалось тело от момента времени 1с до момента времени 3 с?

Решение

1. В данном случае скорость постоянна в течение всего времени движения

$$v = \frac{x_i}{t_i} = 3\frac{м}{с}.$$

А2. Шар на нити колеблется как маятник. Как Направлена равнодействующая всех сил, действующих на шар в момент его прохождения положения равновесия?

Решение

1. Ускорение шара, как математического маятника, можно представить в виде двух составляющих; нормальной (центростремительной) и тангенциальной (касательной)

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau; \quad |\vec{a}| = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2};$$

$$|\vec{a}_\tau| = \frac{dv}{dt} = 0; \quad |\vec{a}_n| = \frac{v^2}{r} \neq 0;$$

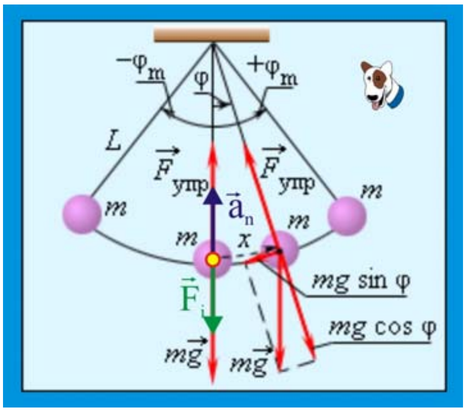


Рис. А2. Математический маятник

2. Нормальное ускорение приводит к возникновению, так называемой, центробежной силы инерции F_i

$$\vec{F}_i = -m\vec{a}_n = -\frac{m\vec{v}^2}{L},$$

которая будет направлена вертикально вниз.

А3. Заданы четыре вектора сходящихся сил, лежащих в одной плоскости. Какую из сил нужно исключить, чтобы равнодействующая системы сил стала эквивалентной нулю?

Решение

$$|\vec{F}_{3,4}| = \sqrt{F_3^2 + F_4^2} = |\vec{F}_2|;$$

$$\vec{F}_{3,4} + \vec{F}_2 = 0;$$

Исключить нужно силу $\vec{F}_1$.

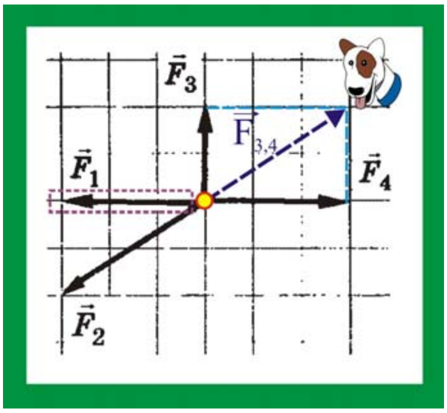


Рис. А3. Система сил

А4. Растянутая на 2 см пружина обладает потенциальной энергией 4 Дж. На сколько увеличится потенциальная энергия пружины, если её растянуть ещё на 2 см?

Решение

1. Коэффициент упругости пружины

$$\Pi_1 = \frac{kx_1^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad k = \frac{2\Pi_1}{x_1^2} = \frac{8}{4\cdot 10^{-4}} = 2\cdot 10^4\,\frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

2. Потенциальная энергия при растяжении на 4 см

$$\Pi_2 = \frac{kx_2^2}{2} = \frac{2\cdot 10^4\cdot 1{,}6\cdot 10^{-3}}{2} = 16\text{Дж};$$

3. Изменение потенциальной энергии

$$\Delta\Pi = \Pi_2 - \Pi_1 = 12\ \text{Дж}.$$

А5. Тело массой m = 3 кг под действием силы F = 20 Н параллельной шероховатой плоскости (μ = 0,5) опускается вниз на h = 3 м. Какую работу при этом совершает сила трения скольжения?

Решение

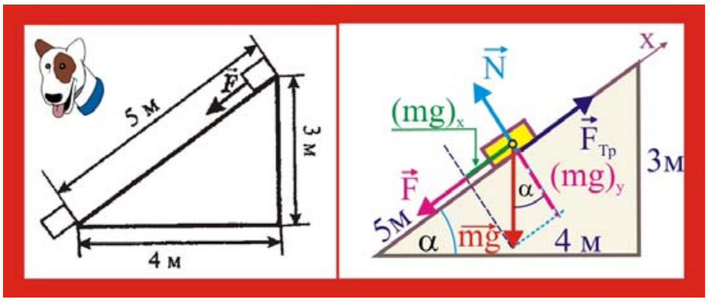


Рис. А5. Работа силы трения

1. Определим величину силы трения

$$F_{Тр} = \mu N = \mu mg\cos\alpha = \mu mg\frac{3}{5} = 0{,}5\cdot 3\cdot 10\cdot 0{,}6 = 9\text{Н};$$

2. Работа силы трения на перемещении $\ell = 5\text{м}$

$$A(\vec{F}_{Тр}) = -F_{Тр}\ell = 9\cdot 5 = -45\ \text{Дж}.$$

А6. Чтобы рычаг находился в равновесии под действием силы F = 600 Н и силы тяжести груза mg, каким должен быть модуль силы тяжести?

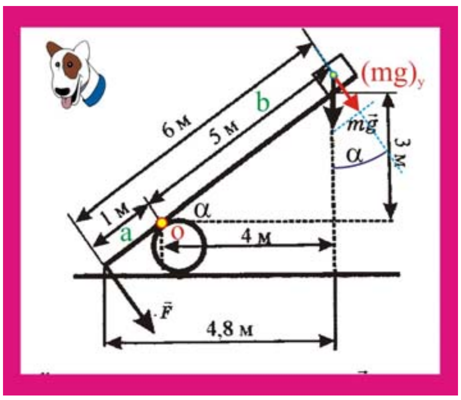


Рис. А.6. Равновесие рычага

Решение

1. Условие равновесия

$$mg\cos\alpha b = Fa;$$

$$\cos\alpha = \frac{4}{5} = 0{,}8;$$

$$|m\vec{g}| = \frac{F\cdot a}{b\cos\alpha} = \frac{600}{5\cdot 0{,}8} = 150\ \text{Н}.$$

А7. Гиря массой m = 2 кг подвешена на стальной пружине и совершает свободные колебания вдоль вертикальной оси Оу, координата у центра масс гири изменяется по закону $y = 0{,}4\sin 5t$. По какому закону изменяется кинетическая энергия гири?

Решение

1. Скорость и квадрат скорости при гармонических колебаниях

$$v_y \equiv \frac{dy}{dt} \equiv \dot{y} = A\omega\cos\omega t; \quad A = 0{,}4\text{м}; \quad \omega = 5\frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$v_y = 2\cos 5t; \quad v_y^2 = 4\cos^2 5t;$$

2. Изменение кинетической энергии

$$K = \frac{mv_y^2}{2} = 4\cos^2 5t;$$

А8. При температуре T_0 и давлении p_0 один моль идеального газа занимает объём V_0. Какой объём будут занимать 2 моля этого газа при том же давлении p_0 и температуре $2T_0$?

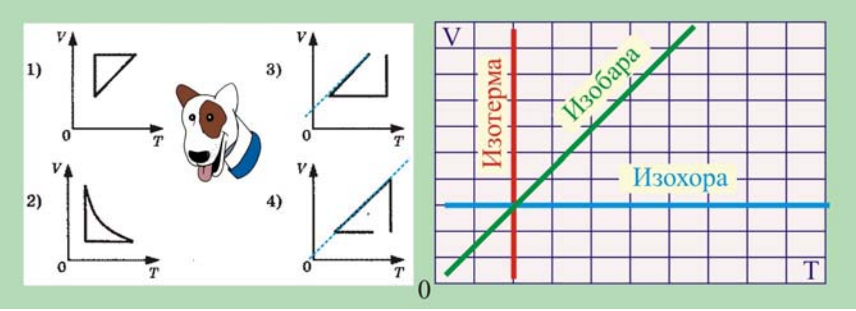
Решение

1. На основании уравнения состояния идеального газа можно записать:

$$\left.\begin{aligned} p_0V_0 &= \nu RT_0; \\ p_0V_X &= 2\nu R2T_0; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{V_X}{V_0} = 4;$$

А9. Идеальный газ сначала охлаждали при постоянном давлении, потом его давление увеличивалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре объём газа увеличили до первоначального значения. Какой из графиков в координатных осях V – T соответствует этим изменениям?

Решение



1. Процесс состоит из изобары, изохоры и изотермы – этому условию удовлетворяет график №3.

А10. Идеальный газ получил количество теплоты 100 Дж, и при этом внутренняя энергия газа уменьшилась на 100 Дж. Чему равна совершённая работа внешними силами над газом?

Решение

1. Помимо полученного тепла при совершении работы была использована и внутренняя энергия газа

$$\Delta Q = -\Delta U - \delta A; \quad \Rightarrow \quad \delta A = -200\ \text{Дж};$$

А11. Идеальная тепловая машина с КПД 60% за цикл работы получает от нагревателя 50 Дж тепловой энергии. Какое количество теплоты машина отдаёт за цикл холодильнику?

Решение

1. Уравнение КПД идеальной тепловой машины позволяет определить работу и количество тепла, отдаваемого за цикл холодильнику

$$\eta = \frac{A}{Q_H}; \quad A = 30\ \text{Дж}. \quad \Rightarrow \quad Q_X = Q_H - A = 20\ \text{Дж}.$$

А12. Приведена зависимость абсолютной температуры воды массой m от времени t при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью P. В момент времени t = 0 вода находилась в газообразном состоянии. Какое из приведенных выражений определяет величину удельной теплоты конденсации паров воды?

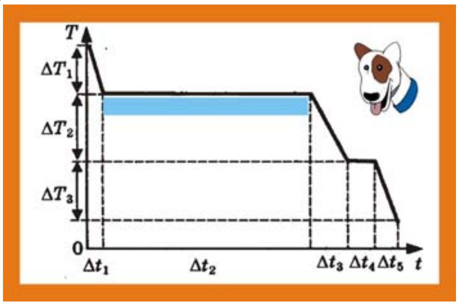


Рис. А12. Процесс охлаждения воды

Решение

1. Промежутки времени и процессы:

- Δt_1 – охлаждение пара;
- Δt_2 – конденсация пара;
- Δt_3 – охлаждение воды;
- Δt_4 – замерзание воды;
- Δt_5 – охлаждение льда.

2. Конденсация пара протекает в течение промежутка времени Δt_2, поэтому верным является уравнение2.

А13. Между двумя точечными зарядами сила электрического взаимодействия равна 12 мН. Если один заряд увеличить в 2 раза, второй заряд уменьшить в три раза, а расстояние сократить в 2 раза, то чему станет равной сила взаимодействия?

Решение

1. Взаимодействие точечных зарядов описывается законом Шарля Огюста Кулона

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= k\frac{q_1 q_2}{r^2}; \\ F_2 &= k\frac{\frac{2}{3}q_1 q_2}{\frac{r^2}{4}}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{8}{3}; \quad \Rightarrow F_2 = \frac{8}{3}F_1 = 32\ \text{Н}.$$

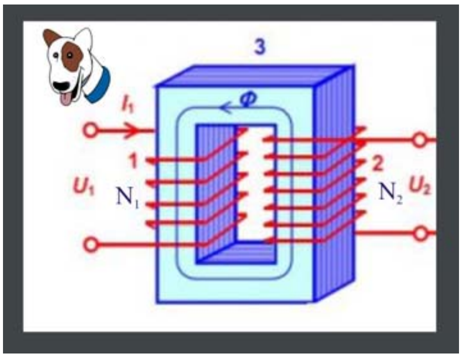


Рис. А14. Схема трансформатора

А14. Число витков в первичной обмотке трансформатора в 2 раза больше числа витков в его вторичной обмотке. Какова амплитуда колебаний напряжения на концах вторичной обмотки в режиме холостого хода при амплитуде колебаний напряжения на концах первичной обмотка 50 В?

Решение

1. Если число витков первичной обмотке N_1, а вторичной N_2, то

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}; \quad \Rightarrow \quad U_2 = U_1\frac{N_2}{N_1}; \quad U_2 = 25\ \text{В}.$$

А15. Какой из перечисленных видов электромагнитных излучений имеет наименьшую длину волны?

1) Радиоволны
2) Видимый свет
3) Инфракрасное излучение
4) Рентгеновское излучение

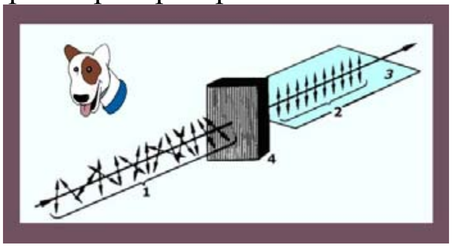
Решение

А16. Одним из доказательств того, что электромагнитная волна поперечна, является существование у них свойства:

1) поляризации
2) отражения
3) преломления
4) интерференции

Решение

1. Доказательством поперечности электромагнитных волн, каковыми является свет, служит явление поляризации, характеризующее анизотропию световых волн, т.е. не эквивалентность различных направлений в плоскости перпендикулярной вектору скорости распространения.



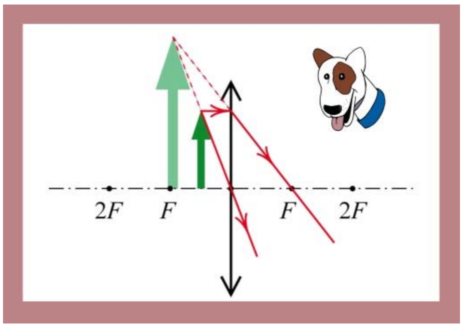


Рис. А17. Изображение в лупе

А17. Какое изображение даёт собирающая линза, использующаяся в качестве лупы?

Решение

1. Если предмет расположить между плоскостью собирающей линзы и её фикусом, то изображение получается увеличенным, прямым и мнимым.

А18. При переходе из одной среды в другую среду угол падения α = 30^0, а угол преломления γ = 60^0. Каков относительный показатель преломления?

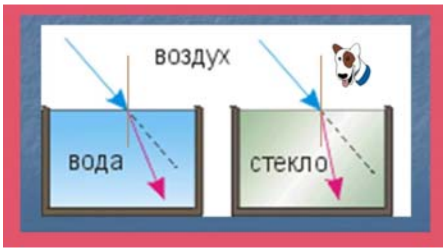


Рис. А18. Преломление луча

Решение

1. В соответствии с законом преломления

$$n_{1,2} = \frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{\sin 30^0}{\sin 60^0} = 0{,}57 = \frac{1}{\sqrt{3}};$$

А19. При освещении металлической пластины с работой выхода А монохроматическим светом длиной волны λ происходит фотоэффект, максимальная кинетическая энергия электронов равна K_e. Каким будет максимальное значение кинетической энергии фотоэлектронов при освещении пластины светом с длиной волны 0,5λ из пластины с работой выхода А/2?

Решение

1. Закон внешнего эффекта позволяет записать следующие уравнения:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{hc}{\lambda} = K_1 + A; \\ &\frac{2hc}{\lambda} = K_2 + \frac{A}{2} \end{aligned}\right\} \quad 2 = \frac{K_2 + \frac{A}{2}}{K_1 + A}; \quad 2K_1 + 2A = K_2 + \frac{A}{2}; \quad K_2 = 2K_1 + 1{,}5A;$$

А20. На рисунке представлена диаграмма энергетических уровней атома. Какой цифрой обозначен переход, соответствующий поглощению атомом фотона самой малой частоты?

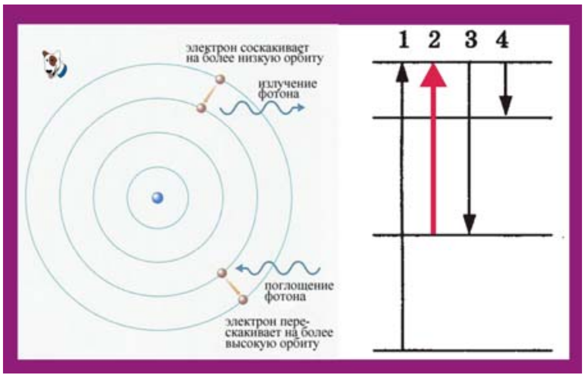


Рис. А20. Поглощение фотона

Решение

1. Согласно второму постулату Нильса Бора при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) один фотон с энергией равной разности энергий соответствующих стационарных состояний

$$h\nu = E_n - E_m;$$

А21. Конденсатор ёмкостью 0,5 Ф был заряжен до напряжения 4 В. Затем к нему параллельно был подключен незаряженный конденсатор электроёмкостью 0,5 Ф. Чему равна энергия двух конденсаторов после их соединения?

Решение

1. Энергия электрического поля конденсатора первого конденсатора

$$W_1 = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = 4 \text{ Дж};$$

2. В соответствии с законом сохранения заряда при подсоединении второго конденсатора заряд распределится поровну, а ёмкость увеличится в два раза, поэтому

$$W_1 + W_2 = \frac{W_1}{2} = 2 \text{ Дж};$$

А22. При высоких температурах возможен синтез ядер гелия из ядер гелия из ядер изотопов водорода, как в термоядерной бомбе:

$${}^2_1H + {}^3_1H \to {}^4_2He + X.$$

Какая частица освобождается в результате такой реакции?

Решение

1. Сумма зарядов (массовых чисел) ядер и частиц, вступающих в ядерную реакцию, должна быть равна сумме зарядов (массовых чисел) конечных продуктов (ядер и частиц) реакции. В результате ядерной реакции должно быть:

$$A = 2 + 3 = 5; \quad Z = 2 + 0 = 2,$$

откуда следует, что для заданной реакции закон сохранения зарядовых и массовых чисел соблюдается при освобождении частицы с массой +1 и нулевым зарядом – этой частицей является нейтрон.

А23. При делении ядра плутония образуется два осколка, удельная энергия связи протонов и нейтронов в каждом из осколков больше, чем удельная энергия связи нуклонов в ядре плутония. Выделяется или поглощается энергия при делении ядра плутония?

Решение

1. При расщеплении ядер плутония выделяется энергия, в основном вследствие дефекта массы в виде γ-излучения

Рис. А23. Деление ядер плутония медленными нейтронами

A24. Радиоактивный изотоп имеет период полураспада 2 минуты. Из 100 ядер этого изотопа сколько испытывает радиоактивный распад за 2 минуты?

1) Точно 50 ядер
2) 50 или немного меньше
3) 50 или немного больше
4) Около 50 ядер, может быть немного больше или немного меньше

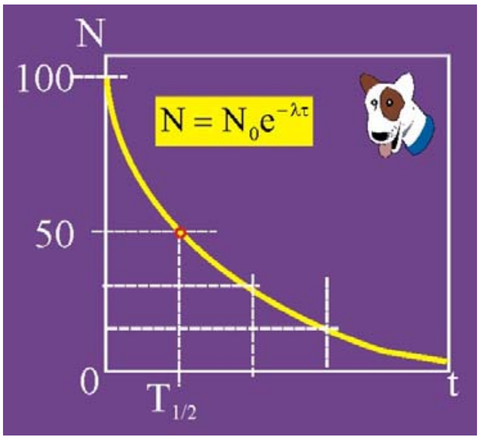


Рис. А24. Закон радиоактивного распада

1. Период полураспада это время в течение которого распадается половина радиоактивных ядер из начального их количества.

2. В данном случае из 100 ядер распадётся около 50 ядер. Может несколько больше, а может и несколько меньше, потому что ядерный распад носит вероятностный характер, определяется в основном вероятностью многочисленных внешних факторов.

A25. Человек массой m прыгает с горизонтально направленной скоростью v относительно Земли из неподвижной лодки массой M на берег. Чему равна скорость лодки относительно Земли в момент отрыва человека от лодки?

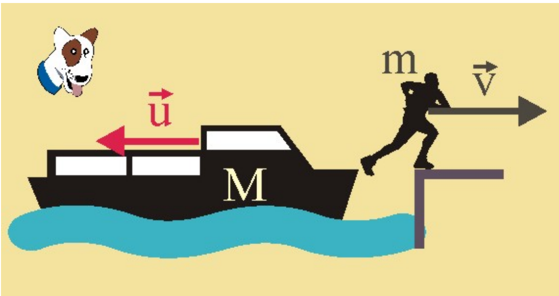


Рис. А25. Закон сохранения импульса

Решение

1. Пренебрегая силами сопротивления, закон сохранения импульса системы «человек – лодка» в проекции на направление движения запишется следующим образом:

$$mv = Mu; \quad u = \frac{mv}{M};$$

B1. Положительно заряженная α-частица, испущенная радиоактивным ядром, движется по направлению к радиоактивному ядру, так, что вектор её скорости направлен под некоторым углом к прямой, соединяющей частицу с ядром. Изменяются ли перечисленные в первом столбце таблицы физические величины во время сближения?

1) не изменяется
2) увеличивается
3) уменьшается
4) увеличивается по модулю и изменяется по направлению
5) уменьшается по модулю и изменяется по направлению
6) увеличивается по модулю, не изменяется по направлению
7) уменьшается по модулю, не изменяется по направлению

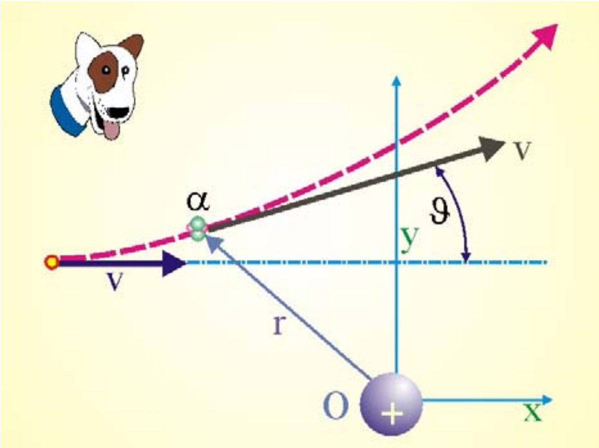


Рис. В1. Взаимодействие α-частицы с ядром

1. Ядро и α-частица имеют положительный заряд, поэтому между ними возникает отталкивающая сила Кулона

$$F_К \approx k\frac{q_\alpha q_Я}{r^2},$$

по мере приближения к ядру сила Кулона будет увеличиваться, α-частица будет тормозится, т.е. её скорость уменьшаться, будет уменьшаться и кинетическая энергия α-частицы тоже станет уменьшаться

$$\frac{m_\alpha v_1^2}{2} - \frac{m_\alpha v_2^2}{2} = A(\vec{F}_К),$$

увеличение силы Кулона будет сопровождаться увеличением работы, которую производит α-частица, это может протекать только при уменьшении скорости α-частицы.

2. Траектория частицы из прямолинейной превратится параболическую, возникнет нормальная составляющая ускорения, модуль ускорения вырастет.

3. Так как кинетическая энергия α-частицы уменьшается, то в соответствии с законом сохранения потенциальная её энергия должна возрастать

$$П \approx k\frac{q_\alpha q_Я}{r};$$

4. Полная механическая энергия будет сохраняться т.к. сила кулона относится к консервативным типам сил.

Скорость	5
Ускорение	4
Кинетическая энергия	3
Потенциальная энергия	2
Полная механическая энергия	1

В2. Установите соответствие между описанием действий человека в первом столбце и названием этих действий во втором столбце.

ДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА	НАЗВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ
А) В летний день человек увидел на небе радугу после дождя	1) Эксперимент
Б) Он подумал, что возможно разноцветная радуга возникает в результате какого-то взаимодействия белого солнечного света с каплями дождя	2) Наблюдение
В) Для проверки этого предположения человек в солнечный день взял садовый шланг и пустил из него струю воды так, чтобы она распалась на множество мелких капель воды. И он увидел маленькую радугу	3) Гипотеза

Решение

А	Б	В
2	3	1

В3. При быстром движении поршня в закрытом цилиндре воздушного насоса объём воздуха увеличивается. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс расширения воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
А) Давление	**1) Увеличение**
Б) Температура	**2) Уменьшение**
В) Внутренняя энергия	**3) Неизменность**

Решение

1. Давление: $p = \frac{1}{V}\nu RT$ с увеличением объёма – уменьшается

2. Температура: $p = nk_B T$ – с уменьшением давления – уменьшается

3. Внутренняя энергия: $\Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T$ – уменьшается пропорционально T.

А	Б	В
2	2	2

В4. К источнику постоянного тока была подключена одна лампочка. Что произойдёт напряжением на лампочке, мощностью тока на ней и силой тока в цепи при подключении параллельно с первой лампочкой второй такой же лампы:

1. Увеличение;
2. Уменьшение;
3. Неизменность?

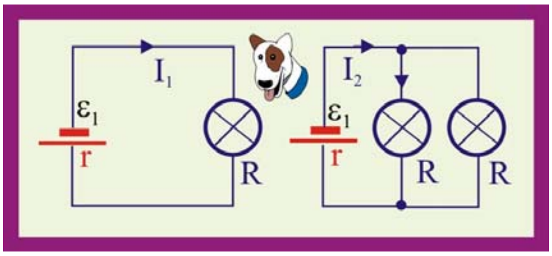


Рис. В4. Электрическая цепь

Решение

1. Зададимся конкретными значениями величин: r = 2 Ом, R = 10 Ом, ε = 12 В. В этом случае сила тока в цепях:

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1}{R + r} = 1\text{А}; \quad I_2 = \frac{\varepsilon_1}{\frac{R}{2} + r} = 1{,}71\text{А};$$

2. Падение напряжения на лампочке

$$U_{R1} = \varepsilon_1 - I_1 r = 10\text{В}; \quad U_{R2} = \varepsilon_1 - I_2 r = 8{,}58\text{В};$$

3. Мощность, потребляемая одной лампочкой

$$P_1 = I_1 U_{R1} = 10\text{Вт}; \quad P_2 = I_2 U_{R2} = 14{,}6\text{Вт}.$$

Вариант 7

А1.В таблице представлена зависимость модуля скорости v от времени движения автомобиля t:

t, с	0	1	2	4	6
v, м/с	0	2	2	6	6

Определить путь, пройденный автомобилем в интервале времени от 0 с до времени 5 с.

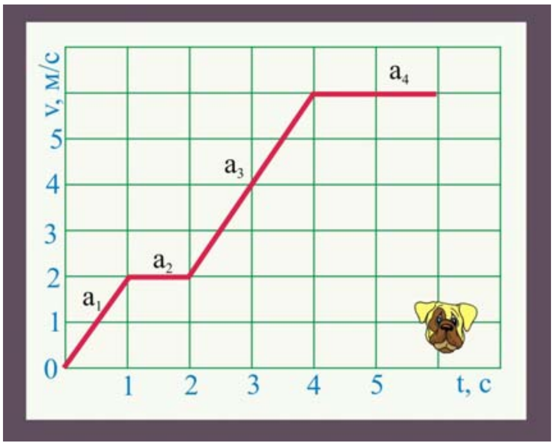


Рис. А1. Зависимость скорости от времени

Решение

1. Найдём изменебние скорости во времени:

$$a_1 = 2\frac{м}{с^2}; \quad a_2 = 0;$$

$$a_3 = 2\frac{м}{с^2}; \quad a_4 = 0;$$

2. Расстояния, пройденные автомобилем за отдельные отрезки времени:

$$x_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2} = 1м; \quad x_2 = v_2 t_2 = 2м;$$

$$x_3 = v_2 t_3 + \frac{a_3 t_3^2}{2} = 4 + 4 = 8м; \quad x_4 = v_3 t_4 = 6м;$$

3. Общее перемещение автомобиля за 5 с

$$s = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 17м.$$

А2. Космический корабль улетает от Земли. Как направлен вектор ускорения корабля в тот момент, когда вектор силы гравитационного притяжения Земли направлен под углом α = 120^0 к вектору скорости корабля. Действие иных небесных тел не учитывать.

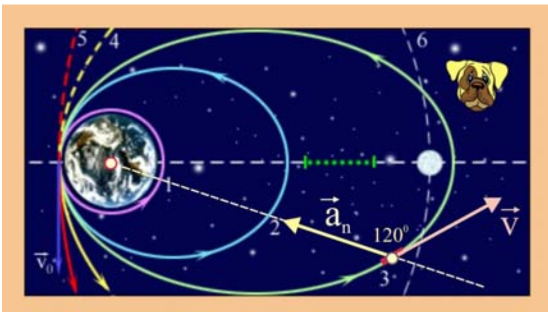


Рис. А2. Космический полёт

Решение

1. Корабль, по всей видимости, переходит с эллиптической траектории на параболическую траекторию, которая тоже является криволинейной, т.е. на космический корабль имеет нормальное (центростремительное) ускорение направленное к центру масс Земли, по линии действия гравитационной силы притяжения.

А3. Под действием силы F_1 тело движется с ускорением a_1 = 4 м/с^2. Под действием другой силы, противоположного направления тело приобретает ускорение a_2 = 3 м/с^2. Каким станет ускорение при одновременном действии сил?

Решение

1. Второй закон Ньютона и независимость действия сил, позволяют записать:

$$\frac{F_1}{m}=a_1;\quad \frac{F_2}{m}=a_2;\quad \frac{F_1-F_2}{m}=a_3=a_2-a_1=1\frac{м}{c^2};$$

А4. Маятник массой m проходит точку равновесия со скоростью v. Через четверть периода он достигает точки максимального удаления от точки равновесия. Чему равен модуль изменения импульса маятника за это время?

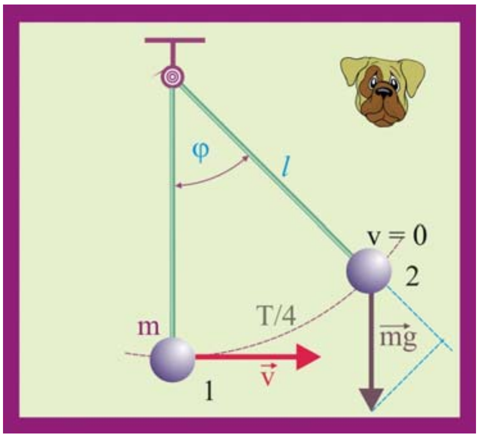


Рис. А4. Математический маятник

Решение

1. В момент прохождения грузом маятника положения статического равновесия он имеет максимальную кинетическую энергию, следовательно, и максимальную скорость $\vec{v}$, модуль импульса груза, при этом, равен

$$p_1=mv;$$

2. По истечении времени t = T/4 кинетическая энергия полностью трансформируется в потенциальную энергию, так что $p_2 = 0$, поэтому

$$|\Delta\vec{p}|=p_1-p_2=mv;$$

А5. Тело массой 2 кг под действием силы F = 30 Н перемещается вверх по наклонной плоскости, поднимаясь на высоту h = 3 м. Какую работу при этом перемещении совершила сила тяжести?

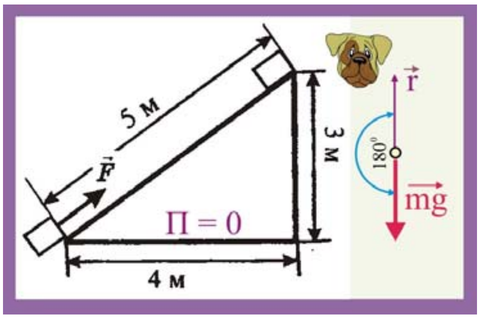


Рис. А5. Работа силы тяжести

Решение

1. Сила тяжести является вертикальной силой, поэтому угол между вектором силы тяжести и вектором перемещения составляет 180^0, работа илы тяжести на перемещении $|\vec{r}|=h$ определится как:

$$A(m\vec{g})=mgr\cos180^0=-60Дж;$$

А6. Рычаг находится в равновесии под действием силы тяжести mg и перпендикулярной ему силы F = 240 Н. Определить модуль силы тяжести, обеспечивающей равновесие.

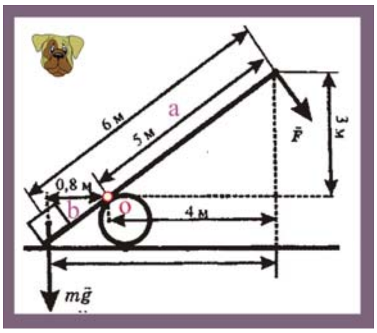


Рис. А6. Равновесие рычага

Решение

1. В качестве моментной выберем точку опоры рычага o, в этом случае момент нормальной реакции связи будет нулевым. Условие равновесия примет вид:

$$mgb=Fa;\quad |m\vec{g}|=Fa/b=1500\ Н;$$

А7. Представлен график зависимости координаты от времени тела, колеблющегося по гармоническому закону. Определить амплитуду и частоту колебаний.

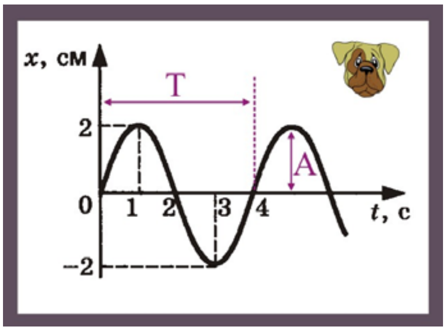


Рис. А7. Гармонический процесс

Решение

1. Заданный график колебаний позволяет определить из период и частоту

$T = 4с; \quad T = \frac{1}{\nu}; \quad \nu = 0{,}25$ Гц;

2. Амплитуда – максимальное отклонение колеблющегося объекта от положения равновесия? А = 2 см.

А8. При неизменной концентрации молекул идеального газа средняя квадратичная скорость теплового движения его молекул уменьшилась в 4 раза. Как при этом изменилось давление газа?

Решение

1. Соотношение скоростей и температур

$$\left.\begin{aligned} <v> &= \sqrt{\frac{3RT_1}{\mu}}; \\ \frac{<v>}{4} &= \sqrt{\frac{3RT_2}{\mu}}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{T_1}{T_2} = 16;$$

2. Давление идеального газа

$$p = nk_BT,$$

уменьшится в 16 раз.

А9. Идеальный газ сначала нагревался при постоянном объёме, потом его объём уменьшался при постоянном давлении, затем при постоянной температуре объём газа увеличили до первоначального значения. Какой из графиков соответствует этим изменениям состояния?

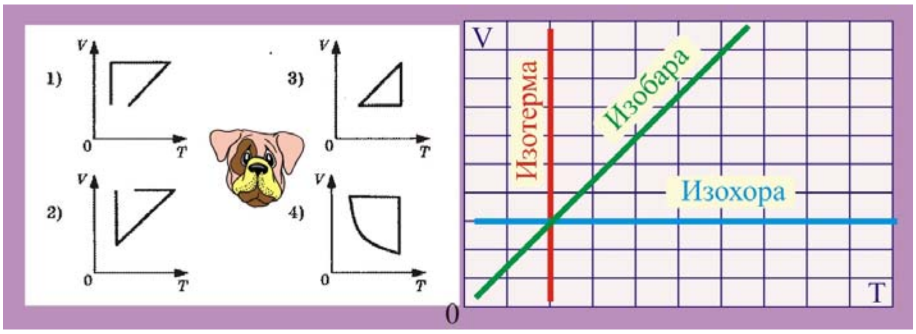


Рис. А9. Изменение состояния газа

Решение

1. Графическая интерпретация заданных процессов изменения состояния должна быть представлена: изохорой, изобарой и изотермой, такой последовательности удовлетворяет только график №2.

A10. Если идеальный газ совершил работу $\delta A = 300$ Дж и при этом внутренняя энергия уменьшилась на $\Delta U = 300$ Дж. Какое количество тепла получил или обдал газ?

Решение

1. В данном случае работа совершена за счёт уменьшения внутренней энергии газа, т.е.

$$\delta A = \Delta U,$$

от внешних источников газ не получал тепло и не отдавал его.

А11. Тепловая машина с КПД 40% за цикл работы отдаёт холодильнику 60 Дж теплоты. Какое количество теплоты машина получает от нагревателя?

Решение

1. В соответствии с теоремой Сади Карно:

$$\eta = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}; \quad \Rightarrow \quad Q_H = \frac{Q_X}{1-\eta} = 100 \text{ Дж}.$$

А12. Приведен график зависимости температуры T воды массой m в зависимости от времени t при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью P. По какому из приведенных выражений можно по результатам опыта определить удельную теплоёмкость льда, если в начальный момент времени t = 0 вода находилась в газообразном состоянии?

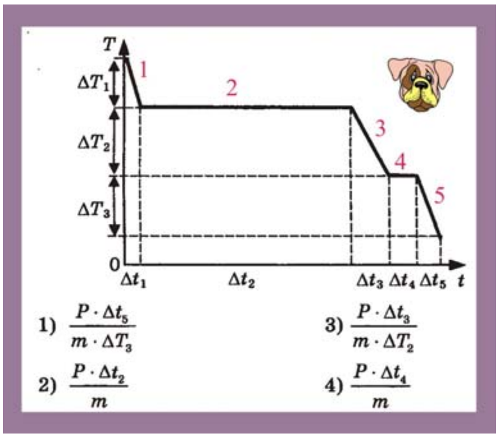


Рис.А12. Охлаждение воды

Решение

1. Процессы, протекающие при охлаждении воды:
   1. Охлаждение пара;
   2. Конденсация пара;
   3. Охлаждение воды;
   4. Образование льда;
   5. Охлаждение льда.
2. Справедливыми является уравнение 1

$$\frac{P\Delta t_5}{m\Delta T_3} = \frac{\Delta Q}{m\Delta T_3} = c;$$

А13. Модуль силы взаимодействия между двумя точечными зарядами равен F. Чему станет равным модуль силы взаимодействия, если заряды и расстояние между ними уменьшить в ζ раз?

Решение

1. Закон Кулона позволяет записать:

$$\left.\begin{aligned} F &= k\frac{q_1 q_2}{r^2}; \\ F_1 &= k\frac{n^2 q_1 q_2}{n^2 r^2}; \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad F = F_1;$$

A14. Определить сопротивление цепи

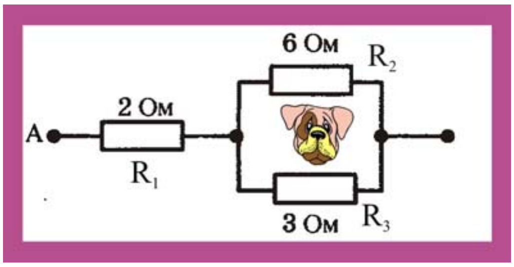


Рис. А14. Схема цепи

Решение

1. Сопротивление параллельного участка:

$$R_{2,3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}.$$

2. Общее сопротивление цепи

$$R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 4 \text{ Ома};$$

A15. Прямолинейный проводник длиной 0,5 м , по которому течёт ток 6А, находится в магнитном поле с модулем вектора индукции 0Б2 Тл. Проводник расположен под углом 30^0 к силовым линиям. Определить модуль силы, действующей на проводник со стороны магнитного поля.

Решение

1. На проводник с током со стороны магнитного поля действует сила Ампера

$$|\vec{F}_A| = IB\ell \sin\left(\vec{B};\vec{\ell}\right) = 0{,}5\cdot 6\cdot 0{,}2\cdot 0{,}5 = 0{,}3 \text{ Н}.$$

A16. В колебательном LC-контуре с C = 2 мкФ происходят свободные колебания с циклической частотой ω = 1000 $с^{-1}$. Чему равна амплитуда колебаний напряжения при амплитуде силы тока 0,01 А?

Решение

1. Реактивное сопротивление конденсатора

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 500 \text{ Ом};$$

2. Амплитуда напряжения на конденсаторе

$$u_m = i_m X_C = 5 \text{ В};$$

A17. В плоском зеркале наблюдают изображение стрелки С, глаз наблюдателя находится в точке Г. Какая часть стрелки в зеркале не видна глазу?

Решение

1. Строим изображение в зеркале верхней точки стрелки с учётом того, что расстояние от предмета до зеркала равно расстоянию от изображения до зеркала.

2. Применяя дважды закон отражения, получаем 0,75 длины стрелки, которая видима глазом в зеркале.

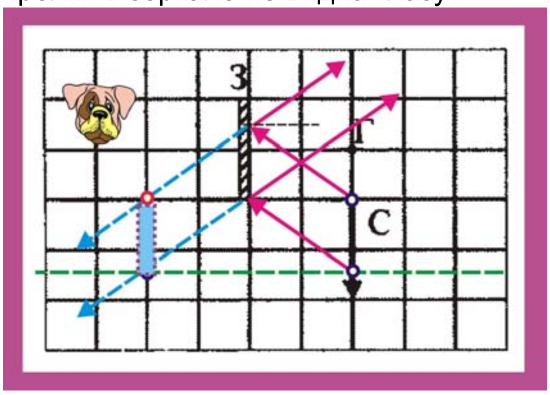


Рис. А17. Построения в зеркале

А18. Свет от двух точечных когерентных источников приходит в точку экрана с разностью фаз $\Delta = (3/2)\lambda$, в точку 2 экрана с разностью фаз $\Delta = \lambda/2$. Одинакова ли освещённость в этих точках?

Решение

1. Условие интерференционного максимума:

$$\Delta = \pm m\lambda, \quad (m = 0, 1, 2, \ldots);$$

2. Условие интерференционного минимума

$$\Delta = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2};$$

3. Имеют место два интерференционных минимума, освещённость в которых равна нулю.

А19. На плёнке фотоаппарата получено изображение предмета в натуральную величину. На каком расстоянии от объектива был расположен предмет?

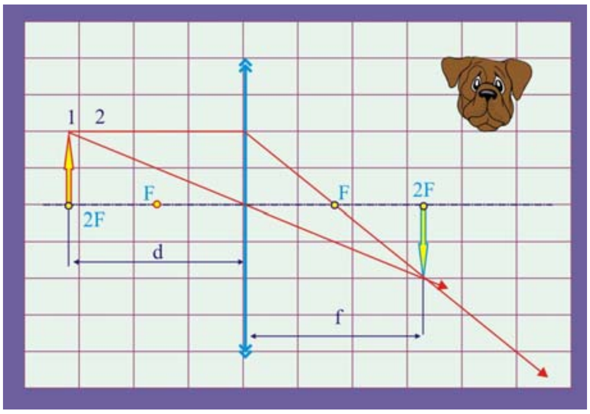


Рис. А19. Изображение в фотоаппарате

Решение

1. Изображение предмета в собирающей линзе, в качестве какой можно рассматривать объектив фотоаппарата, получится равным размеру предмета, действительным и перевёрнутым при расположении предмета на дойном фокусном расстоянии от плоскости объектива.

2. Как видно из формулы собирающей линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2F} + \frac{1}{2F} = \frac{1}{F};$$

А20. Если электроскоп соединён с цинковой пластиной и заряжен отрицательно. При освещении ультрафиолетовым светом электроскоп начинает разряжаться. Как изменится максимальная кинетическая энергия выбиваемых с поверхности электронов при уменьшении длины волны падающего света и сохранении мощности светового потока?

Решение

1. Речь идёт о явлении внешнего фотоэффекта

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{m_e v^2}{2} + A$$

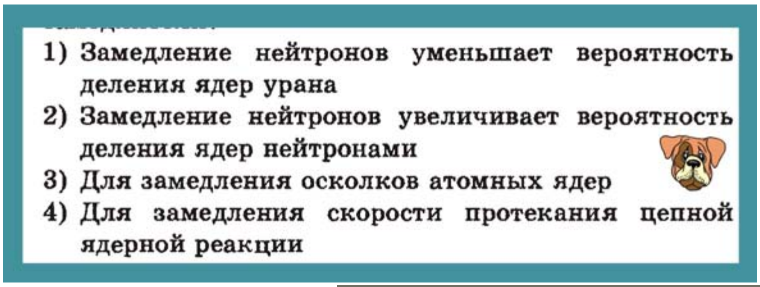
уменьшение λ приводит к увеличению энергии падающих фотонов, поскольку работа выхода А является свойством цинка, то максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов будет увеличиваться.

A21. При освещении металлической пластины монохроматическим светом с чистотой ν происходит фотоэффект, при этом максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна ε_e = 2эВ. Как изменится максимальная энергия электронов при освещении фотокатода светом с частотой 0,5 ν?

Решение

$$\left.\begin{aligned} h\nu &= \varepsilon_1 + A; \\ \frac{h\nu}{2} &= \varepsilon_2 + A; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left.\begin{aligned} \varepsilon_1 &= h\nu - A; \\ \varepsilon_2 &= \frac{h\nu}{2} - A; \end{aligned}\right\} \quad \varepsilon_2 = 1\text{эВ} - A;$$

A22. Для каких целей в ядерных реакторах применяются замедлители нейтронов?



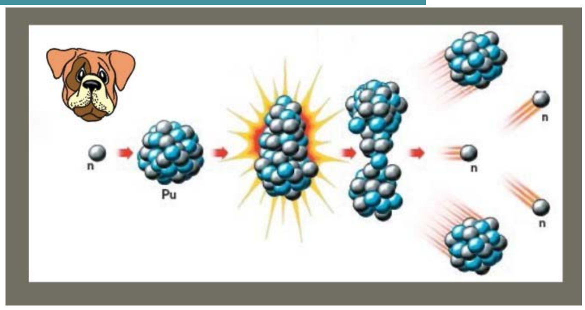


Рис. A22. Медленные нейтроны и ядро

Решение

1. Нейтроны не обладая электрическим зарядом могут свободно проникать в положительно заряженные ядра, однако при скоростях, соизмеримых со скоростью теплового движения, так4 называемые, тепловые медленные нейтроны захватываются ядрами радиоактивных элементов. После захвата медленного нейтрона ядро теряет устойчивость и распадается.

2. В современных технологиях в качестве замедлителей применяются замедлители на основе воды, тяжёлой воды, бериллия и графита.

A23. α-частица сталкивается с ядром атома бериллия $^{9}_{4}Be$, который превращается ядро атома углерода $^{12}_{6}C$ с генерирование частицы. Что это за частица?

Решение

1. Запишем ядерную реакцию

$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \to ^{12}_{6}C + ?;$$

$$Z = 4 + 2; \quad A = 9 + 4 = 13,$$

испускаемая частица не должна обладать зарядом и иметь единичную массу – это нейтрон

$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \to ^{12}_{6}C + ^{0}_{1}n;$$

А24. Если заряд на обкладках конденсатора уменьшить в два раза, то как изменится его емкость?

Решение

1. Электрическая ёмкость конденсатора зависит от его конструктивных параметров, например для плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

т.е. электроёмкость определяется свойством диэлектрика между пластинами ε, площадью пластин S, расстоянием между пластинами. И никаких зарядов.

А25. Атом массой m, движущийся со скоростью v, сталкивается с неподвижным атомом массой 2m. Каким суммарным импульсом обладают два атома после столкновения?

Решение

1. Поскольку до столкновения шар массой 2m покоился, то суммарный импульс системы был равен $p = mv$, после столкновения импульс сохраняется, т.е. суммарный импульс шаров останется прежним $p_1 + p_2 = mv$.

В1. Гиря массой 2 кг подвешена на тонком шнуре. Если её отклонить от положения равновесия на 10 см по горизонтали, а затем отпустить, то она станет совершать свободные колебания как математический маятник. Что произойдет с периодом колебаний, максимальной потенциальной энергией и частотой колебаний, если начальное отклонение уменьшить да 5 см:

1. Увеличится;
2. Уменьшится;
3. Не изменится?

Решение

1. Частота и период колебаний:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}; \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

период и частота не зависят от амплитуды колебаний.

2. Потенциальная энергия:

$$\Pi = mgh = mg\ell(1 - \cos\varphi)$$

при уменьшении A уменьшается h, значит и максимальное значение потенциальной энергии – уменьшается.

Период	3
Частота	3
Максимальная потенциальная энергия	2

В2. Камень свободно падает вертикально вниз. Как меняются приведенные в таблице физические величины?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
А) Скорость	1) Не изменяется
Б) Ускорение	2) Увеличивается
В) Кинетическая энергия	3) Уменьшается
Г) Потенциальная энергия	

Решение

1. Скорость свободного падения $v(t) = gt$ – 1величивается вплоть до соприкосновения с землёй.

2. Ускорение при свободном падении не меняется, оставаясь равным g.

3. Кинетическая энергия растёт по мере увеличения скорости, пропорционально её квадрату.

4. Потенциальная энергия $П = mgh(t); \quad h(t) = h - \frac{gt^2}{2};$

А	Б	В	Г
2	1	2	3

В3. Установить соответствие между физическими величинами, характеризующими адиабатный процесс сжатия воздуха и их поведением.

Решение

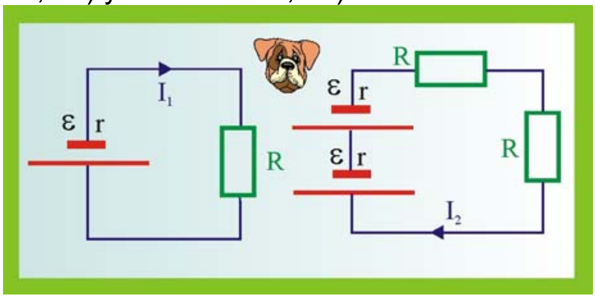
1. Уравнение адиабатного процесса:

$$pV^{\gamma} = const; \quad TV^{\gamma-1} = const; \quad T^{\gamma}p^{1-\gamma} = const; \quad \gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i};$$

А	Б	В	Г
1	2	1	1

В4. Даны две схемы включения элементов питания и нагрузок. Как изменяются: сила тока в цепях, напряжение на потребителях и мощность тока?

1) увеличивается; 2) уменьшается; 3) не изменяется.



Решение

1. Сила тока в цепях при: ε = 12 В, r = 2 Ом, R = 10 Ом

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R+r} = 1A; \quad I_2 = \frac{2\varepsilon}{2(R+r)} = 1A;$$

2. Напряжение на сопротивлениях и рассеиваемая на них мощность тоже не изменятся

Сила тока	Напряжение	Мощность
3	3	3

Вариант 8.

A1. В таблице представлена зависимость модуля скорости v от времени t:

t, с	0	1	2	4	6
v, м/с	0	2	2	6	6

Определить путь, пройденный автомобилем за время t = 0 – t = 2 с.

Решение

1. Ускорение и путь автомобиля за первую секунду движения

$$a_1 = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2\frac{\text{м}}{\text{с}^2}; \quad x_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2} = 1\text{м};$$

2. Расстояние, пройденное за вторую секунду движения

$$x_2 = v_2 t_2 = 2\text{м};$$

3. Расстояние, пройденное за заданное время:

$$s = x_1 + x_2 = 3\text{м};$$

A2. Метеорит пролетает около Земли за пределами атмосферы. Как будет направлен вектор ускорения метеорита, когда вектор его скорости будет перпендикулярен вектору силы гравитационного взаимодействия?

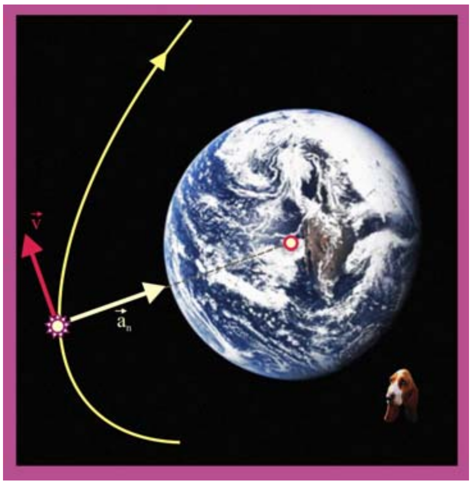


Рис. А2. Полёт метеорита

Решение

1. Если не учитывать взаимодействие метеорита с иными космическими телами корме Земли, то на основании закона гравитации Ньютона

$$F_G = G\frac{Mm}{r^2},$$

причём сила притяжения метеорита Землёй направлена по линии, соединяющей центры масс взаимодействующих тел. А в соответствии со вторым законом Ньютона

$$\vec{a} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{i=n}\vec{F}_i,$$

т.е. вектор ускорения имеет такое же направление, как и вектор геометрической суммы, действующих сил. Ускорение $\vec{a}_n$ (нормальное ускорение) направлено так же как вектор силы гравитации.

A3. Две взаимно перпендикулярные силы, модули которых равны F_1 = 3 Н и F_2 = 4 Н приложены в одной точке. Чему равна равнодействующая этих сил?

Решение

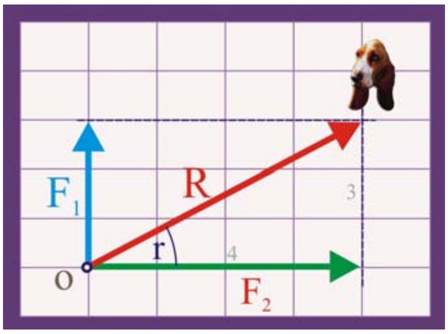


Рис. А3. Равнодействующая сил

1. Плоская система сходящихся сил приводится к равнодействующей путём использования правила складывания векторов, правило параллелограмма: если на векторах двух сходящихся сил построить параллелограмм, то его диагональ будет представлять собой равнодействующую складываемых сил:

$$\left|\vec{R}\right| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\left(\vec{F}_1;\vec{F}_2\right)};$$

2. В заданном случае уравнение упрощается т.к. силы перпендикулярны друг другу

$$\left|\vec{R}\right| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 5\ \text{Н};$$

3. Направление равнодействующей:

$$\cos r = \frac{F_2}{R};\quad r = \arccos\frac{4}{5} \approx 37^0;$$

А4. Маятник массой m проходит точку равновесия со скоростью v. Через половину периода колебаний он снова проходит эту точку, имея скорость равную по модулю и противоположную по направлению. Чему будет равен модуль изменения импульса груза маятника?

Решение

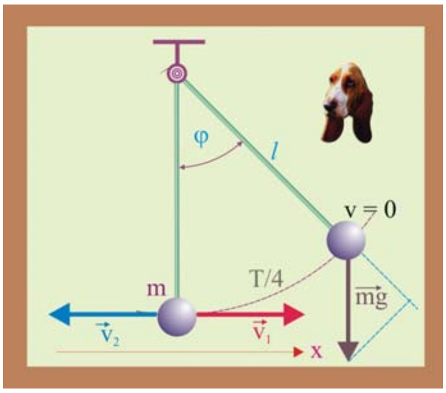


Рис. А4. Качания маятника

1. Точку статического равновесия груз маятника при качаниях проходит со скоростями равными по модулю и противоположными по направлению, поэтому уравнение изменения импульса в проекции на горизонтальною ось *x* запишется следующим образом

$$\left|\vec{p}_2 - \vec{p}_1\right| = \left|-mv - mv\right| = 2mv;$$

А5. Тело массой m = 2 кг поднимается вверх по наклонной плоскости под действием силы F = 30 Н. Вектор силы параллелен параллельно плоскости. Какую работу совершает сила при перемещении по плоскости на расстояние $\ell = 5\text{м}$. Коэффициент трения тела о плоскость μ = 0,5?

Решение

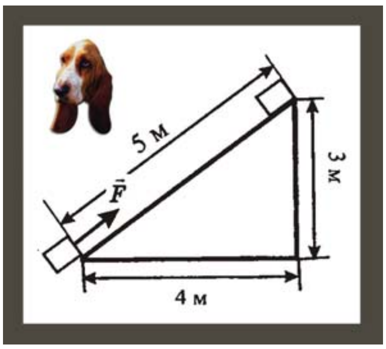


Рис. А5. Работа силы

1. Работа силы на прямолинейном перемещении определяется уравнением:

$$A(\vec{F}) = F\ell\cos\left(\vec{F};\vec{\ell}\right),$$

в данном случае $\left(\vec{F};\vec{\ell}\right) = 0^o$, поэтому

$$A\left(\vec{F}\right) = F\ell = 150\ \text{Н}.$$

А6. Рычаг АВ находится в равновесии под действием силы тяжести mg и перпендикулярной рычагу силы F = 120 Н. Найти модуль силы тяжести.

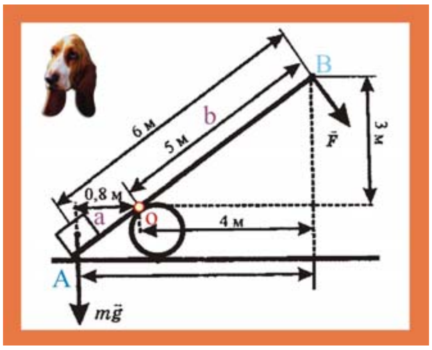


Рис. А6. Равновесие рычага

Решение

1. Рычаг опирается на каток в точке *о*, которую в данном случае целесообразно выбрать в качестве моментной, т.е относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через эту точку, потому что в этом случае момент неизвестной нормальной реакции связи будет равен нулю в виде равенства нулю плеча.

2. Условие равновесия, таким образом примет вид:

$$mg\cdot a = F\cdot b; \quad \Rightarrow \quad |m\vec{g}| = \frac{F\cdot b}{a} = \frac{120\cdot 5}{0{,}8} = 750\ \text{Н};$$

А7. Задан график смещения тела x от положения равновесия в функции времени t тела, свершающего гармонические колебания. Определить амплитуду и период колебаний.

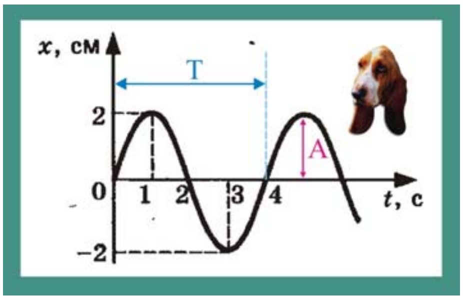


Рис. А.7. Гармонические колебания

Решение

1. Периодом колебаний называется наименьший промежуток времени, за который колеблющееся тело возвращается в исходное положение, начальный момент времени выбирается произвольно. По данным графика T = 4 с.

2. Амплитудой колебаний A называется максимальное отклонение колеблющегося тела от положения статического равновесия, в данном случае (по графику) A = 2 см = $2{\cdot}10^{-2}$ м.

3. Циклическая частота колебаний:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T} = 1{,}57\frac{\text{рад}}{6};$$

4. Уравнение колебаний:

$$x(t) = 2\cdot 10^{-2}\sin 1{,}57t\,.$$

А8. При неизменной концентрации молекул идеального газа средняя квадратичная скорость движения его молекул увеличилась в 4 раза, как изменилось давление этого газа?

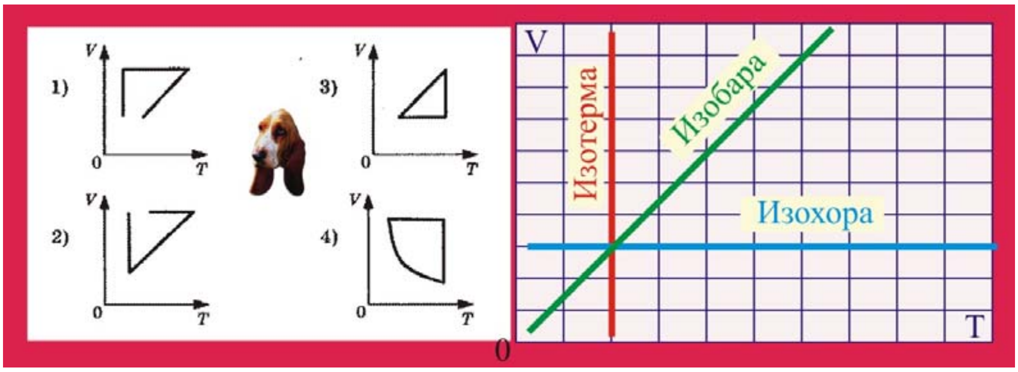
Решение

1. Основное уравнение МКТ:

$$p = \frac{1}{3}nk_B < v >^2,$$

увеличение скорости молекул в 4 раза приведёт к возрастанию давления в 16 раз.

А9. Идеальный газ сначала нагревался при постоянном давлении, потом его давление уменьшалось при постоянном объёме, затем при постоянной температуре объём уменьшился до первоначального значения. Какой из приведенных графиков соответствует заданной последовательности изменения состояний?



Решение

1. Графическая интерпретация заданных изменений должна быть представлена:

- изобарой,
- изохорой,
- изотермой,

такой последовательности удовлетворяет график №1.

А10. Идеальный газ совершил работу δA = 300 Дж и при этом внутренняя энергия газа увеличилась на ΔU = 300 Дж. Какое количество теплоты отдал или получил газ в этом процессе?

Решение

1. Так как совершается работа и увеличивается одновременно внутренняя энергия, то газ получает тепло от внешнего источника. В соответствии с первым началом термодинамики

$$Q = \Delta U + \delta A = 600 \text{ Дж};$$

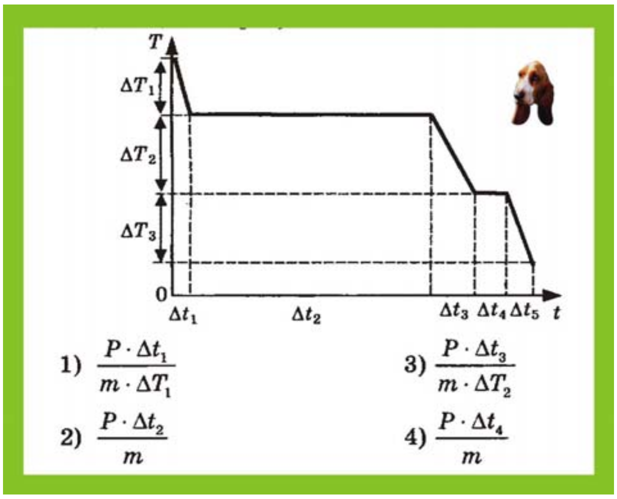
А11. Тепловая машина с КПД η = 0,6 за цикл отдаёт холодильнику Q_X = 100 Дж тепла. Какое количество тепла машина получает за цикл от нагревателя?

Решение

1. Из теоремы Сади Карно:

$$\eta = 1 - \frac{Q_X}{Q_H}; \quad \Rightarrow \quad Q_H = Q_H - \eta Q_H = Q_X; \quad Q_H = \frac{Q_X}{1-\eta} = 250 \text{ Дж};$$

А12. Приведен график зависимости температуры T воды массой m от времени t при осуществлении теплоотвода с постоянной мощностью P . В момент времени t = 0 вода находилась в парообразном состоянии. Какое из приведенных уравнений определяет удельную теплоту кристаллизации по результатам проведенного опыта?



Решение

1. По заданному графику можно установить, что протекают следующие процессы:

- Δt_1 – охлаждение пара;
- Δt_2 – конденсация пара;
- Δt_3 – охлаждение жидкости;
- Δt_4 – переход воды в твёрдое состояние;
- Δt_5 – охлаждение льда.

2. Фазовый переход воды из жидкого состояния в твёрдое состояние протекает в течение времени Δt_4, поэтому:

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{m} = \frac{P\cdot\Delta t_4}{m};$$

А13. Модуль силы взаимодействия между двумя точечными зарядами равен F. Чему станет равным модуль силы взаимодействия, если один заряд увеличить вдвое а расстояние между ними уменьшить в 2 раза?

Решение

1. Закон Кулона позволяет записать:

$$\left.\begin{aligned} F &= k\frac{q_1q_2}{r^2}; \\ F_1 &= k\frac{8q_1q_2}{r^2}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad F_1 = 8F;$$

А14. Определить общее сопротивление электрической цепи:

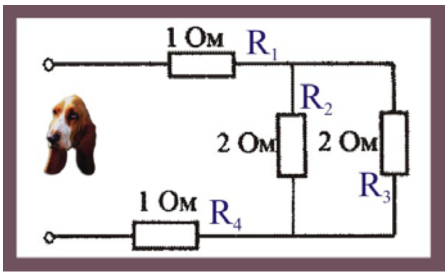


Рис. А14. Сопротивление цепи

Решение

$$R_{2,3} = \frac{R_2R_3}{R_2 + R_3} = 1\,Ом;$$

$$R_\Sigma = R_1 + R_2 + R_{2,3} = 3 Ом;$$

A15. Квадратная рамка вращается в однородном магнитном поле вокруг одной из своих сторон. Первый раз ось вращения совпадает с направлением вектора магнитной индукции, а во второй раз перпендикулярна ему. Будет ли возникать ток в рамке?

Решение

1. Возникновение тока в рамке обусловлено явлением электромагнитной индукции, которая описывается законом Майкла Фарадея

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -\frac{BS\cos\left(\vec{B};\vec{n}\right)}{\Delta t},$$

где S – площадь рамки, $\vec{n}$ – нормаль к плоскости рамки, B – магнитная индукция.

2. Как видно из уравнения закона электромагнитной индукции, ЭДС индукции при $\cos\left(\vec{B};\vec{n}\right) = 90^0$ принимает значение $\varepsilon_i = 0$, т.е. во втором случае ток не возникнет потому, что поток магнитной индукции через рамку будет равен нулю.

A16. Определить циклическую частоту собственных колебаний в LC-контуре с ёмкостью конденсатора C = 50 мкФ и индуктивностью L = 2 Гн

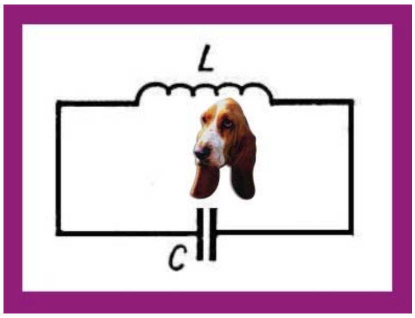


Рис. А16. Колебательный контур

Решение

1. В соответствии с формулой Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC};\ \frac{1}{\nu}2\pi\sqrt{LC};\ \omega = 2\pi\nu;$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{2\cdot 5\cdot 10^{-5}}} = 100\frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

A17. В плоском зеркале наблюдают изображение стрелки С, глаз наблюдателя находится в точке Г. Какая часть стрелки в зеркале не видна глазу?

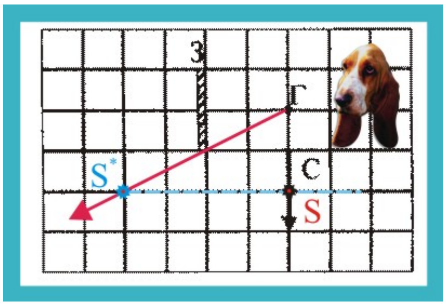


Рис. А17. Изображение в зеркале

Решение

1. Соединяем точку расположения глаза с кромкой зеркала, получает, таким образом, изображение S^* точки S, принадлежащей стрелке. Это будет самая нижняя точка стрелки, отражение которой способен увидеть глаз. Будет видна только половина стрелки.

A18. Как изменяются частота и длина волны света при переходе из вакуума (n = 1) в воду (n =1,33)?

Решение

1. Частота не изменяется, потому что она обусловлена параметрами источника волн.

2. При переходе из одной среды в другую меняется скорость распространения световых волн в зависимости от оптической плотности среды. Скорость

распространения (фазовая скорость) связана с показателем преломления среды

$$n_1 = \frac{c}{v_1}; \quad n_2 = \frac{c}{v_2};$$

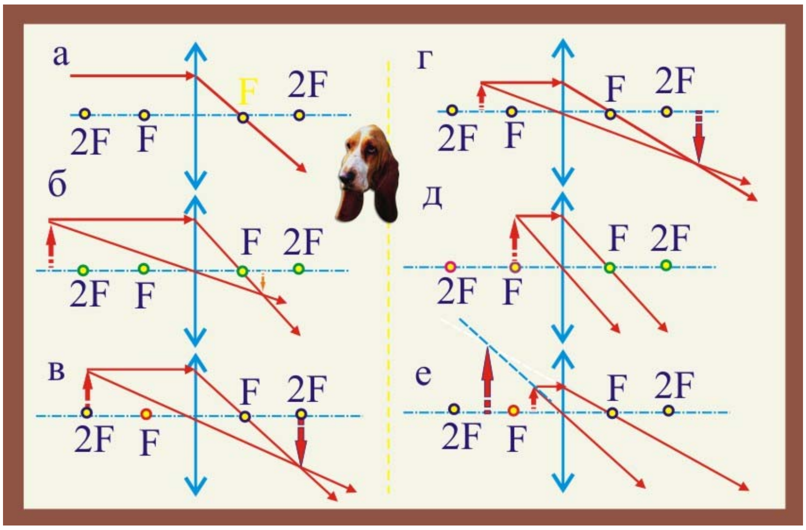
3. В рассматриваемом случае показатель преломления вакуума $n_2 = 1$, поэтому $v_2 = c \cong 3\cdot 10^8$ м/с. у воды показатель преломления $n_1 \approx 1{,}33$

$$v_1 = \frac{c}{n} \approx 2{,}25\cdot 10^8\,\frac{м}{c};$$

4. Поскольку $v = \lambda\nu$, то при переходе волны из вакуума в воду её скорость уменьшается, значит должна уменьшаться и длина волны.

А19. На матрице фотоаппарата получено уменьшенное изображение предмета. Где относительно объектива располагался предмет?

Решение



1. Предмет находился на расстоянии больше чем два фокусных расстояния.

А20. Если электроскоп соединён с цинковой пластиной и заряжен отрицательно. При освещении ультрафиолетовым светом электроскоп начинает разряжаться. Как изменится максимальная кинетическая энергия выбиваемых с поверхности электронов при уменьшении частоты падающего света и сохранении мощности светового потока?

Решение

1. Речь идёт о явлении внешнего фотоэффекта

$$h\nu = \frac{m_e v^2}{2} + A$$

уменьшение ν приводит к уменьшению энергии падающих фотонов, поскольку работа выхода А является свойством цинка, то максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов будет уменьшаться.

А21. При освещении металлической пластины монохроматическим светом с чистотой ν происходит фотоэффект, при этом максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна ε_e = 2эВ. Как изменится максимальная энергия электронов при освещении фотокатода светом с частотой 2 ν?

Решение

$$\left.\begin{aligned} h\nu &= \varepsilon_1 + A; \\ 2h\nu &= \varepsilon_2 + A; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left.\begin{aligned} \varepsilon_1 &= h\nu - A; \\ \varepsilon_2 &= 2h\nu - A; \end{aligned}\right\} \quad \varepsilon_2 = 4эВ - A\,;$$

А22. Может ли ядро атома одного химического элемента самопроизвольно превращаться в ядро атома другого элемента?

Решение

1. Самопроизвольный распад могут испытывать только радиоактивные элементы.

2. Радиоактивными элементами в строгом смысле являются все элементы, идущие в таблице Менделеева после свинца (включая висмут), а также элементы технеций и прометий. Следующие элементы содержат в природных смесях хотя бы один радиоактивный изотоп: калий, кальций, ванадий, германий, селен, рубидий, цирконий, молибден, кадмий, индий, теллур, лантан, неодим, самарий, гадолиний, лютеций, гафний, вольфрам, рений, осмий, платина, висмут, торий, уран (в список не включены дочерние элементы из рядов урана и тория, такие как радий, радон и астат, а также образующиеся в атмосфере под действием космических лучей, такие как углерод-14). В качестве примера на рис. А22 приведена цепочка радиоактивного распада $^{235}_{92}U$.

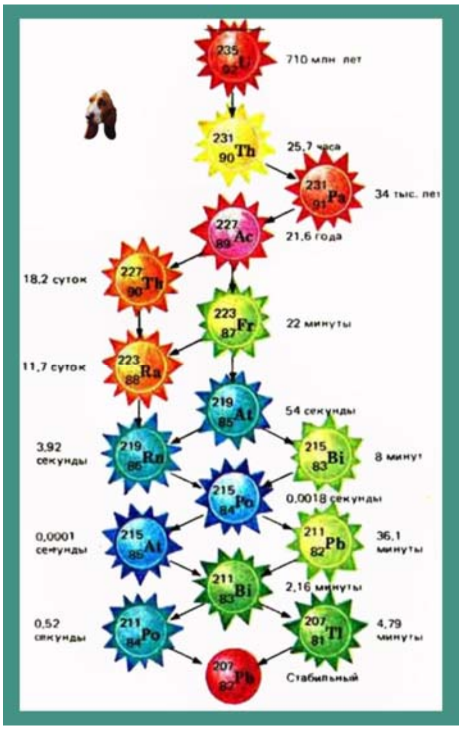


Рис А22. Самопроизвольный распад

3. Все элементы, идущие за ураном, называются трансурановыми элементами. Есть предположения, что некоторые далёкие трансурановые элементы могут быть не радиоактивными или, во всяком случае, иметь достаточно долгоживущие изотопы, чтобы присутствовать в природе.

4. Многие радиоактивные элементы имеют важное практическое значение. Уран и плутоний используют как делящийся материал в атомных реакторах и в ядерном оружии. Некоторые радиоактивные элементы применяют для изготовления атомных электрических батареек со сроком непрерывной работы до нескольких лет. Долгоживущие изотопы природных радиоактивных элементов используются в геохронологии.

А23. При столкновении α-частицы с ядром атома азота произошла ядерная реакция: $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \to X + ^{1}_{1}H$. Ядро какого изотопа возникло в результате реакции?

Решение

1. В соответствии с законом сохранения массовых и зарядовых чисел при ядерных реакциях имеем:

$$Z_X = 7 + 2 - 1 = 8; \quad A_X = 14 + 4 - 1 = 17; \quad \Rightarrow \quad X = {}^{17}_{8}O,$$

в результате реакции получается изотоп кислорода.

А24. Если заряд на обкладках конденсатора увеличить в два раза, то как изменится его емкость?

Решение

1. Электрическая ёмкость конденсатора зависит от его конструктивных параметров, например для плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

т.е. электроёмкость определяется свойством диэлектрика между пластинами ε, площадью пластин.

А25. Вагон массой m, движущийся со скоростью v, сталкивается с неподвижным вагоном массой 2m. Каким суммарным импульсом обладают два атома после столкновения?

Решение

1. Поскольку до столкновения шар массой 2m покоился, то суммарный импульс системы был равен $p = mv$, после столкновения импульс сохраняется, т.е. суммарный импульс шаров останется прежним $p_1 + p_2 = mv$.

В1. Гиря массой 2 кг подвешена на тонком шнуре. Если её отклонить от положения равновесия на 10 см по горизонтали, а затем отпустить, то она станет совершать свободные колебания как математический маятник с периодом 1 с. Что произойдет с периодом колебаний, максимальной потенциальной энергией и частотой колебаний, если начальное отклонение увеличилось до 20 см:

1. Увеличится;
2. Уменьшится;
3. Не изменится?

Решение

1. Частота и период колебаний:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}; \quad \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{\ell}}$$

период и частота не зависят от амплитуды колебаний.

2. Потенциальная энергия:

$$\Pi = mgh = mg\ell(1 - \cos\varphi)$$

при увеличении А увеличивается h, значит и максимальное значение потенциальной энергии – увеличивается.

Период	3
Частота	3
Максимальная потенциальная энергия	1

В2. Камень брошен вертикально вверх. Как меняются приведенные в таблице физические величины?

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ	ИХ ИЗМЕНЕНИЯ
А) Скорость	1) Не изменяется
Б) Ускорение	2) Увеличивается
В) Кинетическая энергия	3) Уменьшается
Г) Потенциальная энергия	

Решение

1. Скорость движения камня $v(t) = v_0 - gt$ – уменьшается вплоть до достижения максимальной высоты подъёма.

2. Ускорение при движении в поле земного тяготения не меняется, оставаясь равным g.

3. Кинетическая энергия уменьшается по мере уменьшения скорости, пропорционально её квадрату.

4. Потенциальная энергия $П = mgh(t); \; h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$ – увеличивается во время подъёма.

А	Б	В	Г
3	1	3	2

В3. При очень медленном движении поршня в цилиндре закрытого воздушного насоса объём воздуха уменьшается. Установите соответствие между физическими величинами, характеризующими процесс сжатия воздуха, перечисленными в первом столбце, и их изменениями во втором столбце.

Решение

1. При очень медленном движении поршня процесс сжатия воздуха можно считать изотермическим, т.е. T = cons, следовательно $pV = const$.

А	Б	В
1	3	2

В4. Даны две схемы включения элементов питания и нагрузок. Как изменяются: сила тока в цепях, напряжение на потребителях и мощность тока?

1) увеличивается; 2) уменьшается; 3) не изменяется.

Решение

1. Предположим: ε =12 В, r = 2 Ом, тогда для силы тока в цепях можно записать:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{2r} = 3A;$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{3r} = 2A;$$

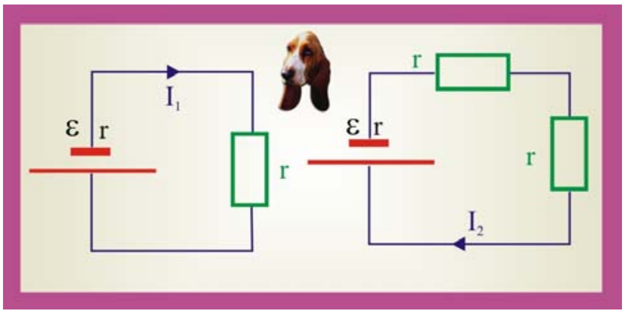


Рис. В4. Две электрические цепи

2. Напряжение на выходе источника тока:

$$U_1 = \varepsilon - I_1 r = 6\text{ В}; \quad U_2 = \varepsilon - I_2 r = 8\text{ В};$$

3. Мощность тока на внешней цепи

$$P_1 = I_1 U_1 = 18\text{ Вт}; \quad P_2 = I_2 U_2 = 16\text{ Вт}.$$

Сила тока	Напряжение	Мощность
2	1	2

Задачи базового уровня

1. Механика

1. Движение двух тел задано уравнениями:

$$x_1 = 3t; \quad x_2 = 130 - 10t;$$

Когда и где встретятся тела?

Решение

1. Время встречи определится из условия равенства координат тел

$$3t = 130 - 10t; \quad t_B = 10\ с;$$

2. Место встречи

$$x_B = 3t_B = 130 - 10t_B = 30\ м.$$

---

2. Может ли зависимость пути от времени иметь вид, представленный на рис. 2?

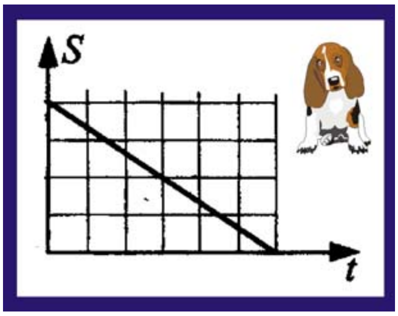


Рис.2. Зависимость S = f(t)

Решение

1. Путь является частью траектории, проходимый за заданный промежуток времени, а траектория является зависимостью, связывающей координаты и не содержащей время.

2. Пусть некая точка движется в плоскости в соответствии с уравнениями движения:

$$\left.\begin{aligned} x &= 2t; \\ y &= 4t^2; \end{aligned}\right\}$$

3. Уравнения движения, строго говоря, не позволяют установить траекторию движения, чтобы получить уравнение траектории надо из уравнений движения исключить время. Например, так:

$$t = \frac{x}{2}; \quad y = 4\frac{x^2}{4} = x^2;$$

4. Траекторией движения является парабола, а путь может быть частью её, значит, путь не может быть функцией времени.

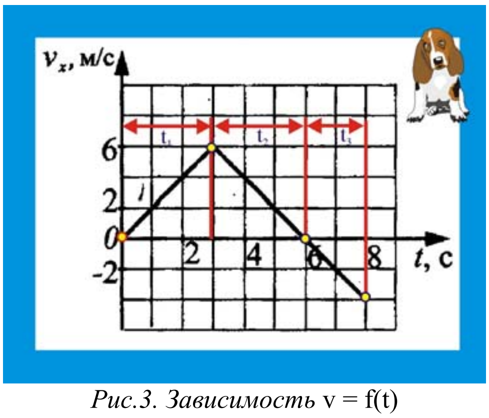


Рис.3. Зависимость v = f(t)

3. По заданному графику зависимости скорости тела от времени определить путь, пройденный телом за первые 8 с движения.

Решение

1. Определим ускорения движения тела

$$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{6}{3} = 2\frac{м}{с^2}; \quad a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} = -2\frac{м}{с^2}; \quad a_3 = -\frac{4}{2} = -2\frac{м}{с^2};$$

2. Через 6 с тело останавливается и начинает двигаться в обратную сторону

$$x_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2} = \frac{2 \cdot 9}{2} = 9м; \quad x_2 = v_2 t_2 - \frac{a_2 t_2^2}{2} = 6 \cdot 3 - \frac{2 \cdot 9}{2} = 9м; \quad x_3 = \frac{a_3 t_3^2}{2} = 4м;$$

$$x_\Sigma = x_1 + x_2 + x_3 = 22м.$$

---

4. Задан график зависимости скорости движения тела от времени. Определить путь, пройденный телом за первые 4 с движения.

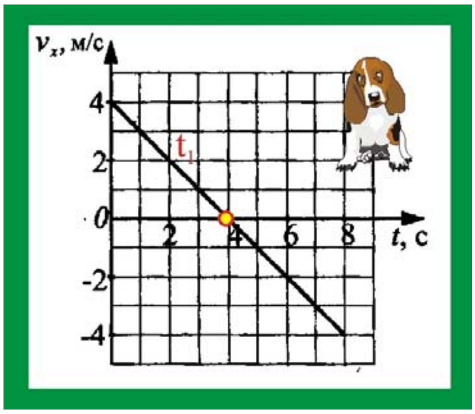


Рис. 4. Замедленное движение

Решение

1. Ускорение за первые 4 с движения:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0-4}{4} = -1\frac{м}{с^2};$$

2. Расстояние, пройденное телом за первые 4 с движения

$$x = v_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2} = 4 \cdot 4 - \frac{1 \cdot 16}{2} = 8м;$$

---

5. Тело движется вдоль оси *Ox* в соответствии с уравнением:

$$x(t) = 10 - 4t.$$

Чему равна координата этого тела через 5 с после начала движения?

Решение

1. Координата тела в заданное время:

$$x_5 = 10 - 20 = -10м;$$

---

6. Тело брошено под углом к горизонту. Как направлено ускорение тела в точках A, B и C его траектории?

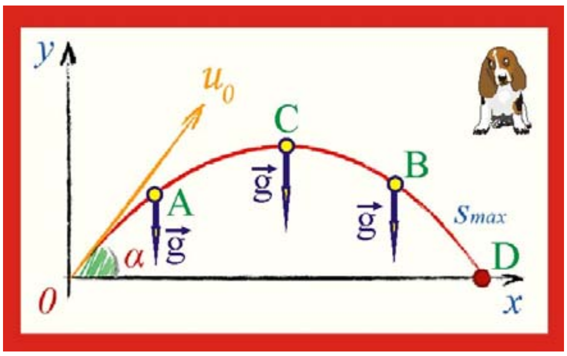


Рис. 6. Тело, брошенное под углом α к горизонту

Решение

1. При броске тела под углом к горизонту по горизонтальной оси движение равномерное, а по вертикальной оси действует постоянное по модулю и направлению ускорение свободного падения $\vec{g}$ во всех точках траектории движения. В этой связи, от момента броска до точки C тело движется равнозамедленно, а из точки C в точку D равноускоренно.

---

7. При равноускоренном прямолинейном движении скорость катера увеличилась за τ = 10 с от v_1 = 2 м/с до v_2 = 8 м/с. Чему равен путь, пройденный телом за время τ?

Решение

1. Ускорение катера:

$$a = \frac{\Delta v}{\tau} = \frac{v_2 - v_1}{\tau} = \frac{8-2}{10} = 0{,}6\frac{м}{с^2};$$

2. Расстояние, пройденное катером за время τ

$$x_\tau = v_1\tau + \frac{a\tau^2}{2} = 20 + \frac{0{,}6 \cdot 100}{2} = 50м;$$

---

8. Вертолёт и самолёт летят навстречу друг другу: вертолёт со скоростью v, самолёт – 3v. Какова скорость вертолёта относительно самолёта?

Решение

1. В соответствии с принципом относительности Галилея, если подвижную систему координат (ПСК) связать, например, с вертолётом, то самолёт в этой системе отсчёта будет иметь скорость v + 3v = 4 v.

---

9. Может ли человек на эскалаторе находиться в покое относительно Земли, если эскалатор поднимается со скоростью v_1 = 1 м/с?

Рис. 9. движение на эскалаторе

Решение

1. В соответствии с принципом относительности Галилея, чтобы относительно неподвижной системы отсчёта связанной с Землёй (НСК) скорость объекта была равна нулю, объёкту необходимо двигаться в сторону противоположную движению подвижной системы координат (ПСК) связанной с лентой эскалатора с v = 1 м/с. В этом случае объект, спускающий вниз по движущемуся вверх полотну, будет восприниматься в НСК, как неподвижный.

---

10. Ускорение шайбы, соскальзывающей с гладкой наклонной плоскости, равно a = 1,2 м/с^2. На этом спуске её скорость увеличилась на Δv = 9 м/с. определить полное время спуска шайбы с наклонной плоскости.

Решение

1. Ускорение и изменение скорости связаны, по определению, отношением:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}; \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\Delta v}{a} = 7{,}5с;$$

---

11. Камень брошен с некоторой высоты вертикально вниз с начальной скоростью v_0 = 1 м/с. Какова скорость камня через τ = 0,6 с после броска?

Решение

1. Бросок вертикально вниз с начальной скоростью

$$v_\tau = v_0 + g\tau = 7\frac{м}{с};$$

---

12. Мотоциклист 4/7 пути проехал со скоростью v_1 = 108 км/ч, а оставшуюся часть – со скоростью v_2 = 15 м/с. Какова средняя скорость мотоциклиста на всём пути?

Решение

1. Переведём скорость v_1 = 30 м/с.
2. Запишем уравнение полного времени движения мотоциклиста

$$\tau = \frac{x}{<v>} = \frac{\frac{4}{7}x}{v_1} + \frac{\frac{3}{7}x}{v_2}; \quad \frac{1}{<v>} = \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}; \quad <v> = \frac{7v_1v_2}{4v_1 + 3v_2} = \frac{7 \cdot 450}{150} = 21\frac{м}{с};$$

---

13. Автомобиль, двигаясь по круговой траектории, половину длины окружности проехал сл скоростью v_1 = 60 км/ч, а вторую – ехал со скоростью v_2 = 40 км/ч. Чему равна средняя скорость автомобиля?

Решение

$$\tau = \frac{x}{<v>} = \frac{x}{2v_1} + \frac{x}{2v_2}; \quad \frac{1}{<v>} = \frac{1}{2v_1} + \frac{1}{2v_2}; \quad <v> = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 60}{100} = 48\frac{км}{ч};$$

---

14. Лодка должна попасть на противоположный берег реки по кратчайшему пути в системе отсчёта, связанной с берегом. Скорость течения реки u, а скорость лодки относительно воды v (v > u). Чему равен модуль скорости лодки относительно берега?

Решение

1. Из прямоугольного треугольника, построенного на векторах скоростей видно, что:

$$v^2 = v_1^2 + u^2,$$

где $\vec{v}$ – вектор абсолютной скорости катера относительно ПСК, связанной с водой, $\vec{u}$ – вектор скорости течения, $\vec{v}_1$ – вектор скорости лодки в НСК, связанной с берегом.

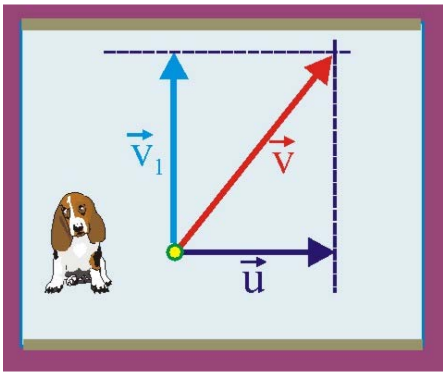


Рис. 14. Движение лодки

2. Модуль вектора скорости лодки относительно берега

$$|\vec{v}_1| = \sqrt{v^2 - u^2};$$

---

15. Шар, двигаясь из состояния покоя равноускоренно, за первую секунду движения прошёл путь 10 см. Какой путь в см шар пройдёт за 3 с движения?

Решение

1. Ускорение движения

$$x_1 = \frac{at_1^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad a = \frac{2x_1}{t_1^2} = 20\frac{см}{с^2};$$

2. Расстояние, пройденное шаром за время $\tau = 3$ с

$$x_\tau = \frac{a\tau^2}{2} = \frac{20\cdot 9}{2} = 90\ см.$$

---

16. По заданной зависимости скорости тела от времени определить характер движения и путь пройденный телом за 2 с.

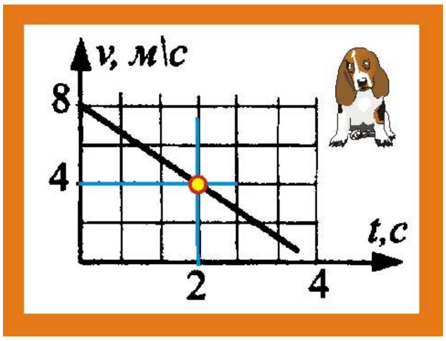


Рис. 16. Зависимость v =f(t)

Решение

1. Движение равнозамедленное, т.к. скорость линейно уменьшается во времени.

2. Модуль ускорения

$$|\vec{a}| = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{4}{2} = 2\frac{м}{с^2};$$

3. Путь пройденный за первые $\tau = 2$ с движения:

$$x_\tau = v_0\tau - \frac{a\tau^2}{2} = 8\cdot 2 - \frac{2\cdot 4}{2} = 12м.$$

---

17. На сколько при свободном падении тела из состояния покоя увеличится скорость за третью секунду движения?

Решение

1. При свободном падении с ускорением $g \cong 10$ м/с^2 за каждую секунду движения скорость увеличивается на $\Delta v = 10$ м/с.

---

18. Межпланетная космическая станция начинает свой полёт с начальной скоростью v_0 = 12 км/с, в конце первого миллиона километров космического путешествия ($s = 1\cdot 10^6$ км) её скорость вследствие действия гравитационной силы уменьшилась до v = 3 км/с. Считая движение равнозамедленным, найти величину ускорения.

Решение

1. Запишем систему кинематических уравнений движения

$$\left.\begin{aligned} v &= v_0 - at; \\ s &= v_0 t - \frac{at^2}{2}. \end{aligned}\right\}$$

2. Выразим из первого уравнения время и подставим полученное значение во второе уравнение системы

$$t = \frac{v_0 - v}{a}; \quad s = v_0\left(\frac{v_0 - v}{a}\right) - \frac{a}{2}\left(\frac{v_0 - v}{a}\right)^2.$$

3. Полученное уравнение имеет одну неизвестную величину, ускорение *a*, решение которого даёт

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s} = \frac{9 - 144}{2\cdot 10^6} = -6{,}75\cdot 10^{-5}\,\frac{км}{с^2} = -6{,}75\cdot 10^{-2}\,\frac{м}{с^2}.$$

---

19. Пассажир поезда, идущего со скоростью v_1 = 15 м/с, видит в окне встречный поезд длиной ℓ = 150 м в течение τ = 6 с. Какова скорость встречного поезда относительно пассажира?

Решение

1. Если подвижную систему координат (ПСК) связать с пассажиром то его относительно встречного поезда можно считать неподвижным, тогда в ПСК скорость встречного поезда определится как:

$$v = \frac{\ell}{\tau} = 25\,\frac{м}{с};$$

---

20. С балкона дома на высоте h = 5 м вверх бросили мяч со скоростью v_0 = 4 м/с. Какой будет скорость мяча через τ = 0,4 с?

Решение

1. Время подъёма мяча в верхнюю точку траектории

$$v_1 = v_0 - gt;\quad v_1 = 0;\quad t_1 = \frac{v_0}{g} = 0{,}4с.$$

2. Через τ = 0,4 с мяч будет менять направление своего движения, т.е. в этот момент времени скорость мяча равна нулю.

---

21. Автомобиль, трогаясь с места, движется прямолинейно с ускорение a = 3 м/с^2. Какова будет скорость автомобиля и модуль его перемещения через τ = 5 с?

Решение

1. Скорость и модуль перемещения автомобиля через время τ

$$v_\tau = a\tau = 15\,\frac{м}{с};\quad x_\tau = \frac{a\tau^2}{2} = 37{,}5м;$$

---

22. Камень, брошенный вертикально вверх со скоростью v_0 = 10 м/с упал на землю. Сколько времени τ камень находился в полёте, если силы сопротивления не оказывали влияние на его движение?

Решение

1. Время подъёма камня в верхнюю точку траектории:

$$v = v_0 - gt_1;\quad v = 0;\quad t_1 = \frac{v_0}{g} = 1с;$$

2. Время подъёма камея в верхнюю точку траектории и время свободного падения будет одинаковым, τ = 2 с.

---

23. Колесо равномерно вращается с угловой скоростью $\omega = 4\pi$ рад/с. За какое время τ колесо сделает N = 100 оборотов?

Решение

1. Период вращения колеса

$$\omega = \frac{2\pi}{T}; \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 0{,}5c;$$

2. Время, за которое совершается N оборотов

$$\tau = TN = 50c.$$

---

24. Расстояние между городами автомобиль проехал со скоростью v_1 = 60 км/ч, а обратный путь – со скоростью v_2 = 40 км/ч. Какова средняя скорость автомобиля?

Решение

1. Обозначим через s расстояние между городами, тогда:

$$\frac{s}{<v>} = \frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2}; \quad <v> = \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} = 48\frac{км}{ч};$$

---

25. Автомобиль подъезжает к перекрестку со скоростью v_1 = 23 м/с. К тому же перекрёстку по перпендикулярной дороге приближается мотоцикл со скоростью v = 41 м/с относительно автомобиля. Какова скорость мотоцикла u относительно Земли?

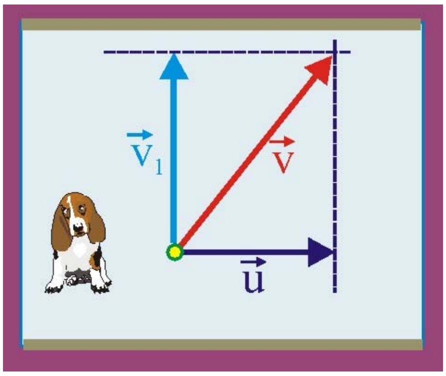


Рис.25. Автомобиль и мотоцикл

Решение

1. Подвижная система отсчёта связана с автомобилем, в этом случае вектор $\vec{v}$ относительной скорости мотоцикла будет являться гипотенузой прямоугольного треугольника

$$v^2 = u^2 + v_1^2;$$

$$v_1 = \sqrt{v^2 - u^2} = \sqrt{41^2 - 23^2} \cong 33{,}9\frac{м}{c};$$

---

26. Тело брошено под углом к горизонту. Как направлена скорость в точках A, B и C?

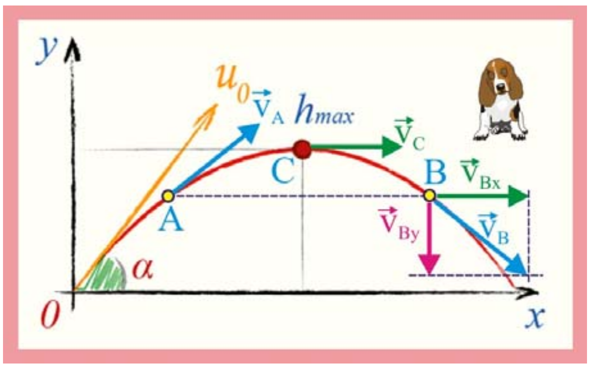


Рис. 26. Скорость тела, брошенного под углом α к горизонту

Решение

1. Вдоль оси Ox тело, брошенное под углом α к горизонту движется равномерно, поэтому проекция скорости тела на горизонтальную ось будет постоянной по модулю и направлению, причём:

$$v_x = u_0 \cos\alpha = const.$$

2. В точке C, $v_y = 0$, это точка максимального подъёма тела над горизонтом.

---

27. Как направлен вектор ускорения тела равномерно вращающегося по круговой траектории в горизонтальной плоскости?

Решение

1. только равномерное прямолинейное движение может протекать со скоростью, модуль и направление которой не изменяются во времени. Напомним, что скорость векторная величина и считается переменной, если изменяется модуль и направление, как вместе, так и по отдельности.

2. Для характеристики быстроты изменения вектора скорости $\vec{v}$ вводится специальная векторная величина – ускорение, обозначаемая буквой $\vec{a}$.

3. Ускорением называется вектор $\vec{a}$, численно равный первой производной по времени t от скорости $\vec{v}$ или второй производной по времени радиус-вектора по времени

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}, \left[\frac{м}{с^2}\right].$$

4. Вектор ускорения, так же как вектор скорости можно представить в координатной форме

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k},$$

при этом

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2};\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2};\quad a_z = \frac{dz}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}.$$

2. Если точка движется в плоскости, то вектор ускорения тоже располагается в этой плоскости. В отличие от вектора скорости, направление вектора ускорения определить в рамках кинематики невозможно, т.к. его направление зависит от системы действующих сил, которые в кинематике не рассматриваются. Однако направление вектора ускорения можно определить, используя особое его разложения по взаимно перпендикулярным направлениям (рис. 27.1).

3. Пусть точка движется по круговой траектории радиуса R с центром в точке O и занимает в начальный момент времени положение M. Совместим с начальным положением точки взаимно перпендикулярные базисные векторы $\vec{n}$ и $\vec{\tau}$, первый из них направлен перпендикулярно вектору скорости, а второй – совпадает с вектором скорости по направлению. В этом случае вектор ускорения можно разложить на две составляющие

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau,$$

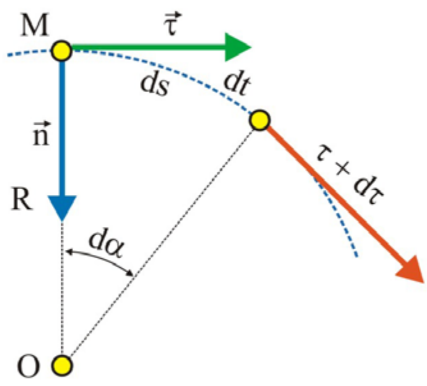


Рис. 27.1. Составляющие ускорения

векторная величина $\vec{a}_n = a_n\vec{n}$ называется нормальным ускорением, $\vec{a}_\tau = a_\tau\vec{\tau}$ – тангенциальное или касательное ускорение.

4. Нормальное (центростремительное) ускорение характеризует, как быстро меняется по направлению вектор скорости. Тангенциальное ускорение показывает быстроту изменения модуля скорости.

5. Рассмотрим бесконечно малое перемещение ds, произошедшее за промежуток времени dt, которому соответствует угловой поворот на $d\alpha$

$$d\alpha = \frac{ds}{R} = \frac{vdt}{R}.$$

6. Так как вектор скорости совпадает по направлению с базисным вектором $\vec{\tau}$, то уместно записать следующее соотношение: $\vec{v} = v\vec{\tau}$, следовательно

$$\vec{a} = \frac{d}{dt}(v\vec{\tau}) = \frac{dv}{dt}\vec{\tau} + v\frac{d\vec{\tau}}{dt}.$$

7. С другой стороны, изменение направления вектора $\vec{\tau}$ можно выразить через изменение угла поворота $d\alpha$

$$\frac{d\vec{\tau}}{dt} = \frac{d\alpha}{dt}\vec{n} = \frac{v}{R}\vec{n}.$$

8. Совместим далее уравнения

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt}\vec{\tau} + \frac{v^2}{R}\vec{n}.$$

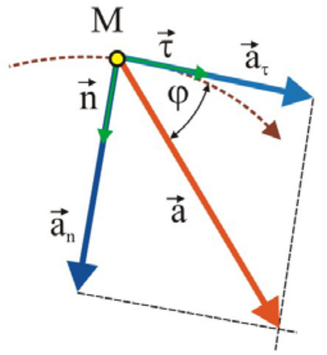


Рис. 27.2. Вектор ускорения

9. Из последнего уравнения, в частности, следует, что при ускоренном движении $(dv/dt) > 0$ вектор тангенциального ускорения совпадает с вектором скорости. При замедленном движении $(dv/dt) < 0$ вектор $\vec{a}_\tau$ противоположен по направлению вектору скорости.

10. Движение точки считается равнопеременным, если за равные промежутки времени модуль скорости изменяется на одинаковую величину, в этом случае $a_\tau = const$. Для равноускоренного движения характерно, что $a_\tau = const > 0$, для равнозамедленного – $a_\tau = const < 0$, при равномерном движении $a_\tau = 0$.

11. Модуль полного ускорения ввиду перпендикулярности составляющих определится очевидным соотношением

$$a = |\vec{a}| = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{R}\right)^2}.$$

12. Угол φ между вектором ускорения $\vec{a}$ и вектором $\vec{\tau}$ острый, что говорит об ускоренном движении. Если движение будет замедленным, то угол φ будет тупым.

13. Предлагаемый в задаче вариант движения по круговой траектории с постоянной по модулю скоростью характеризуется тем, что:

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = 0; \quad a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r.$$

---

28. После удара теннисный мячик массой m = 5 г получил ускорение a = 12 м/с^2. Какова сила удара?

Решение

1. Силу удара при заданных ускорении и массе тела можно получить на основании второго закона Ньютона

$$F = ma; \quad F = 5\cdot 10^{-3}\cdot 12 = 0{,}06\ Н;$$

---

29. Брусок массой m = 5 кг равномерно скользит по поверхности стола под действием силы F = 15 Н. Определить величину коэффициента трения скольжения между столом и бруском.

Решение

1. Равномерное перемещение по поверхности стола (a = 0) предполагает, что геометрическая сумма сил, действующих на брусок равна нулю. В проекции на горизонтальную ось это обстоятельство можно представить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^{i=n} F_x = 0; \quad F = \mu N = \mu mg; \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{F}{mg} = 0{,}3.$$

---

30. Две силы $F_1 = F_2 = 200$ Н приложены в одной точке, угол между линиями их действия $\alpha = 120^0$. Найти равнодействующую этих сил.

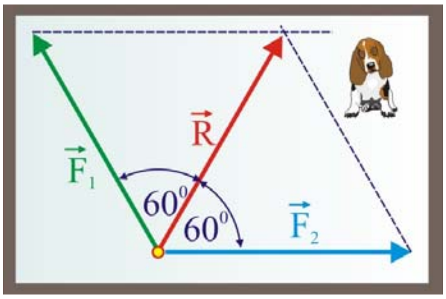


Рис. 30. Равнодействующая двух сил

Решение

1. Модуль геометрической суммы двух сходящихся сил определяется по правилу параллелограмма

$$\left|\vec{R}\right| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\left(120^0\right)};$$

$$\cos 120^0 = -0{,}5; \quad F_1 = F_2;$$

$$\left|\vec{R}\right| = \sqrt{2F^2 - F^2} = 200\ \text{Н};$$

---

31. С каким ускорением будет двигаться тело массой m = 1 кг под действием двух взаимно перпендикулярных сил $F_1 = 3$ Н, $F_2 = 4$ Н?

Решение

1. Модуль равнодействующей двух заданных сил

$$\left|\vec{R}\right| = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 5\,\text{Н};$$

2. Ускорение тела

$$\sum_{i=1}^{i=2} \vec{F}_i = m\vec{a}; \quad |\vec{a}| = \frac{R}{m} = 5\frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

---

32. С каким ускорением будет двигаться тело массой m = 20 кг под действием плоской системы трёх сходящихся сил с равными модулями $F_1 = F_2 = F_3 = 40$Н, если векторы сил направлены под углом 120^0 друг к другу?

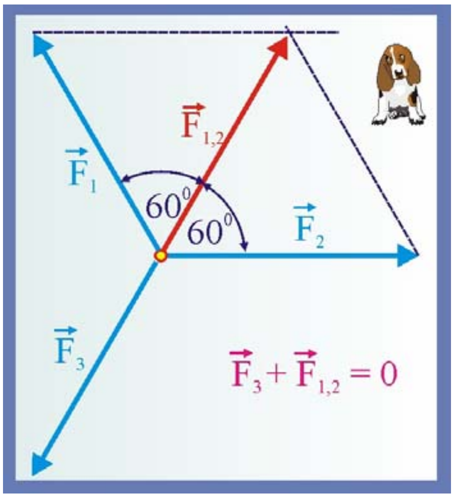


Рис. 32. Равнодействующая трёх сил

Решение

1. Для заданной системы трёх сил характерно, что геометрическая сумма двух сил рана третьей силе по модулю и направлена в противоположную сторону, другими словами,

$$\sum_{i=1}^{i=3} \vec{F}_i = 0; \quad \Rightarrow \quad \vec{a} = 0;$$

33. Под действием некоторой силы первое тело приобретает ускорение a. Под действием вдвое большей силы другое тело приобретает в 2 раза меньшее ускорение, чем первое тело. В каком отношении находятся массы тел?

Решение

1. На основании второго закона Ньютона составим систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} F &= m_1 a; \\ 2F &= m_2 \frac{a}{2}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{1}{4} = 0{,}25;$$

---

34. Задан график зависимости скорости тела массой m = 2 кг от времени. Найти модуль равнодействующей силы, действующей на тело.

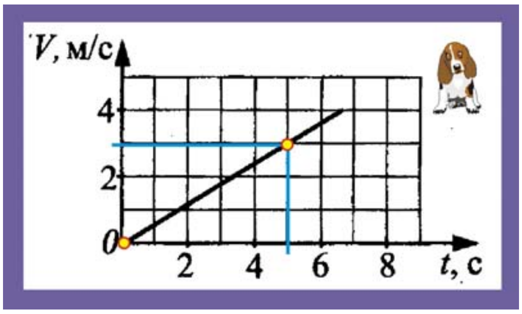


Рис. 34. Зависимость скорости от времени

Решение

1. По заданному графику определим модуль ускорения тела

$$|\vec{a}| = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{3}{5} = 0{,}6\frac{м}{с^2};$$

2. Модуль действующей силы

$$|\vec{F}| = ma = 1{,}2\ Н;$$

---

35. На одной чашке весов находится алюминиевая гиря, а на другой – свинцовая дробь. Весы уравновешены. Одинаковы ли объёмы гири и свинца?

Решение

1. Объём данной массы зависит от плотности вещества, и которого изготовлены тела

$$m = \rho V; \quad \left.\begin{aligned} m_{Al} &= \rho_{Al} V_{Al}; \\ m_{Pb} &= \rho_{Pb} V_{Pb}; \end{aligned}\right\} \quad m_{Al} = m_{Pb} \Rightarrow \frac{V_{Pb}}{V_{Al}} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Pb}} = \frac{2{,}7 \cdot 10^3}{11{,}3 \cdot 10^3} \cong 0{,}24;$$

---

36. Если вертикальная пружина изменила свою длину на Δx_1 = 6 см под действием груза массой m_1 = 4 кг, то как бы она растянулась под действием груза массой m_2 = 6 кг?

Решение

1. Условия равновесия сил тяжести грузов т сил упругости

$$\left.\begin{aligned} m_1 g &= k\Delta x_1; \\ m_2 g &= k\Delta x_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow k = \frac{m_1 g}{\Delta x_1} \cong 666{,}7\frac{Н}{м}; \quad \Delta x_2 = \frac{m_2 g}{k} \cong 0{,}09м;$$

---

37. Сила F_1 = 10 Н сообщает телу ускорение a_1 = 0,4 м/с^2. Какая сила сообщает этому же телу ускорение a_2 = 2 м/с^2?

Решение

1. На основании второго закона Ньютона можно записать следующую систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} F_1 = ma_1; \\ F_2 = ma_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}; \quad F_2 = \frac{F_1 a_2}{a_1} = 50H;$$

---

38. Некто массой m = 50 кг, скатившись с горы на санях, проехал по горизонтальной дороге x = 20 м за время τ = 10 с. Определить силу трения полозьев саней о снег.

Решение

1. Величина среднего ускорения саней

$$x = \frac{a\tau^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad a = \frac{2x}{\tau^2};$$

2. Считая силу трения единственной внешней силой, на основании второго закона Ньютона:

$$\left|F_{Tp}\right| = ma = \frac{2mx}{\tau^2} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 20}{100} = 20\ H;$$

---

39. Как будут отличаться силы трения скольжения, действующие на тело, движущееся по шероховатой горизонтальной плоскости и по этой же плоскости, но наклонённой под углом $\alpha = 30^0$ к горизонту?

Решение

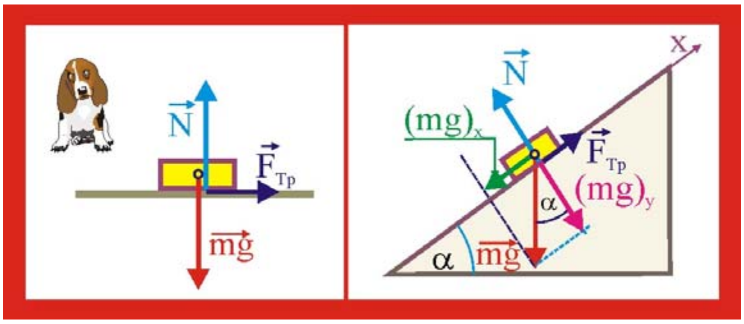


Рис. 39. Сравнение сил трения

1. На горизонтальной шероховатой плоскости сила трения определяется как:

$$\left|\vec{F}_{Tp}\right| = \mu N = \mu mg;$$

2. На шероховатой плоскости, наклонённой пол углом $\alpha = 30^0$ к горизонту:

$$\left|\vec{F}_{Tp}\right|_\alpha = \mu N = \mu mg \cdot \cos 30^0 \cong 0{,}87\mu mg;$$

3. Отношение сил трения

$$\frac{\left|\vec{F}_{Tp}\right|}{\left|\vec{F}_{Tp}\right|_\alpha} \cong 1{,}155;$$

---

40. После удара клюшкой шайба массой m = 0,15 кг скользит по ледяной площадке. Её скорость меняется во времени в соответствии с уравнением:

$$v(t) = 10 - 1{,}5t.$$

Чему равен коэффициент трения шайбы о лёд?

Решение

1. Ускорение шайбы

$$a = \frac{dv}{dt} = -1{,}5\,\frac{м}{с^2};$$

2. Второй закон Ньютона для скользящей под действием силы трения шайбы:

$$\mu m g = ma; \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{a}{g} = 0{,}15;$$

---

41. Автомобиль резко тормозит, блокируя колёса. Если коэффициент трения между шинами и дорогой μ = 0,5, а путь, пройденный автомобилем до остановки s = 40 м, то какую скорость имел автомобиль в момент начала торможения?

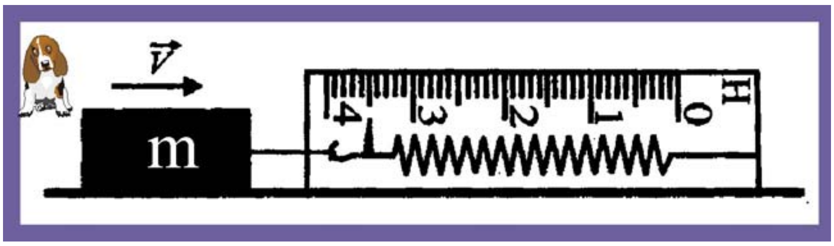
Решение

1. Кинетическая энергия автомобиля за время торможения на пути s расходуется на работу против силы трения

$$\frac{mv_0^2}{2} = \mu m g s; \quad \Rightarrow \quad v_0\sqrt{2\mu g s} = 20\,\frac{м}{с};$$

---

42. Изображён брусок массой m = 0,5 кг, который перемещают равномерно по шероховатой поверхности. Определить коэффициент трения между бруском и плоскостью.



Решение

1. При движении бруска с постоянной скоростью, в соответствии с законом инерции Галилея – Ньютона

$$\sum_{i=1}^{i=n}\vec{F}_i = 0; \quad \Rightarrow \quad \frac{d(m\vec{v})}{0}; \quad \left.\begin{matrix}\vec{v} = 0;\\ \vec{v} = const;\end{matrix}\right\} \quad \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad \vec{F} + \vec{F}_{Тр} = 0; \quad \mu m g = F; \quad \mu = \frac{F}{mg} = \frac{3{,}5}{5} = 0{,}7;$$

---

43. Как будет двигаться тело массой m = 5 кг под действием равнодействующей силы, равной F = 10Н?

Решение

1. Тело будет двигаться равноускоренно с ускорением

$$a = \frac{F}{m} = 2\,\frac{м}{с^2};$$

---

44. Чему равен вес автомобиля массой m = 1 т на середине вогнутого моста радиусом кривизны r = 10 м, если его скорость v = 10 м/с?

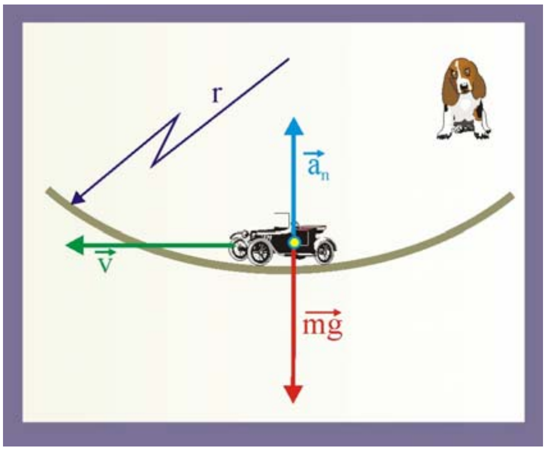


Рис. 44. Автомобиль на вогнутом мосту

Решение

1. Движение по криволинейной траектории даже с постоянной по модулю скоростью происходит с нормальным (центростремительным) ускорением a_n

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

2. Действие нормального ускорения приводит к появлению, так называемой, силы инерции. Эта сила не относится к ньютоновым силам, она является следствием возникновения нормального ускорения и направлена в строну противоположную нормальному ускорению.

3. Вес автомобиля, как реакция опоры будет равна:

$$P = m(g + a_n) = m\left(g + \frac{v^2}{r}\right) = 10^3\left(10 + \frac{100}{10}\right) = 2\cdot 10^4\,\text{Н};$$

---

45. Сравнить архимедовы силы, действующие на катер, плывущий по морю, и на тот же катер, плывущий по озеру.

Решение

1. Сила Архимеда числено равна весу вытесненной телом жидкости, который определяется в виде произведения платности жидкости на объём погруженной части тела. Плотность пресной жидкости $\rho_1 \cong 1\cdot 10^3$ кг/м^3, а морской воды за счёт растворённых там солей $\rho_2 \cong 1{,}04\cdot 10^3$ кг/м^3. Величина силы Архимеда в пресной и солёной воде

$$F_A = \rho_Ж g V_Т$$

не будет отличаться, потому что будут несколько несовпадающие погруженные объёмы катера.

---

46. Оценить силу давления воды на человека при погружении в море на глубину h = 10 м, если площадь поверхности тела человека примерно равна s = 0,72 м^2.

Решение

1. Давление столба воды на глубине 10м:

$$p = \rho g h = 10^3\cdot 10\cdot 10 = 1\cdot 10^5\,\text{Па};$$

2. Сила давления воды:

$$p = \frac{F}{s}; \quad \Rightarrow \quad F = ps = 7{,}2\cdot 10^4\,\text{Н};$$

---

47. Чему равно гидростатическое давление на стенку аквариума шириной 10 см и высотой 50 см?

Решение

1. Гидростатическое давление в данном случае определится как:

$$p = \rho g\frac{h}{2} = 10^3 \cdot 10 \cdot 0{,}25 = 2{,}5 \cdot 10^3\,\text{Па};$$

Берётся половина высоты столба воды, потому что на поверхности давление равно нулю, а на дне оно максимально.

---

48. С каким ускорением скользит брусок с гладкой плоскости, наклонённой под углом $\alpha = 45^0$ к горизонту?

Решение

1. Ускорение бруска будет равно проекции ускорения свободного падения на наклонную плоскость

$$a = g\sin\alpha = 10 \cdot 0{,}707 \cong 7{,}1\frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

---

49. С сортировочной горки скатываются два вагона – один нагруженный, а второй порожний. Сравнить расстояния, которые пройдут вагоны по горизонтальному участку дороги до полной остановки, если коэффициенты сопротивления у вагонов одинаковы.

Решение

1. Расстояния, проходимые вагонами, будут определяться их скоростями вначале горизонтального участка пути

$$x = v_0 t - \frac{at^2}{2};$$

а скорости у вагонов будут одинаковые, потому что:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh; \quad \Rightarrow \quad v_0 = \sqrt{2gh},$$

т.е. начальная скорость определяется только высотой горки и не зависит от массы вагона.

---

50. Коэффициент жёсткости невесомой пружины равен k = 50 Н/м. На какую величину растягивает пружину груз массой m = 3 кг?

Решение

1. При подвешивании к пружине груза имеет место равновесие между силой тяжести и силой упругости, подчиняющейся закону Гука

$$k\Delta x = mg; \quad \Rightarrow \quad \Delta x = \frac{mg}{k} = \frac{30}{50} = 0{,}6\text{м};$$

---

51. Тела массы m_1 и m_2 соединены пружиной жесткости k. На тело массы m_2 действует постоянная сила F, направленная вдоль пружины к телу массы m_1. Найдите, на сколько сжата пружина, если никаких других внешних сил нет, а колебания уже прекратились. Каким будет ускорение тел сразу же после прекращения действия силы F?

Решение

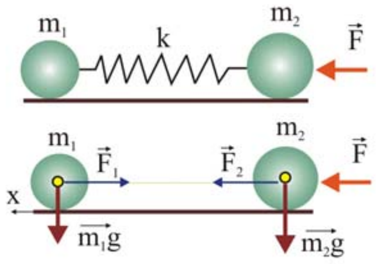


Рис. 51. Подпружиненные тела

1. Пружина в данной задаче является связью, которую можно заменить соответствующими реакциями связи F_1 и F_2, причём, эти силы, вызванные упругостью пружины, будут равны по модулю и противоположны по направлению.

2. Рассматривая далее тела как свободные, можно записать следующие уравнения

$$\left.\begin{aligned} -k\Delta x = m_1 a, \\ k\Delta x + F = m_2 a \end{aligned}\right\}, \quad \Rightarrow \quad \Delta x = \frac{Fm_1}{k(m_1 + m_2)}.$$

3. Для тел в отсутствии силы F уравнения второго закона Ньютона примут вид

$$-k\Delta x = m_1 a_1, \quad a_1 = -F/(m_1 + m_2),$$

$$k\Delta x = m_2 a_2, \quad a_2 = Fm_1/m_2(m_1 + m_2).$$

---

52. С какой скоростью двигался поезд массой m = 150 т, если под действием силы сопротивления F_R = 150 кН он прошёл с момента торможения до полной остановки s = 50 м?

Решение

1. Кинетическая энергия поезда с момента торможения расходуется на совершение работы против сил сопротивления:

$$\frac{mv^2}{2} = F_R s; \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2F_R s}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^5 \cdot 50}{1{,}5 \cdot 10^5}} = 10\,\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---

53. Парашютист спускается, двигаясь на некотором участке спуска равномерно и прямолинейно. Почему такой режим движения возможен?

Решение

1. Сила сопротивления при спуске на парашюте зависит от скорости движения

$$F_R = C_Y v^{\zeta},$$

где C_Y – коэффициент сопротивления формы, v – скорость спуска, ζ – перемиренный показатель степени, который тоже является функцией скорости.

2. После начала падения скорость парашютиста увеличивается, растёт и сила сопротивления, начиная с некоторой высоты, сила сопротивления по модулю становится равной силе тяжести, что собственно и обеспечивает равномерный спуск.

Рис. 53. Парашютист

54. В инерциальной системе отсчёта сила F сообщает телу массой *m* ускорение *a*. Как изменится ускорение, если массу тела в 2 раза увеличить, а действующую на него силу вдвое уменьшить?

Решение

1. На основании второго закона Ньютона составим систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} F &= ma_1; \\ \frac{F}{2} &= 2ma_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{a_1}{a_2} = 4;$$

---

55. Конькобежец, разогнавшись, въезжает на ледяную горку, наклонённую под углом $\alpha = 30^0$ к горизонту, и проезжает до полной остановки L = 10 м. Какова была начальная скорость конькобежца?

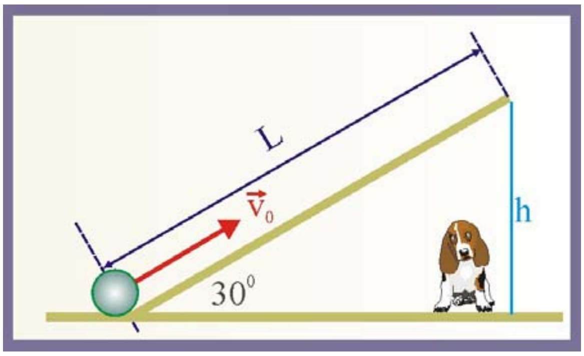


Рис.55. Подъём на ледяную горку

Решение

1. Высота подъёма конькобежца над уровнем горизонта

$$h = L\sin 30^0 = 5\text{м};$$

2. Скорость конькобежца в начале подъёма:

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh; \quad v_0 = \sqrt{2gh} = 10\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---

56. Некто поднимает себя вверх. Он принимается тянуть за веревку так, что сила его давления на пол люльки уменьшилась до 400 Н. Масса люльки 12 кг, масса гуманоида 72 кг. Чему равно ускорение люльки? Чему равна сила натяжения троса, на котором подвешен легкий блок?

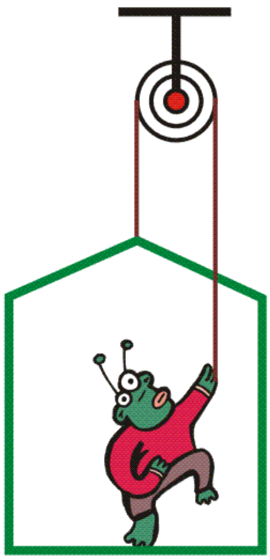


Рис. 56. Натяжение троса

Решение

1. Пусть масса гуманоида будет m_1, а масса люльки m_2, реакция опорной плоскости N. Уравнения второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось для существа и люльки примут вид

$$\left.\begin{aligned} m_1a &= T - m_1g + N, \\ m_2a &= T - m_2g - N. \end{aligned}\right\}$$

2. Ускорение проще всего найти, вычитая второе уравнение из первого

$$m_1a - m_2a = T - m_1g + N - T + m_2g + N,$$

$$a(m_1 - m_2) = 2N - (m_1 - m_2)g,$$

$$a = \frac{2N - (m_1 - m_2)g}{(m_1 - m_2)} = 3{,}3 \text{ м/с}^2.$$

3. Натяжение троса, на котором подвешена люлька, определим из системы

$$T = m_1(a + g) - N = 560 \text{ Н}.$$

4. Сила натяжения троса, на котором подвешен блок, будет равна удвоенному натяжению T

$$T_0 = 2T = 1120 \text{ Н}.$$

---

57. Чему равен модуль равнодействующей сил, приложенных к телу массой m = 2 кг, если зависимость его координат от времени имеет вид:

$$\left.\begin{aligned} x(t) &= 4t^2 + 5t - 2; \\ y(t) &= 3t^2 + 4t + 14? \end{aligned}\right\}$$

Решение

1. Проекции ускорения:

$$\left.\begin{aligned} v_x(t) &= \frac{dx}{dt} = 8t + 5; \\ y(t) &= \frac{dy}{dt} = 6t + 4; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \left.\begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = 8\frac{м}{с^2}; \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = 6\frac{м}{с^2}; \end{aligned}\right\}$$

2. Модуль ускорения

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{64 + 36} = 10\frac{м}{с^2};$$

3. Модуль равнодействующей силы:

$$F = ma = 20\ Н.$$

---

58. Для измерения массы космонавта на орбитальной станции используется подвижное сиденье известной массы m_0, прикрепленное к пружине. При одной и той же начальной деформации (сжатии) пружины пустое сиденье возвращается в исходное положение через время t_0, если же на сиденье находится космонавт – через время $t > t_0$. Какова масса космонавта?

Решение

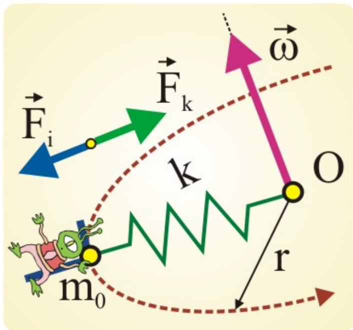


Рис. 58. «Взвешивание»

1. Предполагается, очевидно, что на орбитальной станции создаётся искусственное тяготение, путём ращения станции вокруг собственной оси с некоторой угловой скоростью ω. Если испытательное кресло соединено с пружиной, то по её деформации можно судить об исследуемой массе. При фиксированных значениях массы и частоты вращения станции состояние равновесия наступит при равенстве силы упругости силе инерции. В этом случае второй закон Ньютона для пустого кресла и кресла с космонавтом можно записать так:

$$\left.\begin{aligned} kx_1 &= k\frac{a_1 t_0^2}{2} = m_0 a_1, \\ kx_2 &= k\frac{a_2 t^2}{2} = (m_0 + m)a_2. \end{aligned}\right\}$$

2. После очевидных сокращений получим:

$$k\frac{t_0^2}{2} = m_0, \quad k\frac{t^2}{2} = (m_0 + m).$$

3. Деля уравнения друг на друга, и разрешая полученный результат относительно массы космонавта, придём к окончательному соотношению

$$m = m_0\left[\left(\frac{t_0}{t}\right)^2 - 1\right].$$

---

59. Если нажимать пальцем на шариковую ручку, опирающуюся на твердую поверхность, одновременно наклоняя ее, то, пока ручка образует малый угол с перпендикуляром к поверхности, она будет послушно следовать за пальцем руки. Как только угол наклона ручки превысит некоторое максимальное значение α_{max}, она выскользнет из-под пальца, как бы сильно или слабо ни нажимать на нее. Проведите эксперимент со своей ручкой и оцените коэффициент трения между шариком ручки и поверхностью, на которую она опирается.

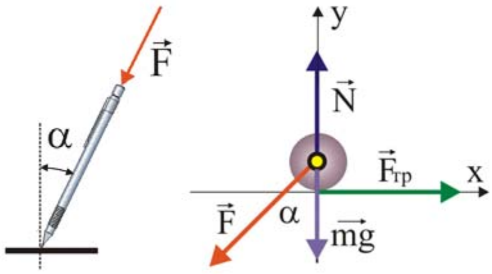


Рис. 59. Устойчивость шариковой ручки

Решение

1. Для анализа условий равновесия ручки рассмотрим шарик, к которому приложены все действующие силы и реакции связи. Будем полагать далее, что F >> mg, это позволит силу тяжести в дальнейших расчётах не учитывать. Сила трения в данном случае определится как

$$F_{тр} = \mu mg + \mu F\cos\alpha, \text{ или } F_{тр} \cong \mu F\cos\alpha .$$

2. Условие равновесия, в проекции на горизонтальную ось, примет вид

$$\mu F\cos\alpha \geq F\sin\alpha, \quad \Rightarrow \quad \mu = tg\alpha_{max} .$$

3. Как видно из уравнения, скольжение шарика по бумаге, зависит от угла наклона ручки и коэффициента трения. Если лист бумаги положить на ровную горизонтальную поверхность, то скольжение начинается при $\alpha \cong 20^0$, коэффициент трения при этом равен $\mu \cong 0{,}36$.

---

60. Ленточный подъемник образует угол α с горизонтом. С каким максимальным ускорением может подниматься ящик на таком подъемнике, если коэффициент трения равен μ? Лента не прогибается.

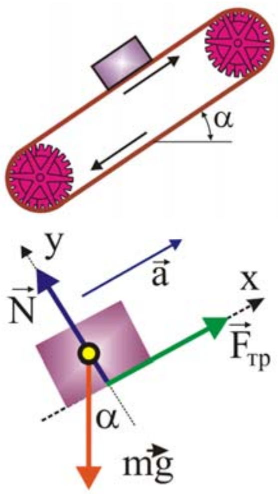


Рис. 60. Ленточный подъёмник

Решение

1. Отбросив наложенные на ящик связи, и заменив их реакциями, можно рассматривать его как свободное тело, способное перемещаться вдоль оси OX. Сила трения в данном случае направлена в сторону ускорения, т.е. против возможного перемещения ящика.

2. Уравнение второго закона Ньютона позволяет определить максимальное значение ускорения

$$\mu mg\cos\alpha - mg\sin\alpha \leq ma,$$

$$a \leq g(\mu\cos\alpha - \sin\alpha).$$

---

61. Тело массой m = 10 кг находится на гладкой наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30^0$ к горизонту. Какую силу, направленную вдоль поверхности, надо приложить к телу, чтобы оно находилось в равновесии?

Решение

1. Модуль прикладываемой силы для удержания тела на гладкой плоскости должен быть равен по модулю проекции силы тяжести на направление возможного перемещения

$$F = mg\sin\alpha = 0{,}5mg = 50 \text{ Н} ;$$

62. Тело массой m = 6 кг начинает двигаться из состояния покоя под действием постоянной силы. За первую секунду движения тело переместилось на x = 5 м. Определить величину этой силы.

Решение

1. Ускорение тела:

$$x = \frac{at^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad a = \frac{2x}{t^2};$$

2. Модуль силы, сообщающей телу такое ускорение:

$$F = ma = \frac{2mx}{t^2} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 5}{1} = 60\ \text{Н};$$

---

63. Масса легкового автомобиля m_1 = 2 т, грузового – m_2 = 8 т. Сравнить ускорение автомобилей, если сила тяги грузового автомобиля в 2 раза больше, чем легкового.

Решение

1. Второй закон Ньютона позволяет записать следующие уравнения:

$$\left.\begin{aligned} F &= m_1 a_1; \\ 2F &= m_2 a_2; \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{2} = \frac{2a_1}{8a_2}; \quad 4a_1 = 8a_2; \quad \frac{a_1}{a_2} = 2;$$

---

64. Два небесных тела притягиваются друг к другу с некоторой силой. Масса одного из тел в 1000 раз превосходит массу второго тела. Во сколько раз отличаются силы взаимодействия, приложенные к телам?

Решение

1. Взаимодействие между телами определяется законом гравитации Ньютона

$$\vec{F}_G = G\frac{m_1 m_2}{r^3}\vec{r},$$

в соответствии с уравнением которого модули сил взаимодействия, приложенных к телам одинаковы, а линии действия сил притяжения направлены по прямой, соединяющей центры масс тел

$$\left|\vec{F}_{1,2}\right| = \left|\vec{F}_{2,1}\right|.$$

---

65. Ели массы тел, которые можно считать материальными точками, уменьшить в два раза, а расстояния между ними увеличить в два раза, то как изменится сила взаимодействия между ними?

Решение

1. Закон гравитации Ньютона позволяет записать следующие соотношения:

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= G\frac{m_1 m_2}{r^2}; \\ F_2 &= G\frac{m_1 m_2}{4(2r)^2}; \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \frac{F_1}{F_2} = 16;$$

66. Два шара с массой 2M притягиваются друг к другу с силой F. Если с первого шара перенести половину массы на второй шар, не меняя расстояния между ними, то чему станет равна сила взаимодействия?

Решение

1. Пусть изначально каждый шар имеет массу M, тогда для сил гравитационного взаимодействия по закону Ньютона имеем:

$$\left.\begin{aligned} F_1 &= G\frac{M\cdot M}{r^2}; \\ F_2 &= G\frac{0{,}5M\cdot 1{,}5M}{r^2}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{0{,}75}; \quad F_2 = \frac{3}{4}F_1;$$

---

67. Первый автомобиль имеет массу m_1 = 1000 кг, второй – m_2 = 500 кг. Скорости их движения изменяются в соответствии с приведёнными графиками. Чему равно отношение их кинетических энергий в момент времени t_1?

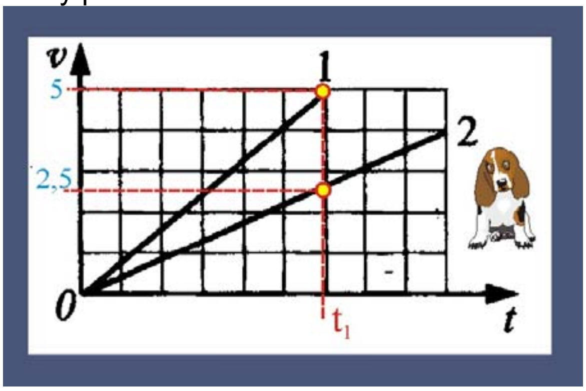


Рис. 67. Зависимость скорости от времени

Решение

1. Если скорость измерять в условных единицах, то из приведенных зависимостей видно, что

$$v_1 = 2v_2,$$

т.е. скорости автомобилей отличаются в два раза.

2. Отношение кинетических энергий автомобилей

$$K_1 = \frac{m_1v_1^2}{2}; \quad K_2 = \frac{m_2v_2^2}{2}; \quad \frac{K_1}{K_2} = \frac{1000\cdot v^2}{500\cdot\left(\frac{v}{2}\right)^2} = 8;$$

---

68. Два шара массой m каждый движутся перпендикулярно друг другу с одинаковыми скоростями. Чему равен их импульс после неупругого удара?

Решение

1. После неупругого удара массы шаров объединяются, и они движутся как одно целое. На основании закона сохранения импульса

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_0; \quad |\vec{p}_0| = \sqrt{(mv)^2 + (mv)^2} = mv\sqrt{2};$$

---

69. Груз массой m = 2 кг под действием силы F = 60 Н, направленной вертикально, поднимается на высоту h = 3 м. Чему равно изменение кинетической энергии груза?

Решение

1. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии:

$$K_2 - K_1 = A_{1\to 2} = (F - mg)h; \quad \Rightarrow \quad \Delta K = 120 \text{ Дж};$$

---

70. Камень брошен вертикально вверх с начальной скоростью v_0 = 10 м/с. На какой высоте h кинетическая энергия камня будет равна его потенциальной энергии?

Решение

1. Максимальная высота подъёма камня, когда вся кинетическая энергия превратится в потенциальную энергию

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh_{max}; \quad h_{max} = \frac{v_0^2}{2g};$$

2. Кинетическая энергия наполовину преобразуется в потенциальную энергию на высоте в два раза меньшей h_{max}

$$h = \frac{h_{max}}{2} = \frac{v_0^2}{4g} = 2{,}5 \text{ м};$$

---

71. Движение материальной точки описывается уравнением:

$$x(t) = 5 - 8t + 4t^2.$$

Приняв массу точки равной m = 2 кг, определить импульс точки за τ = 2 с.

Решение

1. Скорость материальной точки, как функция времени

$$v_x(t) = \frac{dx}{dt} = -8 + 8t = 8t - 8.$$

2. Импульс точки в указанное время τ

$$p_\tau = mv_\tau = 2 \cdot 8 = 16\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}};$$

---

72. Какую работу надо совершить, чтобы лежащий на земле однородный стержень длиной L = 2 м и массой m = 10 кг поставить вертикально?

Решение

1. Работа по переворачиванию стержня численно будет равна изменению его потенциальной энергии, связанному с изменением положения центра масс. Центр масс при вертикальном положении однородного стержня поднимается над уровнем земли (его целесообразно принять за нулевой уровень потенциальной энергии) на расстояние L/2, поэтому:

$$A = mg\frac{L}{2} = 100 \text{ Дж};$$

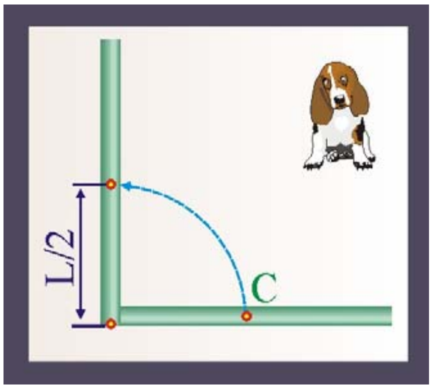


Рис. 72. Центр масс стержня

---

73. Определить полезную мощность двигателя, если его КПД η = 0,4, а мощность по техническому паспорту N = 100 кВт.

Решение

$$N_P = \eta N = 40 \text{ кВт}.$$

---

74. Закреплённый пружинный пистолет стреляет вертикально вверх. Какова жёсткость пружины пистолетика k, если пуля массой m в результате выстрела поднялась на высоту h, а первоначальная деформация пружины Δx?

Решение

1. Запасённая в пружине потенциальная энергия при выстреле трансформируется в кинетическую энергию пули, которая в процессе вертикального движения преобразуется в потенциальную энергию. Без учёта потерь на сопротивление закон сохранения энергии в данном случае можно записать следующим образом:

$$\frac{k\Delta x^2}{2} = mgh; \quad \Rightarrow \quad k = \frac{2mgh}{\Delta x^2};$$

---

75. На покоящееся тело массой m = 2 кг начала действовать сила. Каким должен быть импульс этой силы, чтобы скорость тела возросла до v = 5 м/с?

Решение

1. На основании второго закона Ньютона:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}; \quad \vec{F}dt = d(m\vec{v}); \quad \vec{F}\int\limits_{t_1}^{t_2} dt = \int\limits_{v_1}^{v_2} d(m\vec{v});$$

$$\vec{F}\Delta t = \Delta m\vec{v}; \quad F\Delta t = mv = 10\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} = 10\ \text{Н} \cdot \text{с};$$

---

76. Игрок в керлинг скользит с битой со скоростью v_1 = 4 м/с. В некоторый момент времени он аккуратно толкает биту в направлении движения. Скорость биты возрастает до v_2 = 6 м/с. Масса биты m_1 = 20 кг, а игрока – m_2 = 80 кг. Какова скорость игрока после толчка?

Решение

1. Изменение импульса биты после аккуратного толчка

$$\Delta p_1 = m_1\Delta v = 20 \cdot 2 = 40\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}};$$

2. Изменение импульса игрока после аккуратного толчка

$$\Delta p_2 = p_2 - \Delta p_1 = m_2 v_1 - m_1(v_2 - v_1);$$

3. Скорость игрока сразу после аккуратного толчка биты:

$$u = \frac{\Delta p_2}{m_2} = \frac{m_2 v_1 - m_1(v_2 - v_1)}{m_2} = v_1 - \frac{m_1}{m_2}(v_2 - v_1) = 4 - 0{,}25 \cdot 2 = 3{,}5\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---

77. Два шара с одинаковыми массами m двигались навстречу друг другу с одинаковыми скоростями v . После неупругого удара оба шара остановились. Чему равно изменение суммы импульсов этих шаров в результате столкновения?

Решение

1. В соответствии с законом сохранения импульса:

$$\Delta p_1 = -\Delta p_2; \quad \Delta p_\Sigma = \Delta p_1 + \Delta p_2 = mv + (-mv) = 0;$$

---

78. Два шара с одинаковыми массами m двигались навстречу друг другу с одинаковыми скоростями v. После неупругого соударения шары остановились. Каково изменение механической энергии системы из двух шаров в результате столкновения?

Решение

1. До соударения шары обладали суммарной кинетической энергией

$$K_{\Sigma(1)} = K_1 + K_2 = \frac{2mv^2}{2} = mv^2;$$

2. После соударения шары останавливаются, поэтому $K_{\Sigma(2)} = 0$, следовательно, изменение кинетической энергии составит

$$\Delta K = K_{\Sigma(1)} - K_{\Sigma(2)} = mv^2;$$

---

79. Частица массы m движется со скоростью v, а частица массы 2m движется со скоростью 2v в направлении, перпендикулярном направлению движения первой частицы. На, каждую частицу начинают действовать одинаковые силы. После прекращения действия сил первая частица движется со скоростью 2v направлении, обратном первоначальному. Определите скорость второй частицы.

Решение

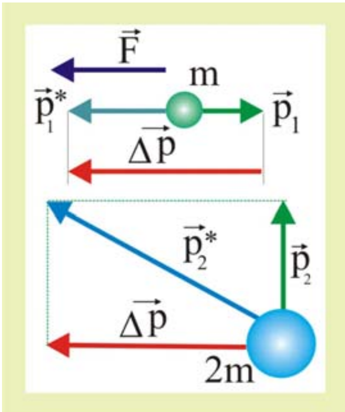


Рис. 79. Импульсы частиц

1. Определим изменение импульса первого тела в результате действия постоянной силы

$$\Delta p = p_1^* - p_1,$$

где $p_1 = -mv$, $p_1^* = 2mv$. Таким образом,

$$\Delta p = 2mv - (-mv) = 3mv.$$

2. Поскольку на второе тело массой 2m, движущееся со скоростью 2v действует такая же сила, как и на первое тело, а движется оно перпендикулярно первому телу, то импульс второго тела представится следующим образом

$$p_2^* = \sqrt{p_2^2 + \Delta p^2} = \sqrt{(2m \cdot 2v)^2 + (3mv)^2} = 5mv.$$

3. Скорость второго тела после действия силы определится так

$$p_2^* = 2mv_2^* = 5mv, \quad \Rightarrow \quad v_2^* = \frac{5}{2}v.$$

---

80. Космический корабль должен, изменив курс, двигаться с прежним по модулю импульсом p под углом α к первоначальному направлению. На какое наименьшее время нужно включить двигатель с силой тяги F?

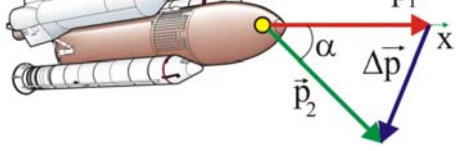


Рис. 80. Изменение курса

Решение

1. По условию задачи импульс космического корабля при манёвре не меняется по модулю, т.е.

$$|\vec{p}_1| = |\vec{p}_2| = p.$$

2. Изменение импульса определится равенством

$$\left|\Delta\vec{p}\right| = \sqrt{p^2 + p^2 - 2p^2\cos\alpha} = \sqrt{2p^2(1-\cos\alpha)},$$

или

$$\left|\Delta\vec{p}\right| = 2p\sqrt{\frac{1}{2}(1-\cos\alpha)} = 2p\sin\frac{\alpha}{2}.$$

3. С другой стороны, изменение импульса корабля, в соответствии с теоремой об изменении импульса, равно импульсу действующей силы

$$\Delta p = F\Delta t, \quad \Rightarrow \quad \Delta t = \frac{\Delta p}{F},$$

после подстановки значения Δp, окончательно получаем

$$\Delta t = \frac{2p\sin(\alpha/2)}{F}.$$

---

81. На тело массой m = 2 кг, движущееся со скоростью v_1 = 1 м/с, начала действовать постоянная сила. Каким должен быть импульс этой силы, чтобы скорость тела возросла до v_2 = 6 м/с?

Решение

1. На основании второго закона Ньютона:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}; \quad \vec{S}_F = \vec{F}dt = d(m\vec{v}); \quad \vec{F}\int_{t_1}^{t_2} dt = \int_{v_1}^{v_2} d(m\vec{v});$$

$$S_F = m(v_2 - v_1) = 10\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}};$$

---

82. Мальчик везёт санки с постоянной скоростью. Сила трения полозьев санок о снег равна $F_{Тр}$ = 30 Н. При перемещении санок была совершена работа A = 30 Дж. Определить пройденный путь.

Решение

1. В данном случае работа совершается против силы трения, если, конечно не учитывать иные причины торможения санок, поэтому:

$$A = F_{Тр}r; \quad \Rightarrow \quad r = \frac{A}{F_{Тр}} = 1\ \text{м}.$$

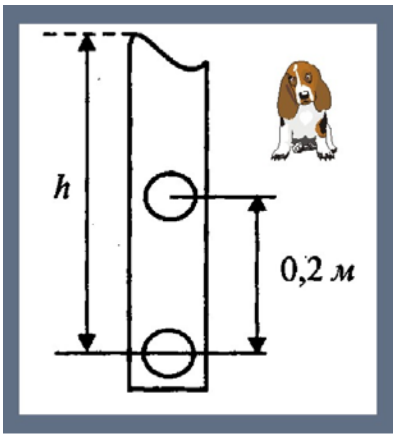


Рис. 83. Движение тела

83. Задано положение тела, брошенного вертикально вверх, через интервал времени τ = 1/30 с. Масса тела m = 0,1 кг. Оценить, пользуясь законом сохранения энергии, высоту, на которую поднимется тело.

Решение

1. Кинематическое уравнение вертикального подъёма тела

$$\Delta h = v_0\tau - \frac{g\tau^2}{2}; \quad v_0 = \frac{1}{\tau}\left(\Delta h + \frac{g\tau^2}{2}\right);$$

$$v_0 = \frac{1}{0,0333}\left(0,2 + \frac{10\cdot(0,0333)^2}{2}\right) \cong 6,3\frac{м}{с};$$

2. Высота подъёма тела

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh; \quad \Rightarrow \quad h = \frac{v_0^2}{2g} \cong \frac{40}{20} \cong 2\ м;$$

---

84. При открывании двери пружину жёсткостью k = 50 кН/м растягивают на Δx = 10 см. Какую работу совершает пружина, закрывая дверь?

Решение

1. Работа при закрывании двери совершается за счёт потенциальной энергии, накопленной пружиной при её растяжении

$$A = \frac{k\Delta x^2}{2} = \frac{5\cdot 10^4\cdot 0,01}{2} = 250\ Дж;$$

---

85. Вагон массой m_1= 20 т, движущийся со скоростью v_1= 0,3 м/с, догоняет вагон массой m_2 = 30 т, движущийся со скоростью v_2 = 0,2 м/с. определить скорость вагонов после взаимодействия при условии неупругого удара.

Решение

1. В соответствии с законом сохранения импульса:

$$m_1v_1 + m_2v_2 = (m_1 + m_2)u; \quad u = \frac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2} = \frac{12}{50} = 0,24\frac{м}{с};$$

---

86. Пуля массой m = 10 г попадает в деревянный брусок, лежащий на гладкой поверхности, и застревает в нём. Брусок приобретает скорость v_1 = 8 м/с. Определить скорость пули до попадания в брусок, если масса бруска в 49 раз больше массы бруска.

Решение

1. Импульс пули по закону сохранения должен быть равен импульсу бруска с застрявшей в нём пулей

$$mv_0 = (m + 49m)v_1; \quad v_0 = 50v_1 = 400\frac{м}{с};$$

---

87. Спортсмен поднимает гирю массой m = 16 кг, на высоту h = 2 м, затрачивая на это τ = 0,8 с. Какую мощность развивает физкультурник?

Решение

1. Мощность можно рассматривать как энергию, выделенную в единицу времени:

$$N = \frac{dE}{dt}; \quad \langle N \rangle = \frac{mgh}{\tau} = \frac{16\cdot 10\cdot 2}{0,8} = 400 Вт;$$

---

88. Тело массой m = 100 г движется по круговой траектории со скоростью v = 0,4 м/с. Определить модуль изменения импульса за половину периода.

Решение

1. Через половину периода модуль импульса сохраниться, а направлен он будет в противоположную сторону, поэтому модуль изменение импульса будет равен:

$$\left|\Delta\vec{p}\right| = 2mv = 2\cdot 0{,}1\cdot 0{,}4 = 0{,}08\frac{кг\cdot м}{с};$$

---

89. Как изменится потенциальная энергия пружины, если уменьшить её растяжение в 3 раза?

Решение

1. Сравним потенциальные энергии пружины:

$$\left.\begin{aligned} П_1 &= \frac{k\Delta x^2}{2}; \\ П_2 &= \frac{k\left(\dfrac{\Delta x}{3}\right)^2}{2}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{П_1}{П_2} = 9;$$

---

90. Как изменится импульс тела при увеличении его кинетической энергии в два раза?

Решение

1. При увеличении кинетической энергии в два раза скорость тела возрастёт в $\sqrt{2}$ раз, следовательно, и импульс увеличится в $\sqrt{2}$ раз.

---

91. Приведен график волнового процесса. Волна распространяется вдоль оси *OX* со скоростью v = 8 м/с. Чему равен период колебаний.

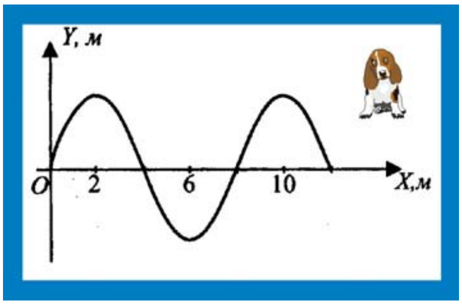


Рис. 91. Волновой процесс

Решение

1. Из графика видно, что за время одного периода волновой фронт распространяется на расстояние x_T = 8 м, поэтому величина периода определится как:

$$T = \frac{x_T}{v} = 1\,с;$$

---

92. Найти массу груза, который на пружине жёсткостью k = 250 Н/м делает N = 20 колебаний за время τ = 16 с.

Решение

1. Уравнение периода колебаний позволяет определить массу тела:

$$T = \frac{\tau}{N} = 0{,}8с;\quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}};\quad \Rightarrow\quad m = \frac{T^2k}{4\pi^2} = \frac{0{,}64\cdot 250}{40} = 4\,кг;$$

---

93. Груз, подвешенный на пружине жёсткостью k = 600 Н/м, совершает гармонические колебания. Какой должна быть жёсткость пружины, чтобы частота колебаний уменьшилась в два раза?

Решение

1. Сравним частоты собственных колебаний груза на пружинах разной жёсткости:

$$\left.\begin{aligned} \nu &= \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_1}{m}}; \\ \frac{\nu}{2} &= \frac{1}{4\pi}\sqrt{\frac{k_2}{m}}; \end{aligned}\right\} \quad \left.\begin{aligned} 1 &= \sqrt{k_1}; \\ \frac{1}{2} &= \sqrt{k_2}; \end{aligned}\right\} \quad k_2 = \frac{k_1}{4} = 150\,\frac{\text{Н}}{\text{м}};$$

---

94. Пружинный маятник массой m = 0,16 кг совершает гармонические колебания. Какой должна стать масса этого маятника, чтобы период колебаний увеличился в два раза?

Решение

1. Сравним уравнения периодов колебаний маятников с различной массой:

$$\left.\begin{aligned} T &= 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k}}; \\ 2T &= 2\pi\sqrt{\frac{m_2}{k}}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{1}{2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}; \quad m_2 = 4m_1 = 0{,}64\ \text{кг}.$$

---

95. Как изменится период колебаний математического маятника, если длину нити увеличить в 4 раза, а массу уменьшить в 4 раза.

Решение

1. Галилеем был установлен закон изохронности колебаний математического маятника, в соответствии с которым период колебаний математического маятника не зависит от его массы, а определяется длиной нити подвеса и величиной ускорения свободного падения

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}},$$

при увеличении длины подвеса в 4 раза период колебаний увеличится в 2 раза.

---

96. Некто несёт на коромысле вёдра с водой, период собственных колебаний которых равен T = 1,6 с. При какой скорости движения водоноса вода начнёт особенно сильно выплёскиваться из вёдер, если длина его шага Δx = 0,6 м.

Решение

1. Увеличение амплитуды колебаний имеет место при совпадении частоты собственных колебаний с частотой возбуждающей внешней силы, т.е. кода водонос будет делать шаг в течение периода собственных колебаний

$$v = \frac{\Delta x}{T} = 0{,}375\,\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---

97. Рыболов заметил, что за время τ = 10 с поплавок совершил на волнах N = 20 полных колебаний, а расстояние между соседними гребнями λ = 1,2 м. Какова скорость распространения волны?

Решение

1. Период колебательного процесса:

$$T = \frac{\tau}{N} = 0{,}5\ \text{с}.$$

2. В течение периода колебаний волновой фронт распространяется на длину волны λ, поэтому фазовая скорость волны определится как:

$$v = \frac{\lambda}{T} = 2{,}4\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---

98. По поверхности жидкости распространяется волна со скоростью v = 2,4 м/с при частоте колебаний ν = 2 Гц. Какова разность фаз для точек, лежащих на одном луче и отстоящих друг от друга на расстоянии Δx = 90 см?

Решение

1. Определим длину волны:

$$T = \frac{1}{\nu} = 0{,}5\ \text{с}; \quad \lambda = vT = 1{,}2\ \text{м};$$

2. Длина волны соответствует изменению фазы колебаний на 2π, поэтому искомую разность фаз определим из пропорции:

$$\left.\begin{array}{l}\lambda \Leftrightarrow 2\pi; \\ \Delta x \Leftrightarrow \Delta\varphi;\end{array}\right\} \Rightarrow \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi\cdot\Delta x}{\lambda} = 1{,}5\pi;$$

---

99. Приведен график колебаний одной из точек струны. Какова частота этих колебаний?

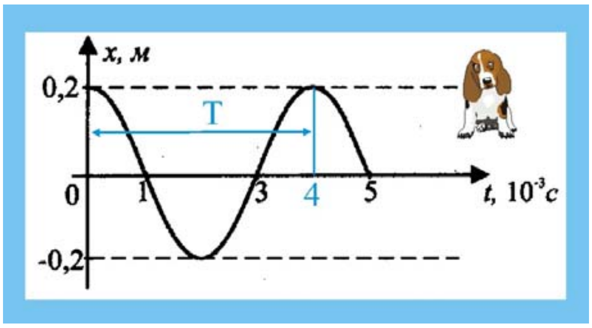


Рис. 99. Колебания струны

Решение

1. В течение периода колебания распространяются на длину волны, по заданному графику видно, что $T = 4\cdot 10^{-3}$ с, следовательно частота колебаний струны определится как:

$$\nu = \frac{1}{T} = 250\ \text{Гц};$$

---

100. Задано уравнение плоской бегущей волны

$$\xi(x,t) = 5\cdot 10^{-3}\cos(628t - 2x),$$

найти частоту колебаний частиц среды ν, длину волны λ, фазовую скорость распространения волны v_f, амплитудное значение скорости $\dot{\xi}_m$ и ускорения $\ddot{\xi}_m$.

Решение

1. Циклическая частота колебаний частичек среды при распространении заданной волны $\omega = 628\ c^{-1}$, при этом частота определится как

$$\nu = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628}{6{,}28} = 100\ Гц.$$

2. Длину волны λ определим из уравнения волнового числа k, при условии, что $k = 2\ м^{-1}$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{2\pi}{k} = 3{,}14\ м.$$

3. Фазовая скорость распространения волны

$$v_f = \lambda\nu = 314\ м/c.$$

4. Амплитудное значение скорости колеблющихся частиц

$$\dot{\xi}(t) = \frac{d\xi}{dt} = -\omega\xi_m \sin\omega; \quad \dot{\xi}_m = -\omega\xi_m = 628\cdot 5\cdot 10^{-3} = 3{,}14\frac{м}{c}.$$

5. Амплитудное значение ускорения

$$\ddot{\xi}_m = \frac{d^2\xi_m}{dt^2} = -\omega^2\xi_m = 1{,}97\cdot 10^3\frac{м}{c^2}.$$

---

101. Амплитуда колебаний математического маятника A = 10 см. Наибольшая скорость груза маятника v_m = 0,5 м/с. Определить длину маятника, если ускорение свободного падения g = 10 м/с^2.

Решение

1. Расстояние A груз маятника проходит при гармонических колебаниях за четверть периода, поэтому

$$T = 4\frac{A}{v_m} = 0{,}8\ c;$$

2. Уравнение периода колебаний математического маятника позволяет в данных обстоятельствах определить его длину подвеса:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}; \quad \Rightarrow \quad \ell = \frac{T^2 g}{4\pi^2} \cong \frac{0{,}64\cdot 10}{40} \cong 0{,}16\ м;$$

---

102. Шарик массой m закреплён между двумя пружинами, обладающими жёсткостью k_1 и k_2, соответственно. Найти циклическую частоту колебаний шарика. Как изменится частота, если пружины поменять местами?

Решение

1. Колебательная система состоит из массы m и двух параллельно соединённых пружин, изменение размеров которых будет при колебаниях одинаковым, величина сжатия одной пружины будет равна величине растяжения другой пружине. Эквивалентный коэффициент упругости определится в виде суммы коэффициентов жёсткости

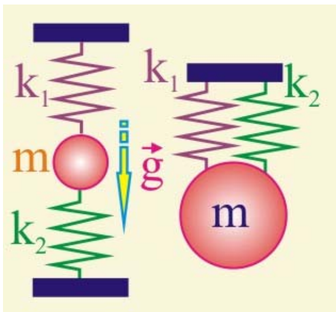


Рис. 102. Параллельные пружины

$$F_1 = k_1 x, \quad F_2 = k_2 x, \quad F = F_1 + F_2 = x(k_1 + k_2),$$
$$kx = x(k_1 + k_2), \Rightarrow k = k_1 + k_2 .$$

2. Циклическая частота колебаний шарика

$$\omega = \sqrt{\frac{k_1 + k_2}{m}};$$

3. Циклическая частота при перемене пружин местами не изменится, изменится только положение статического равновесия шарика.

---

103. Маятник при свободных колебаниях отклонился в крайнее положение N = 15 раз за τ = 1 мин. Какова частота колебаний?

Решение

1. Крайнего положения груз маятника достигает в течение одного периода, поэтому:

$$T = \frac{\tau}{N} \cong 4\ \text{с}; \quad \nu = \frac{1}{T} \cong 0{,}25\ \text{Гц};$$

---

104. При свободных колебаниях пружинного маятника максимальное значение его потенциальной энергии П = 10 Дж, максимальное значение кинетической энергии К = 10 Дж. Какова полная энергия груза и пружины?

Решение

1. При колебаниях пружинного маятника проявляются два класса сил: гравитационные и упругие. И те и другие относятся к консервативным силам, для которых справедлив закон сохранения механической энергии

$$К + П = \text{const};$$

2. Когда кинетическая энергия груза максимальна, потенциальная энергия пружины равна нулю, и наоборот. Другими словами,

$$E_\Sigma = K_{max} = П_{max} = \frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{k\Delta x_{max}^2}{2} = 10\ \text{Дж};$$

---

105. Период колебаний математического маятника T = 24 с, начальная фаза φ_0 = 0. Через какое время после начала колебаний смещение тела от положения равновесия будет равно половине амплитуды?

Решение

1. Время, соответствующее половине амплитуды найдём из уравнения гармонических колебаний

$$x(t) = A\sin\frac{2\pi}{T}t; \quad \frac{A}{2} = A\sin\frac{2\pi}{T}t; \quad \sin\frac{2\pi}{T}t = \frac{1}{2}; \quad \frac{2\pi}{T}t = \frac{\pi}{6}; \quad t = \frac{T}{12} = 2\text{с};$$

---

106. Как изменится частота колебаний пружинного маятника, если к подвешенному грузу массой m = 100 г добавить три таких же груза?

Решение

1. Система из уравнений частот пружинного маятника

$$\left.\begin{aligned}\nu_1 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{m}{k}};\\ \nu_2 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{4m}{k}};\end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \nu_2 = \frac{\nu_1}{2};$$

---

107. Маятник длиной ℓ = 1 м совершил N = 60 колебаний за время τ = 2 мин. Оценить по этим данным ускорение свободного падения.

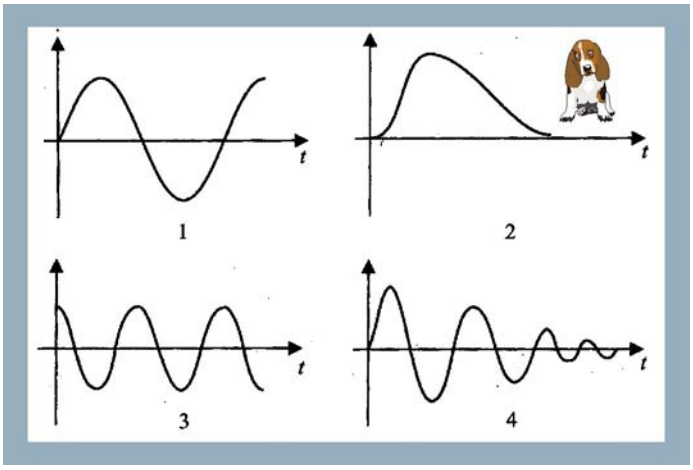
Решение

1. Период колебаний математического маятника

$$T = \frac{\tau}{N} = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}; \quad \Rightarrow \quad g = \frac{4\pi^2 N^2 \ell}{\tau^2} \cong 9{,}87\,\frac{м}{c^2};$$

---

108. Груз, подвешенный на длинной тонкой нити, совершает свободные колебания. На каком из графиков верно показана зависимость координаты груза от времени?



Решение

1. Если затухания отсутствуют, го верен график №3, а если присутствуют, то возможен и вариант №4, хотя если математический маятник в воздухе, то маловероятно, а вот, если в жидкости – то вполне.

---

109. Тело совершает гармонические колебания по закону

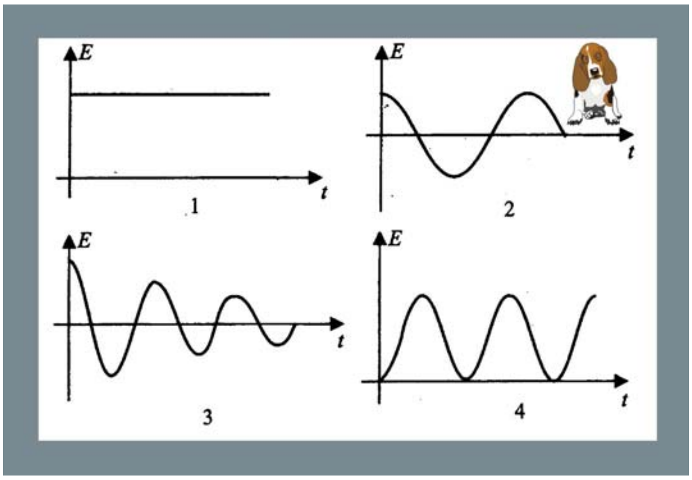
$$x(t) = 6\cos(4t - \pi/4);$$

На каком из графиков верно показана зависимость полной энергии тела от времени?

Решение

1. При гармонических незатухающих колебаниях справедлив закон сохранения энергии

$$K + П = const; \quad \Rightarrow \quad K_{max} = П_{max} \neq f(t);$$



2. Исходя из постоянства полной механической энергии системы, верным является график №1.

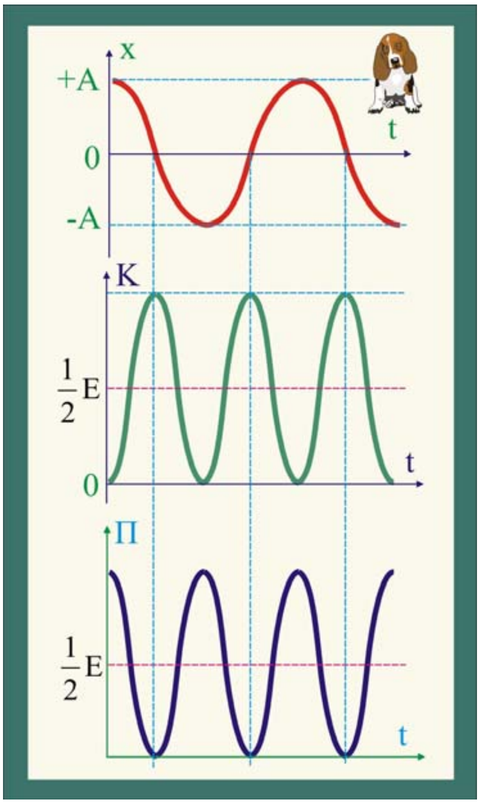


Рис. 110. Зависимость механической энергии от времени при гармонических колебаниях

110. Тело массой m = 1 кг совершает гармонические колебания по закону

$$x(t) = 6\cos(4t - \pi/4).$$

Определить полную энергию тела в процессе колебаний.

Решение

1. Определим максимальное (амплитудное) значение кинетической энергии заданной колебательной системы, для чего найдём максимальное значение скорости процесса

$$v_x(t) = \frac{dx}{dt} = -24\sin\left(4t - \frac{\pi}{4}\right);$$

$$|\vec{v}_{x(max)}| = 24\frac{м}{с};$$

$$K_{max} = \frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{1\cdot 576}{2} = 288 \text{ Дж};$$

2. Существенно отметить, что механическая энергия, как потенциальная, так и кинетическая изменяются во времени с двойной частотой, по сравнению со смещением.

---

2. Молекулярная физика

111. В каком состоянии находится вещество, в котором расстояние между молекулами много больше размеров самих молекул и они быстро распространяются по всему предоставленному объёму?

Решение

1. Многие из известных веществ, в зависимости от внешних условий, могут находиться в четырёх агрегатных состояниях твёрдом, жидком, газообразном и плазменном (рис. 111). В физике принято особенности строения и состояния веществ характеризовать отношением средней величины кинетической энергии поступательного движения молекул к величине их потенциальной энергии.

2. Для газов такое отношение на много меньше единицы, для твёрдых тел – на много больше единицы, а для жидкостей соотношение между энергиями близко к единице

$$\langle\varepsilon_{\text{Пост.}}\rangle >> U(r_0) - \text{для газа}, \quad \langle\varepsilon_{\text{Пост.}}\rangle << U(r_0) - \text{для твёрдого тела}, \quad \langle\varepsilon_{\text{Пост.}}\rangle \approx U(r_0).$$

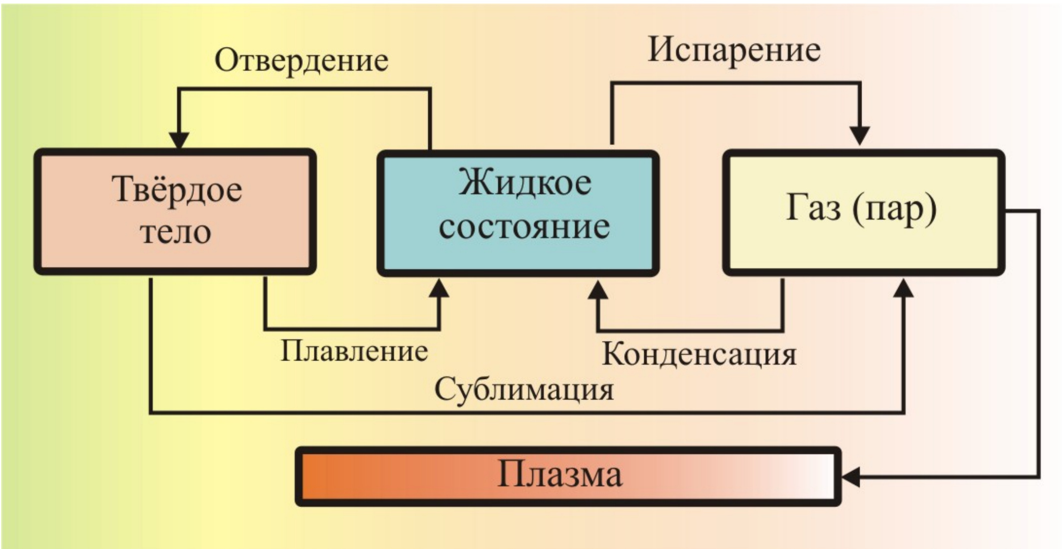


Рис. 111. Фазовые состояния вещества

3. Частицы, составляющее вещество: ионы, молекулы или атомы в большей или меньшей степени находятся в постоянном взаимодействии друг с другом, которое, собственно и определяет состояние. При относительно низких температурах частицы расположены в виде правильных геометрических фигур. Вещество находится в твёрдом состоянии, частицы совершают тепловые колебания, которые не нарушают взаимного расположения структурных элементов. Если температуру повышать, то амплитуда колебаний начинает возрастать, т.е. увеличивается кинетическая энергия частиц. При некоторых значениях температуры энергия колебаний становится равной или превосходит энергию взаимодействия, связи при этом постоянно разрываются и снова восстанавливаются. К колебательным степеням свободы добавляются вращательные и даже поступательные. Строгая геометрическая конфигурация относительного распо-

ложения частиц нарушается. Вещество из твёрдого состояния переходит в жидкое состояние. В этом случае говорят о фазовом переходе первого рода.

4. Дальнейшее повышение температуры сопровождается ещё большими амплитудами колебаний частиц, в конце концов, частицы удаляются друг от друга, превращаясь в реальный газ, а затем перестают взаимодействовать. Вещество становится газообразным. Структурные элементы движутся исключительно поступательно «не замечая друг друга». Взаимодействие происходит только при столкновениях. При дальнейшем увеличении температуры до нескольких сот тысяч градусов энергия, которой обмениваются частицы при столкновениях, становится настолько большой, что атомы начинают терять электроны. Ядра и электроны существуют независимо друг от друга. Это состояние вещества принято называть плазмой.

5. Жидкости занимают промежуточное положение между твердым и газообразным состоянием. Жидкостям присущи как свойства твердых тел, так и веществ, находящихся в газовом состоянии. Как твёрдые тела, жидкости характеризуются определённым объёмом, способны образовывать поверхности раздела, обладают некоторой прочностью на разрыв, но вместе с тем, одновременно располагают свойствами типичными для газов. Жидкости не способны сохранять, подобно твёрдым телам, свою форму, принимая форму сосуда. Отличительными от других состояний является текучесть и упругость жидкостей.

6. Структурные элементы материи (молекулы и атомы) могут участвовать одновременно в нескольких типах теплового движения, поступательном, вращательном и колебательном. Набор движений, которые совершает молекула или атом определяется числом степеней свободы. У газообразных веществ в условиях близких к нормальным молекулы или атомы характеризуются тремя поступательными степенями свободы. Структурные элементы веществ, находящихся в твёрдом состоянии вследствие значительных сил межмолекулярного взаимодействия совершают только колебательные движения вокруг положения равновесия.

---

112. На рис. 112. приведена примерная схема движения частиц вещества. В каком агрегатном состоянии находится вещество?

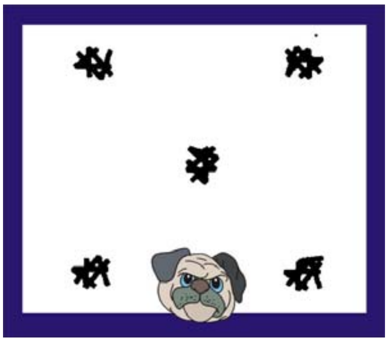


Рис. 112. Движение частиц

Решение

1. Частицы, изображённые на схеме совершают движение вблизи центров, расположенных в фиксированных точках пространства. Очень похоже, что это центры некой кристаллической решетки, находящиеся в них ионы совершают тепловые колебания. Из этого можно заключить, что вещество находится в твёрдом кристаллическом состоянии.

---

113. Зная постоянную Авогадро N_A, плотность вещества ρ и его молярную массу μ, получить формулу для числа молекул в единице объёма.

Решение

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}; \quad mN_A = \mu N; \quad \frac{mN_A}{V} = \frac{\mu N}{V}; \quad \rho N_a = n\mu; \quad n = \frac{\rho N_A}{\mu};$$

---

114. Если положить овощи в солёную воду, то через некоторое время они становятся солёными. Какое явление объясняет этот факт?

Решение

1. Этот общеизвестное явление происходит вследствие диффузии солёной воды в объём овощей, да у не только.

2. Предположим, что в некотором объёме вещества имеется градиент концентрации молекул. Будем рассматривать концентрацию, как функцию, например, вертикальной координаты n(z). Если перпендикулярно оси *z* расположить площадку площадью s, то через неё будет наблюдаться поток частиц, обусловленный выравниванием концентрации в наблюдаемом объёме. Экспериментально установлено, что в единицу времени через площадку проходит количество частиц

$$\Phi = -D\frac{\partial n}{\partial z}s,$$

где D – коэффициент диффузии, величина которого определяется физическими свойствами рассматриваемой системы. Поток частиц в единицу времени имеет размерность $[\Phi] = с^{-1}$, поэтому коэффициент диффузии измеряется в

$$[D] = \frac{\Phi}{\frac{\partial n}{\partial z}s} = \frac{с^{-1}м\cdot м^3}{м^2} = \frac{м^2}{с}.$$

3. Знак минус в уравнении означает, что поток частиц направлен от больших концентрацией частиц в сторону меньших концентраций. Умножим далее уравнение на массу частиц, принимающих участие в процессе диффузии, получим

$$\Phi m = -D\frac{\partial n}{\partial z}ms, \quad \Rightarrow \quad M = -D\frac{\partial \rho}{\partial z}s,$$

т.к. плотность газа $\rho = mn$. Уравнение выражает собой первый закон Фика, который предполагает определение коэффициента диффузии D для каждого вещества экспериментальным путём. Другими словами, первый закон Фика является эмпирическим законом, применимым не только для различных фазовых систем. В этой связи следует оговориться, что в жидкостях и твёрдых телах потоки частиц в каких-либо направлениях могут быть вызваны не только молекулярными причинами. Например, конвекционное движение частиц, вызванное внешними причинами, ничего общего с молекулярной диффузией не имеет.

4. Если в рассматриваемом объёме присутствует смесь нескольких компонент, то закон Фика следует записать индивидуально для каждого вещества, если значения коэффициентов диффузии не совпадают. В этом случае продолжительность диффузионного процесса для каждой компоненты будет различной.

---

115. В сосуде А находится m_1 = 14 г молекулярного азота, в сосуде Б –m_2 = 4 г гелия. В каком сосуде находится большее количество вещества?

Решение

1. Молярные массы газов: $\mu(N_2) \cong 28\cdot10^{-3}$ кг/моль, $\mu(He) = 4\cdot10^{-3}$ кг/моль, количества вещества

$$\nu(N_2) = \frac{m_1}{\mu(N_2)} = 0{,}5 моль; \quad \nu(He) = \frac{m_2}{\mu(He)} = 1 моль.$$

116. Определить массу одной молекулы m_0: воды H_2O, поваренной соли NaCl, углекислого газа CO_2.

Решение

1. Масса произвольного количества вещества определяется как

$$m = m_0 N = \nu m_0 N_A = \nu\mu,$$

после сокращения количества вещества ν и преобразований получим

$$m_0 N_A = \mu \quad \Rightarrow \quad m_0 = \frac{\mu}{N_A}.$$

2. Определим массу одной молекулы заданных веществ: для воды

$$m_0(H_2O) \cong \frac{18\cdot 10^{-3}}{6\cdot 10^{23}} \cong 3\cdot 10^{-26}\,\text{кг};$$

для поваренной соли

$$m_0(\text{NaCl}) \cong \frac{(23+35{,}5)\cdot 10^{-3}}{6\cdot 10^{23}} \cong 9{,}75\cdot 10^{-26}\,\text{кг};$$

для углекислого газа

$$m_0(CO_2) \cong \frac{(12+32)\cdot 10^{-3}}{6\cdot 10^{23}} \cong 7{,}33\cdot 10^{-26}\,\text{кг}.$$

---

117. В сосуде находится ν = 0,2 моля кислорода объёмом $V = 2\cdot 10^{-3}$ м^3. Определить плотность газа.

Решение

1. Запишем два уравнения для массы газа

$$m = \rho V, \quad m = \mu\nu,$$

откуда плотность ρ определится как

$$\rho = \frac{\mu\nu}{V} = \frac{32\cdot 10^{-3}\cdot 0{,}2}{2\cdot 10^{-3}} = 3{,}2\,\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

---

118. Определить массу: атома водорода H, молекулы кислорода O_2 и одного атома урана U^{238}.

Решение

1. Молярные массы веществ равны: $\mu(H) = 1\cdot 10^{-3}$ кг/моль, $\mu(O_2) = 16\cdot 10^{-3}$кг/моль, $\mu(U^{238}) = 0{,}238$ кг/моль.

2. Запишем уравнение молярной массы вещества

$$\mu = m_0 N_A, \quad \Rightarrow \quad m_0 = \frac{\mu}{N_A}.$$

2. Воспользовавшись первым уравнением, определим массы атомов и молекул

$$m_0(H) \cong \frac{1\cdot 10^{-3}}{6\cdot 10^{23}} \cong 1{,}7\cdot 10^{-27}\,\text{кг}, \quad m_0(O_2) \cong \frac{(16\cdot 2)\cdot 10^{-3}}{6\cdot 10^{23}} \cong 5{,}33\cdot 10^{-26}\,\text{кг},$$

$$m_0(U^{238}) \cong \frac{0{,}238}{6\cdot 10^{23}} \cong 3{,}97\cdot 10^{-25}\,\text{кг}.$$

---

119. Одна треть молекул азота массой $m = 1\cdot 10^{-2}$ кг диссоциировала (распалась на атомы). Определите полное количество частиц N_Σ.

Решение

1. Суммарное количество молекул после диссоциации определим в виде уравнения $N_\Sigma = N + 0{,}33N$.

2. Определим исходное количество молекул азота до начала процесса диссоциации

$$N = \frac{mN_A}{\mu} \cong \frac{0{,}01 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{28 \cdot 10^{-3}} \cong 2{,}1 \cdot 10^{22}.$$

3. Найдём суммарное количество частиц после завершения процесса диссоциации

$$N_\Sigma = 2{,}1 \cdot 10^{22} + \frac{2{,}1 \cdot 10^{22}}{3} = 2{,}8 \cdot 10^{23}.$$

---

120. Средняя энергия молекул идеального газа увеличилась в 4 раза. Как при этом изменилось давление газа на стенки сосуда?

Решение

1. Давление газа на стенки сосуда определяется основным уравнением МКЕ

$$p = \frac{1}{3} n m_0 < v >^2,$$

естественно при увеличении скорости молекул в 4 раза, давление вырастет тоже в 4 раза, т.к. кинетическая энергия молекулы равна:

$$\varepsilon_0 = \frac{m_0 < v >^2}{2} = \frac{3}{2} k_B T;$$

---

121. Капля воды имеет массу $m_x = 10^{-13}$ кг. Из скольких молекул она состоит?

Решение

1. Молярная масса воды $\mu = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, число Авогадро $N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$, количество вещества в капле воды определится как:

$$\nu = \frac{m_x}{\mu} = \frac{N_x}{N_A}, \quad \Rightarrow \quad N_x = \frac{m_x}{\mu} N_A \cong \frac{10^{-13}}{18 \cdot 10^{-3}} 6 \cdot 10^{23} \cong 3{,}3 \cdot 10^{12};$$

---

122. При какой температуре средняя энергия теплового движения атома неона будет достаточна для того, чтобы атом преодолел поле земного тяготения и покинул атмосферу?

Решение

1. Условие нахождения тела, включая атом аргона, на околоземной орбите

$$\frac{m_0 v^2}{r} = G\frac{m_0 M}{r^2}; \quad v^2 = G\frac{M}{r},$$

где $M \approx 6 \cdot 10^{24}$ кг – масса Земли, $r \approx 6{,}4 \cdot 10^6$ м – радиус Земли, $G \approx 6{,}7 \cdot 10^{-11}$ Нм^2/кг^2, m_0 – масса атома неона.

2. Из основного уравнения МКТ следует определение квадрата средней скорости

$$< v >^2 = \frac{3RT}{\mu},$$

где R = 8,3 Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная, $\mu = 20\cdot 10^{-3}$ кг/моль – молярная масса неона, Т – абсолютная температура газа.

3. Совмещая уравнение первой космической скорости и последнее уравнение из МКТ, получим

$$G\frac{M}{r} = \frac{3RT}{\mu}; \quad GM\mu = 3RTr;$$

$$T = \frac{GM\mu}{3Rr} \cong \frac{6{,}7\cdot 10^{-11}\cdot 6\cdot 10^{24}\cdot 20\cdot 10^{-3}}{3\cdot 6{,}4\cdot 10^{6}\cdot 8{,}3} \cong 5\cdot 10^4 К;$$

---

123. Как отличаются при одинаковой температуре среднеквадратичные скорости молекул кислорода и водорода.

Решение

1. При прочих равных условиях скорости молекул зависят от молярной массы вещества:

$$\left.\begin{aligned} < v_{O_2} > &= \sqrt{\frac{3RT}{\mu_{O_2}}}; \\ < v_{H_2} > &= \sqrt{\frac{3RT}{\mu_{H_2}}}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{< v_{O_2} >}{< v_{H_2} >} = \sqrt{\frac{\mu_{H_2}}{\mu_{O_2}}} = \sqrt{\frac{2\cdot 10^{-3}}{16\cdot 10^{-3}}}; \quad < v_{H_2} > = \sqrt{8} < v_{O_2} >.$$

---

124. Сравните массы аргона m_1 и азота m_2, находящиеся в сосудах, если сосуды содержат равные количества вещества.

Решение

1. Приравняем уравнения для количества вещества

$$\frac{m_1}{\mu_1} = \frac{m_2}{\mu_2}; \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{40\cdot 10^{-3}}{28\cdot 10^{-3}} = 1{,}42;$$

---

125. Молекулы вещества находятся на расстояниях, сравнимых с диаметром молекулы, и образуют ближний порядок в расположении, но не имеют дальнего. Молекулы колеблются и время от времени совершают скачки в направлении внешней силы. Какое состояние вещества соответствует данному описанию?

Решение

1. Полная упорядоченность структуры твёрдого состояния материи и абсолютный беспорядок её газообразного состояния являются крайними, посередине располагается **вещество «в несколько упорядоченном беспорядке».** Исследования жидкостей путём рассеяния нейтронов позволили Дж. Берналу сформулировать качественную модель поведения молекул вещества в жидком состоянии. Вот суть этой модели.

2. В объёме жидкости можно выделить ансамбли молекул, которые колеблются вокруг центров, образующих определённую геометрическую конфигу-

рацию. Упорядоченные области расположены в объёме случайным образом, причём влияние отдельных упорядоченностей, друг на друга незначительно.

3. В результате тепловых колебаний некоторые молекулы в результате разрыва связей с данным сообществом приобретают поступательные степени свободы и примыкают к другому сообществу, как бы меняя партнёров взаимодействия. Происходит внутренняя диффузия. В результате поступательного перемещения молекулы образуется нарушение геометрической упорядоченности в виде вакансии, которую часто называют «дыркой». Таким образом, в жидкости постоянно возникают и замещаются вакансии.

---

126. В каком состоянии вещества диффузия протекает быстрее всего

Решение

1. В соответствии с первым законом Фика

$$\Phi m = -D\frac{\partial n}{\partial z}ms, \quad \Rightarrow \quad M = -D\frac{\partial \rho}{\partial z}s\,,$$

масса вещества, переносимого в единицу времени через контрольную площадку наряду с коэффициентом диффузии и градиентом концентрации будет зависеть от динамических особенностей поведения молекул. Особенно это касается веществ в газообразном состоянии.

2. При рассмотрении столкновений молекул идеального газа следует иметь в виду, что собственные размеры молекул гораздо меньше расстояний между ними. Интересным представляется вопрос о частоте столкновений молекул и длина свободного пробега между двумя ближайшими столкновениями.

3. Пусть сталкиваются две молекулы диаметрами d_1 и d_2, центры которых при соударении сближаются на расстояние

$$R = \frac{d_1 + d_2}{2}\,.$$

4. Столкновение молекул произойдёт только в том случае, если первая молекула будет двигаться в районе сферического объёма радиуса R с поперечным сечением σ

$$\sigma = \pi R^2 = \frac{\pi(d_1 + d_2)^2}{4}\,.$$

где R − эффективный радиус взаимодействия молекул, σ − эффективное сечение взаимодействия.

5. Если сталкиваются одинаковые по размерам молекулы, то уравнения для R и σ упростятся

$$R = d, \quad \sigma = \pi d^2\,.$$

5. После очередного столкновения молекула идеального газа, очевидно, пролетает до следующего столкновения по прямой линии некоторое расстояние l , которое называется длиной свободного пробега (рис. 126.1). Для каждой молекулы, участвующей в тепловом тусняке длина свободного пробега будет сугубо величиной индивидуальной, т.к. помимо термодинамических макропараметров {p,V,T} и микропараметров {μ, <v>, n} она зависит от расположения ближайших соседей. Другими словами, длина свободного пробега величина слу-

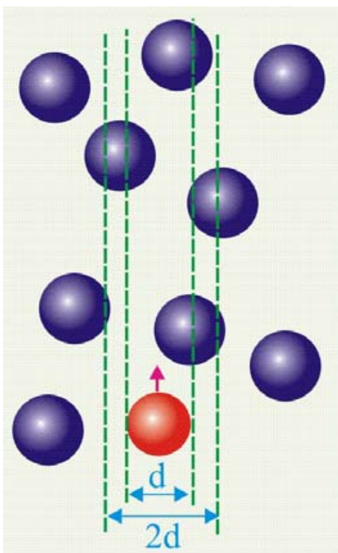


Рис. 126.1. Свободный пробег

чайная и имеет вероятностный смысл, так же как скорости и координаты молекул.

6. Так же как и для прочих случайных характеристик движения молекул можно средствами теории вероятности и статистики установить характерную среднюю величину длины свободного пробега.

7. Время между столкновениями и частота столкновений связаны отношением: $\tau = 1/\nu$, за это время молекула проделает путь $\lambda = v_{отн}\tau$, или

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d^2 n} = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma n}.$$

8. Так, например, для молекул водяного пара с $d \cong 3\cdot 10^{-10}$м. При нормальных условиях расстояние между молекулами равно $L=3\cdot 10^{-9}$м, поэтому концентрация молекул определится как

$$n = \frac{1}{L^3} = 4\cdot 10^{25}\,м^{-3}.$$

9. Определим далее с учётом полученного значения *n* длину свободного пробега λ

$$\lambda = \frac{1}{1{,}41\cdot 3{,}14\cdot 9\cdot 10^{-20}\cdot 4\cdot 10^{25}} \cong 6{,}3\cdot 10^{-8}\,м.$$

10. Таким образом, длина свободного пробега в 200 раз больше диаметра молекул и в 20 раз больше среднего расстояния между молекулами. Кинетическая энергия поступательного движения молекулы, например, водяного пара водяного пара определится из условий

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A} \cong \frac{18\cdot 10^3}{6\cdot 10^{23}} \cong 3\cdot 10^{-26}кг,$$

$$K = \frac{3}{2}k_B T \cong \frac{3\cdot 1{,}4^{-23}273}{2} \cong 5{,}7\cdot 10^{-21}Дж;$$

Среднеквадратичная скорость молекул, при этом, составит

$$< v >= \sqrt{\frac{2K}{m_0}} \cong 630\frac{м}{с};$$

Частота столкновений молекул $\nu = \langle v\rangle/\lambda \cong 1\cdot 10^{10}$с;

$$\nu = \frac{< v >}{\lambda} = \frac{630}{6{,}3\cdot 10^{-8}} = 10^{10}.$$

11. В сосуде с характерным размером порядка a = 0,1м, содержащем V = 1 литр газа, молекулы при скорости 630 м/с от стенки до стенки будут лететь $\tau = a/v_{кв} \cong 1{,}5\cdot 10^{-4}$с. За это время они испытают $N = a/\lambda \cong 0{,}16\cdot 10^8$ соударений с другими молекулами.

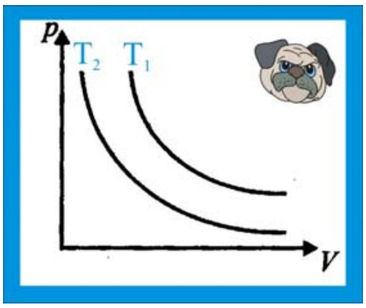


Рис. 127. Изотермы

127. На графике p = f(V) две кривые – гиперболы полученные для двух газов у которых массы и молярные массы одинаковы. Какими параметрами отличаются эти газы?

Решение

1. Приведены графики двух изотермических процессов

$$pV = const; \quad \Rightarrow \quad T_1 > T_2;$$

128. С идеальным газом произошел процесс, представленный геометрически окружностью в p-V координатах. В какой точке процесса температура максимальна?

Решение

1. Если газ считать идеальным, то для описания его состояния уместно использовать уравнение Клапейрона-Менделеева

$$pV = \frac{m}{\mu}RT; \quad \Rightarrow \quad T = \frac{\mu pV}{mR},$$

при неизменности массы газа m, молярной его массы μ абсолютная температура зависит от произведения давления p на объём V. Наибольшую величину это произведение будет иметь в точке 3.

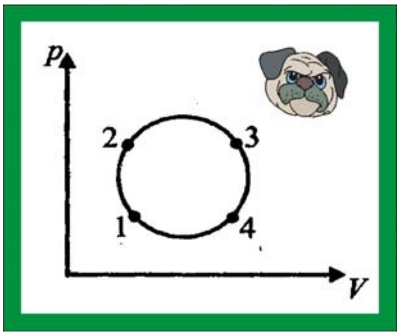


Рис. 128. Круговой процесс

129. С идеальным газом произошел процесс, представленный геометрически окружностью в V-T координатах. В какой точке процесса давление газа максимально?

Решение

1. Если газ считать идеальным, то для описания его состояния уместно использовать уравнение Клапейрона-Менделеева

$$pV = \frac{m}{\mu}RT; \quad \Rightarrow \quad p = \frac{mRT}{\mu V},$$

при неизменности массы газа m, молярной его массы μ давление зависит от деления величины абсолютной температуры T на объём V. Наибольшее значение T/V будет иметь в точке 3.

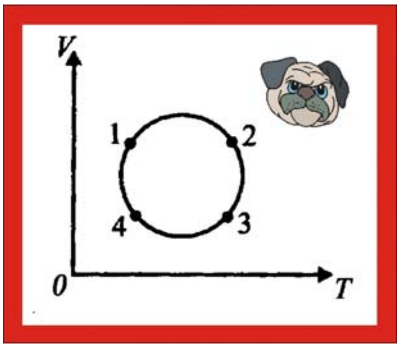


Рис. 129. Круговой процесс

130. С идеальным газом произошел процесс, представленный геометрически окружностью в p-T координатах. В какой точке процесса объём газа минимален?

Решение

1. Если газ считать идеальным, то для описания его состояния уместно использовать уравнение Клапейрона-Менделеева

$$pV = \frac{m}{\mu}RT; \quad \Rightarrow \quad V = \frac{mRT}{\mu p},$$

при неизменности массы газа m, молярной его массы μ абсолютная температура зависит от деления величины абсолютной температуры T на давление p. Наименьшее значение T/p будет иметь в точке 1.

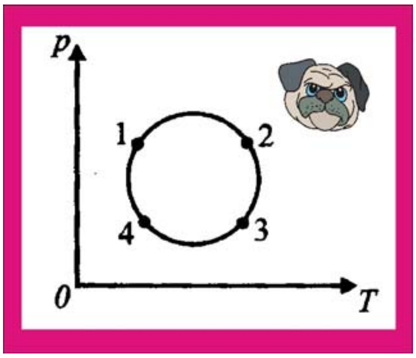


Рис. 130. Круговой процесс

131. Как изменяется объём V идеального газа постоянной массы при переходе из состояния 1 в состояние 2 в соответствии с диаграммой, приведенной на рис. 131.

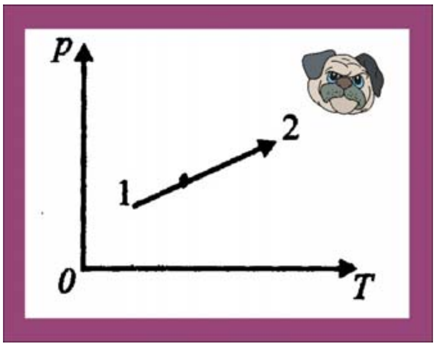


Рис. 131. Изменение состояния

Решение

1. Прямая в координатах p-T представляет собой изохору

$$\left.\begin{aligned} p_1V = \nu RT_1; \\ p_2V = \nu RT_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad p_2 = \frac{p_1T_2}{T_1},$$

т.е. при увеличении температуры объём газа увеличивается.

---

132. В вертикальном цилиндрическом сосуде под поршнем находится жидкость и её насыщенный пар. Поршень перемещают вниз так, что объём пара уменьшается в два раза, а температура остаётся постоянной. Что при этом происходит с давлением пара.

Решение

1. Насыщенный пар, как известно, находится в состоянии динамического равновесия, т.е. количество молекул, испаряющихся в единицу времени с единицы поверхности жидкости равно количеству конденсирующихся молекул. А, касаемо давления

$$p = nk_BT,$$

при постоянстве концентрации и температуры его величина меняться не будет.

---

133. Средняя кинетическая энергия идеального газа увеличилась в 2 раза. Как при этом изменилось давление газа?

1. В соответствии с законом Людвига Больцмана и основного уравнения МКТ средняя кинетическая энергия и давление газа определяются как:

$$\varepsilon_0 = \frac{m_0 < v >^2}{2} = \frac{i}{2}k_BT; \quad p = nk_BT;$$

2. Увеличение средней кинетической энергии молекулы возможно при увеличении в два раза абсолютной температуры, что в свою очередь приведёт к двукратному увеличению давления.

---

134. Внутренняя энергия одноатомного идеального газа в закрытом сосуде увеличилась в 4 раза. Как изменилась при этом температура газа?

Решение

1. Внутренняя энергия идеального одноатомного газа определяется уравнением:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T,$$

поэтому, увеличить внутреннюю энергию газа в закрытом сосуде, не изменяя массы газа и массы молекул, можно только повысив температуру, в заданном случае – в 4 раза.

---

135. Азот в количестве ν_1 =12 моль при температуре T = 300 К и давлении $p_0 = 10^5$ Па занимает объём V_1. Чему равен объём ν_2 = 1 моля азота при таком же давлении и вдвое большей температуре?

Решение

1. Составим систему из уравнений состояния:

$$\left.\begin{aligned} p_0V_1 &= \nu_1 RT; \\ p_0V_2 &= \nu_2 R2T; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = 6; \quad V_2 = \frac{V_1}{6};$$

---

136. Идеальный газ переводят из одного состояния в другое трема способами в соответствии с приведенными графическими представлениями. В каких состояниях давление газа одинаково?

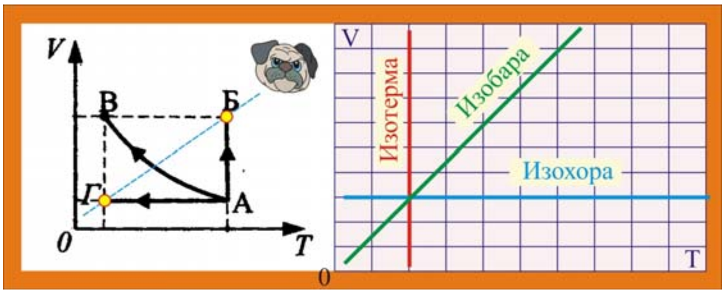


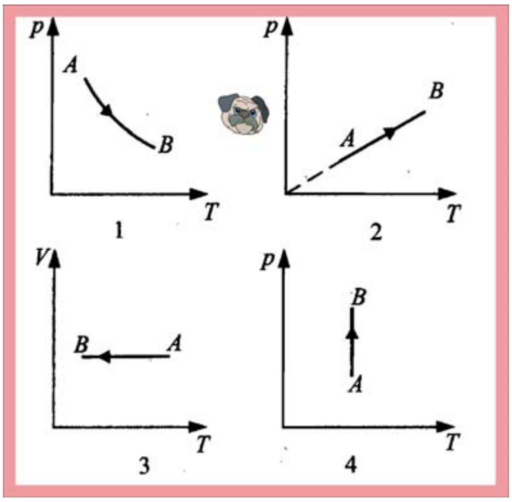
Рис. 136. Три способа изменения состояния газа

Решение

1. Точки одинакового давления должны располагаться га изохоре, т.е. этими точками являются Б и Г.

---

137. Какой из приведённых графиков соответствует процессу изотермического сжатия?



Решение

1. Изотермический закон изменения состояния $pV = \text{const}$, позволяет утверждать, что при увеличении давления объём должен уменьшаться, чему соответствует график 4.

138. Определить массу воздуха в помещении размерами 5 × 15 × 3 м при температуре t = 25 °С, при плотности воздуха ρ = 1,29 кг/м^3.

Решение

1. По известной плотности и объёму:

$$m = \rho V = 290{,}2 \text{ кг};$$

2. Количество воздуха в комнате позволяет определить его массу:

$$V_m = \frac{V}{\nu}; \quad \nu = \frac{V}{V_m} = \frac{225}{22{,}41\cdot 10^{-3}} \cong 1\cdot 10^4 \text{моль}; \quad \nu = \frac{m}{\mu}; \quad m \cong \nu\mu = 290\text{кг};$$

3. Давление в комнате в заданных условиях:

$$p = \rho\frac{RT}{\mu} = 1{,}29\frac{8{,}3\cdot 298}{29\cdot 10^{-3}} \cong 1{,}1\cdot 10^5 \text{Па};$$

4. Если принять: давление воздуха равно атмосферному p = 10^5 Па, абсолютная температура T =289 К, молярную массу воздуха μ = 29·10^{-3} кг/моль, то из уравнения состояния следует:

$$pV = \frac{m}{\mu}RT; \quad m = \frac{pV\mu}{RT} = \frac{1{,}1\cdot 10^5\cdot 225\cdot 29\cdot 10^{-3}}{8{,}3\cdot 298} \cong 290{,}1\text{кг};$$

---

139. В сосуде, закрытом поршнем, находится идеальный газ. С помощью графика изменения давления газа в зависимости от его температуры определите, какому состоянию соответствует наименьший объём.

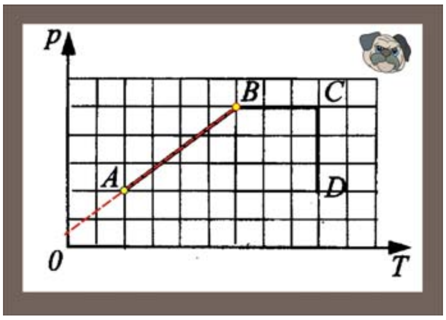


Рис. 139. Изменение давления

Решение

1. В координатах p-T изохорой является прямая линия, т.е. линия АВ, при изохорном процессе

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

точки, лежащие на АВ соответствуют одинаковому объёму, минимальное значение которого будет иметь место при минимальной температуре, т.е в точке А.

---

140. По какой формуле можно рассчитать удельную теплоёмкость?

Решение

1. Количество получаемого (отдаваемого) телом тепла и темпера и приобретаемое изменение температуры определяется соотношением:

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

---

141. Чему равна работа, совершаемая идеальным газом за один цикл, приведённый на p-V диаграмме?

Решение

1. Работа цикла численно равна площади фигуры ограничивающей изменения состояния газа, в данном случае площади треугольника Δ 1,2,3 или половине площади соответствующего прямоугольника

$$A_{1\to2\to3} = \frac{\Delta p \cdot \Delta V}{2} = \frac{6 \cdot 3}{2} = 9\text{Дж}.$$

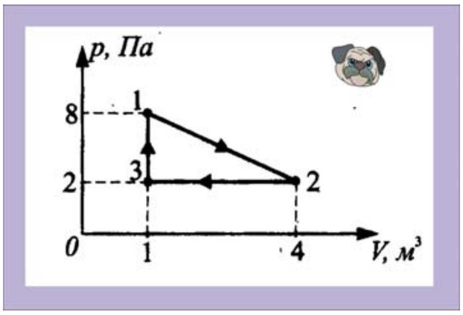


Рис. 141. Работа цикла

---

142. Приведены графики изменения во времени температуры трёх различных веществ при нормальном давлении. В начале нагревания эти вещества находились в твёрдом состоянии. Какое вещество имеет наибольшую температуру плавления?

Решение

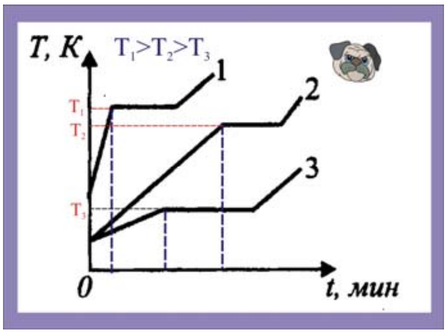


Рис. 142. Температура плавления

1. Процесс плавления – это процесс перехода вещества из твёрдого в жидкое состояние, при постоянной температуре.

2. Вещества имеют либо различную массу, либо различные удельные теплоёмкости, возможно и сочетание, что, собственно определяет время нагревания, вместе с тем, очевидно, что у тела №1 температура плавления самая высокая.

---

143. На сколько изменилась внутренняя энергия гелия массой m = 20 г при увеличении температуры на Δt = 20 °С.

Решение

1. Изменение внутренней энергии гелия:

$$\Delta U = \frac{3}{2}\frac{m}{\mu}R\Delta T = \frac{3}{2} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-2} \cdot 20}{4 \cdot 10^{-3}} = 150\text{Дж};$$

---

144. На графике показана зависимость объёма идеального газа от давления. Газ совершает работу δA = 3 кДж. Какое количество теплоты получил газ?

Решение

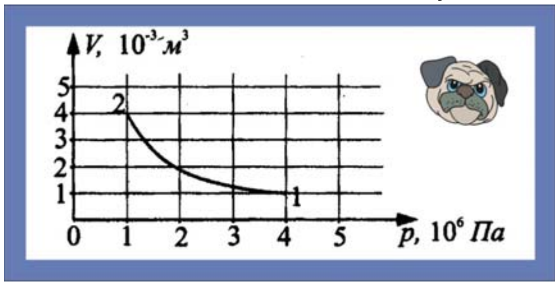


Рис. 144. Работа газа

1. Из приведённых на рис.144 данных видно, что процесс изменения состояния изотермический, при котором ввиду неизменности температуры изменения внутренней энергии не происходит, поэтому всё получаемое тепло преобразуется в работу, т.е.

$$\Delta Q = \delta A = 3\ \text{кДж};$$

---

145. Газ из состояния 1 переводят в состояние 3. Чему равна работа внешних сил?

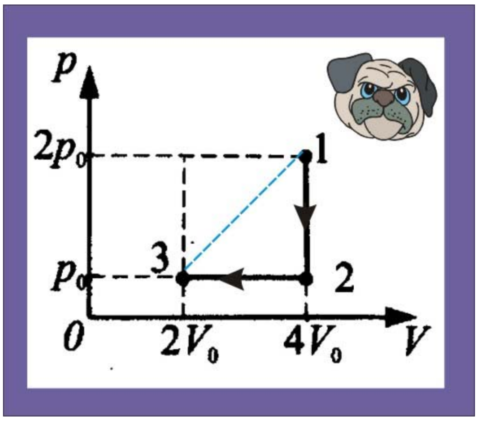


Рис. 145. Работа внешних сил

Решение

1. В данном случае происходит вначале (переход 1 –2) уменьшение давления при постоянном объёме, работа при этом не совершается, изменяется внутренняя энергия газа, т.е растёт его температура, при переходе 2 – 3 внешними силами совершается работа по сжатии. газа

$$\delta A = \frac{\Delta p \cdot \Delta V}{2} = \frac{2V_0 \cdot 2p_0}{2} = 2p_0V_0;$$

---

146. Над идеальным газом внешние силы совершили работу δA = 300 Дж, при этом внутренняя энергия уменьшилась на ΔU = 200 Дж. Что происходит в этом процессе?

Решение

1. Первое начало термодинамики и уравнение внутренней энергии идеального газа:

$$\Delta Q = -\Delta U + \delta A; \quad \Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T,$$

позволяют сделать вывод о том, что газ охлаждается.

---

147. Давление ν_1 = 2 молей кислорода в сосуде при температуре T = 300 K равно p_1. Каково давление ν_2 = 1 моль кислорода в том же сосуде при втрое большей температуре?

Решение

1. Составим систему на основании заданных уравнений состояния:

$$\left.\begin{aligned} p_1V = \nu_1RT; \\ p_2V = \nu_2R3T; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{p_1}{p_2} = \frac{2}{3}; \quad p_2 = 1{,}5p_1;$$

---

148. Четыре образца различных веществ в кристаллическом состоянии, имеющих одинаковую массу, стали нагревать. Каждый образец в единицу времени получает одинаковое количество теплоты. Дана зависимость температуры тел от времени. У каких веществ происходит одинаковое изменение энергии взаимодействия частиц при плавлении?

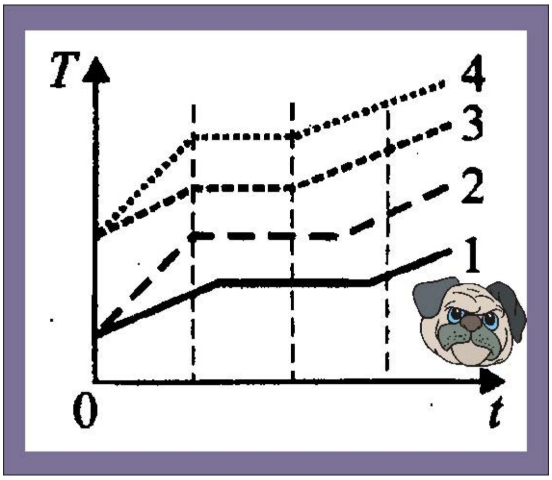


Рис. 148. Нагревание образцов

Решение

1. При постоянстве подводимой мощности к образцам энергию связи между частицами можно приближённо оценить по времени протекания процесса плавления (горизонтальные участки графиков). По этому признаку равенство изменений энергии взаимодействия частиц следует ожидать у образцов 3 и 4.

2. Переход вещества из твёрдого состояния в жидкое происходит при превышении кинетической энергии тепловых колебательной частиц над потенциальной энергией взаимодействия между ними.

---

149. Над телом совершена работа δA внешними силами, при этом телу передано количество теплоты ΔQ. Чему равно изменение внутренней энергии тела?

Решение

1. Первое начало термодинамики в данном случае запишется как:

$$\Delta Q = \Delta U - \delta A; \quad \Rightarrow \quad \Delta U = \Delta Q + \delta A;$$

---

150. При кристаллизации m = 100 кг стали при температуре плавления выделилось ΔQ = 8,2 МДж теплоты. Чему равна удельная теплота плавления стали?

Решение

1. Количество теплоты, необходимое для правления стали массой m:

$$\Delta Q = Lm; \quad \Rightarrow \quad L = \frac{\Delta Q}{m} = 8{,}2 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

---

151. При передаче твёрдому телу количества теплоты ΔQ при постоянной температуре T происходит превращение вещества массой m из твёрдого состояния в жидкое. Какое уравнение определяет удельную теплоту плавления этого вещества?

Решение

1 Количество тепла, необходимое для плавления вещества массой m:

$$\Delta Q = Lm; \quad \Rightarrow \quad L = \frac{\Delta Q}{m};$$

---

152. На TV-диаграмме показан процесс изменения состояния идеального одноатомного газа. Газ получает ΔQ = 100 кДж теплоты. Какова работа, совершаемая газом?

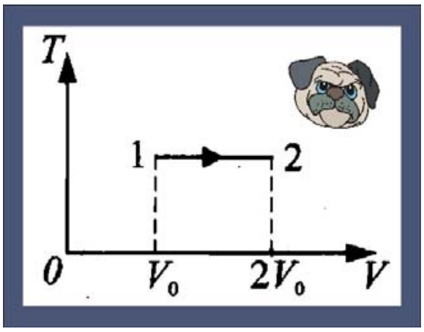


Рис. 152. Изменение состояния

Решение

1. Работа при изотермическом процессе равна подводимому к системе теплу, потому что изменение внутренней энергии не происходит

$$\delta A = Q = \nu RT \ln\frac{V_2}{V_1};$$

---

153. Медь плавится при постоянной температуре $T_П$ = 1085 °С. Поглощается или выделяется энергия в этом процессе?

Решение

1. Энергия поглощается, т.к. процесс превращения твёрдого состояния вещества в жидкое, по классическим преставлениям, должен сопровождаться увеличением внутренней энергии упорядоченных структур для разрушения существующих связей между отдельными элементами.

---

154. В каком тепловом процессе внутренняя энергия идеального газа постоянной массы не изменяется при переходе из одного состояния в другое?

Решение

1. Изменение внутренней энергии:

$$\Delta U = \frac{i}{2}\nu R\Delta T ,$$

не происходит при $\Delta T = 0$, т.е. при изотермическом процессе.

---

155. Одноатомный идеальный газ, находящийся в сосуде объёмом V = 8 л, нагревают, так что его давление возрастает с p_1 = 100 кПа до p_2 = 200 кПа. Какое количество теплоты передано газу?

Решение

1. Нагревание газа в закрытом объёме не предполагает совершение работы, поэтому все получаемое тепло будет преобразовываться во внутреннюю энергию газа.

2. Решим совместно уравнение состояния идеального газа и уравнение его внутренней энергии:

$$\left.\begin{aligned} \Delta pV &= \nu R\Delta T; \\ \Delta U &= \frac{3}{2}\nu R\Delta T; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \Delta U = \Delta Q = \frac{3}{2}V\Delta p = \frac{3\cdot 8\cdot 10^{-3}\cdot 1\cdot 10^{5}}{2} = 1{,}2\,\text{кДж};$$

---

156. В некотором процессе вся подведённая к газу теплота равна изменению его внутренней энергии. Что это за процесс?

Решение

1. В соответствии с первым началом термодинамики:

$$\Delta Q = \Delta U + \delta A ,$$

если всё тепло трансформируется во внутреннюю энергию, то работа не производится, значит, не изменяется объём, т.е. имеет место изохорный процесс изменения состояния.

---

157. В тёплую комнату внесли тающий лёд. Как изменится его внутренняя энергия к тому времени, когда весь лёд превратится в воду?

Решение

1. В процессе плавления температура остаётся постоянной, но меняется структура связей между отдельными частицами вещества. В соответствии с законом Людвига Больцмана о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекул:

$$<\varepsilon>=\frac{i}{2}k_B T;$$

2. Чем больше у молекул степеней свободы, тем большей энергией при данной температуре она может обладать. В твёрдом состоянии молекулы или ионы могут совершать только колебательные движения, т.е. могут обладать только колебательными степенями свободы. В жидком состоянии некоторые молекулы могут двигаться и поступательно, это приводит к увеличению числа степеней свободы и внутренней энергии вещества.

---

158. При передаче газу количества теплоты ΔQ = 300 Дж его внутренняя энергия уменьшилась на ΔU = 100 Дж. Какую работу совершил газ?

Решение

1. В данном процессе

$$\Delta Q=-\Delta U+\delta A,$$

работа совершается за счёт внешней подводимой энергии и внутренней энергии самого газа

$$\delta A=\Delta Q+\Delta U=400\text{Дж};$$

---

159. Идеальная тепловая машина имеет КПД η = 0,3. Температура холодильника T_X = 280 К. Чему равна температура нагревателя?

Решение

1. В соответствии с теоремой Сади Карно КПД идеальной тепловой машины может быть определён как:

$$\eta=\frac{T_H-T_X}{T_H}; \quad \Rightarrow \quad T_H(1-\eta)=T_X; \quad T_H=\frac{T_X}{1-\eta}=400\text{K};$$

---

160. Температура холодильника идеального газа теплового двигателя равна t = 27 ^oC, а температура нагревателя на Δt = 90 ^oC больше. Чему равен КПД такой тепловой машины?

Решение

1. По условию задачи: T_X = 300 К, T_H = 390 К, Кпд машины определится как:

$$\eta=1-\frac{T_X}{T_H}=1-\frac{300}{390}=0{,}23\ (23\%);$$

---

161. Тепловая машина за цикл получает от нагревателя Q_1 = 200 Дж теплоты и отдаёт холодильнику Q_2 = 40 Дж. Чему равен КПД машины?

Решение

1. Термический КПД кругового процесса:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{40}{200} = 0{,}8\ (80\%).$$

---

162. В идеальной тепловой машине за счёт каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа δA = 300 Дж. Определить температуру нагревателя, если температура холодильника T_X = 280 К.

Решение

1. КПД идеальной тепловой машины

$$\eta = \frac{\delta A}{Q_H} = \frac{300}{1000} \cong 0{,}3\,;$$

2. Температура нагревателя:

$$\eta = \frac{T_H - T_X}{T_H}; \quad \Rightarrow \quad T_H(1-\eta) = T_X; \quad T_H = \frac{T_X}{1-\eta} = \frac{280}{0{,}7} = 400K\,;$$

---

163. Каково максимально возможное значение КПД идеальной тепловой машины, использующей нагреватель с температурой T_H = 427 ^oC и холодильник с температурой T_X = 27 ^oC?

Решение

1. В соответствии с теоремой Сади Карно, КПД идеальной тепловой машины определяется только разностью температур нагревателя и холодильника и не зависит от конструктивных особенностей машины и физических свойств рабочего тела

$$\eta = 1 - \frac{T_X}{T_H} = 1 - \frac{300}{700} \cong 0{,}571\ (57{,}1\%)\,;$$

---

164. Температура воздуха равна t_1 = 20 ^oC, относительная влажность при этом составляет 50%, а парциальное давление водяного пара p = 1,16 кПа. Чему равно давление насыщенных паров при этой температуре?

Решение

1. Насыщенный пар имеет место при 100% влажности, когда наступает динамическое равновесие между количеством испаряющихся и конденсирующихся молекул воды, поэтому:

$$p_{Н.П} = \frac{p}{\varphi} = \frac{1{,}16 \cdot 10^3}{0б5} = 2{,}32\ кПа\,.$$

---

3. Основы электродинамики

165. На каком расстоянии следует расположить в воде с диэлектрической проницаемостью ε два точечных заряда, чтобы сила их взаимодействия не расстоянии r не изменилась?

Решение

1. Взаимодействие точечных зарядов описывается количественно законом Огюста Шарля Кулона

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}=\frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_x^2};\quad \frac{1}{r^2}=\frac{1}{\varepsilon r_x^2};\quad \Rightarrow\quad r_x=\frac{r}{\sqrt{\varepsilon}};$$

---

166. На какую минимальную величину может измениться заряд пылинки?

Решение

Из глубокой древности было известно, что некоторые предметы, будучи натёртые кожей или шерстью, приобретали свойства притягивать мелкие предметы. Этот эффект на уровне удивительных забав просуществовал до конца XVI в., до того как этим заинтересовался королевский медик Джильберт, который методом многочисленных экспериментов установил, что таким интересным свойством обладает не только янтарь (от греческого – электрон), но и многие другие вещества, например – эбонит.

2. Джильберт справедливо предположил, что при натирании предметов ими приобретаются некие новые энергетические возможности, вызываемые трением. С приобретением новых энергетических свойств Джильберт был прав, а вот насчёт трения – ошибался. Дело в том, что трение в данном случае «электризации трением» само по себе не имеет принципиального значения. Трение обеспечивает плотное прижатие тел, обеспечивая более плотное прижатие, что и обеспечивает снятие поверхностных электрических зарядов с поверхности. В отсутствии притирания тела ввиду природной шероховатости контактировали бы только в отдельных точках.

3. Было обнаружено, что некоторые материалы допускают перемещение зарядов между отдельными частями тела, изготовленного из них, а другие – таким свойством не обладают. Материалы, допускающие перемещение зарядов назвали проводниками, материалы, не перемещающие заряды – диэлектриками.

4. Разделение материалов на проводники и диэлектрики во многом условно, потому что электрические свойства веществ определяются в ряде случаев внешними условиями. Так например, газы в обычных нормальных условиях относятся к диэлектрикам. Однако при высоких температурах газы могут переходить в класс проводников. Меняют свои свойства газы и при облучении их светом ультрафиолетового излучения.

5. В ходе экспериментов было установлено, что в природе существуют электрические заряды двух сортов. Так, например, если два лёгких тела, заряженных от эбонитового стержня, натёртого мехом, привести в соприкосновение, то они станут отталкиваться. Если же тела зарядить от стеклянного стерж-

ня и от эбонитового, то они будут отталкиваться. На основании этого было принято заряды делить на положительные и отрицательные [1].

6. Попытки объяснить электрические явления заставляли искать аналоги с уже известными моделями физических процессов. Вспомнили о теплороде (он же флогистон) посредствам которого удалось установить некоторые закономерности в термодинамике. А почему бы и нет? Почему не ввести в рассмотрение особую электрическую жидкость, которая, подобно теплороду отвечает за, находящийся на теле электрический заряд. Так полагали достаточно длительное время, и на некоторые вопросы электричества удалось найти ответ.

7. Достаточно убедительно модель электрической жидкости объясняла процесс зарядки лейденской банки и перемещение электрических зарядов между телами. Однако сомнения по повожу «жидкого электричества» возникали. Майкл Фарадей (1791 – 1867) занимаясь разложением веществ при прохождении электрического тока через растворы обратил внимание, что при прочих равных условиях различные вещества осаждаются в разных количествах. При использовании одновалентного вещества для выделения одного моля через раствор проходил электрический заряд $9{,}65\cdot10^4$ Кл, а когда в растворе присутствовало двухвалентное вещество, то требуемый заряд удваивался. Фарадей совершенно обосновано предположил, что в растворах присутствуют частицы, несущие в себе одну или несколько порций элементарного электричества. Напрашивался вывод о дискретности электрического заряда.

8. К настоящему времени стараниями многих исследователей установлено, что самым маленьким, из всех обнаруженных к настоящему времени, по величине электрическим зарядом является электрон. Заряд электрона в этой связи называют элементарным.

9. Заряд электрона равен $e = \left(1{,}60217733 \pm 4{,}9\cdot10^{-7}\right)\cdot10^{-19}\,\text{Кл}$, масса электрона составляет $m_e = \left(9{,}1093897 \pm 5{,}4\cdot10^{-7}\right)\cdot10^{-31}\,\text{кг}$. Столь исчерпывающие сведения о таком весьма малом объекте получены стараниями двух великих исследователей структуры нашего мира, англичанином Джоном Джозефом Томсоном и американцем Робертом Эндрюсом Милликеном.

10. Джон Джозеф Томсон установил, что катодные лучи являются отрицательно заряженными частицами, и ему удалось измерить отношение заряда этой частицы к массе

$$\frac{e}{m_e} \cong 1{,}76\cdot10^{11}\,\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}.$$

11. Другими словами, Томсон доказал, что электрический заряд дискретен, что всякое заряженное тело несёт на себе заряд кратный заряду электрона.

12. Следующим исследователем, решившим непростую задачу непосредственного измерения заряда электрона, был Роберт Милликен, американский исследователь, которого часто называли чародей физической лаборатории. И было за что. Этому человеку удалось достаточно простым способом разрешить многочисленные споры по поводу элементарного электрического заряда.

13. Милликен начал в 1906 разрабатывать «метод капель», которая позволяла измерить заряд отдельного электрона. Метод состоял в наблюдении за поведением мельчайших заряженных капелек воды в мощном электрическом поле и выявлении тех из них, заряд и масса которых находились в идеальном равновесии. В основу гениального эксперимента был положен простой и хорошо известный факт электризации тел при трении. Подобно стеклянной па-

лочке, натёртой шерстью, электрический заряд приобретают капельки масла при получении их с помощью пульверизатора.

14. Милликен направил заряженные капли масла между обкладками простого конденсатора и стал наблюдать за их падением в микроскоп, одновременно увеличивая разность потенциалов между обкладками. При некоторой разности потенциалов падение капель прекращалось, капли переходили в состояние равновесия. Сила тяжести уравновешивалась силой, обусловленной взаимодействием заряда капли с электрическим полем между обкладками конденсатора и силой сопротивления со стороны воздуха. Получалось достаточно простое уравнение

$$QE - \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_M = rv,$$

где Q – заряд капли масла, E – напряжённость электрического поля, R – радиус капли, ρ_M – плотность масла, r – коэффициент сопротивления со стороны воздуха, v – скорость падения капли.

15. Далее Милликен в пространство между обкладками направил рентгеновские лучи, которые электрически нейтральные молекулы воздуха превращали в ионы, заряженные частицы. Как только включалась рентгеновская трубка, капельки масла резко меняли скорость. Из этого следовало, что к каплям «прилипали» ионы из воздуха. Оказалось, что вычисляемые по уравнению новые заряды капель при любом времени облучения кратны одной и той же величине, которая была найдена в опытах при электролизе жидкостей. Заряд капель был кратен величине $q \cong 1{,}6\cdot 10^{-19}$ Кл. Тем самым была экспериментально доказана дискретность электрического заряда и впервые точно измерена его величина.

167.Заряд на пластинах плоского конденсатора увеличили в 4 раза. Как при этом изменилась электроёмкость конденсатора?

Решение

1. Электроёмкость плоского конденсатора определяется как:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

где ε_0 – электрическая постоянная, ε –диэлектрическая проницаемость пространства между пластинами, S – площадь пластин, d – расстояние между пластинами. Как видно электроёмкость определяется только конструктивными и физическими свойствами конденсатора и не зависит от накопленного конденсатором заряда.

---

168. Электрическое поле в некоторой точке А пространства создаётся системой 4 одинаковых по модулю зарядов разной полярности. Определить направление вектора напряжённости в точке А,

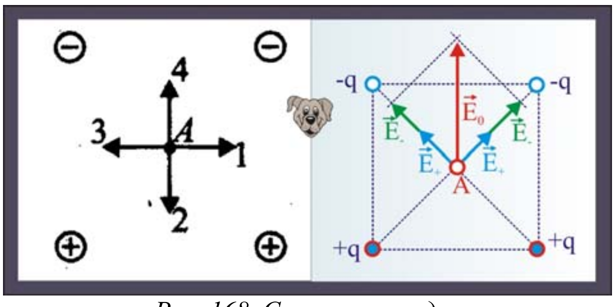


Рис. 168. Система зарядов

169. Определить потенциал электростатического поля в точке, отстоящей от отрицательного заряда q = 4 нКл на расстоянии r = 10 см.

Решение

1. Потенциал электростатического поля:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{-q}{r^1} = -\frac{1}{12{,}56\cdot 9\cdot 10^{-12}}\frac{4\cdot 10^{-9}}{0{,}01} \cong -3{,}54\ \text{кВ};$$

---

170. Как изменится сила тока в проводнике, если его сопротивление уменьшить в 4 раза, а напряжение на концах увеличить в 8 раз?

Решение

1. Запишем дважды закон Ома для участка цепи:

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{R};\\ I_2 &= \frac{32U}{R}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad I_2 = 32 I_1;$$

---

171. Приведен график зависимости силы тока в колебательном контуре от времени. Определить период колебаний напряжения на пластинах конденсатора.

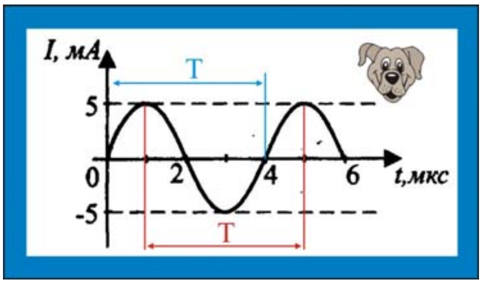


Рис. 171. Период колебаний

Решение

1. Период колебаний силы тока и напряжения в LC-контуре определяется формулой Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

поэтому по заданному графику видно, что:

$$T = 4\text{мкс}.$$

---

172. К бесконечной горизонтальной отрицательно заряженной плоскости прикреплена невесомая нить с шариком, имеющим положительный заряд. Каково условие равновесия шарика, если $|m\vec{g}|$ – модуль силы тяжести, F – модуль силы электрического взаимодействия, T – модуль силы натяжения нити?

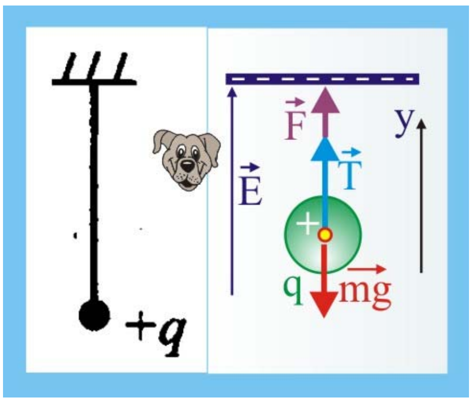


Рис. 172. Равновесие шарика

Решение

1. Поскольку плоскость заряжена отрицательно, то сила электрического взаимодействия шарика и плоскости будут направлена по нити в сторону плоскости (разноимённые заряды притягиваются).

2. Условие статического равновесия шарика

$$\sum_{i=1}^{i=3}\vec{F}_i = 0;\quad (y)\ T + F - mg = 0;\quad mg = T + F;$$

---

173. Электрически нейтральная капля разделилась на четыре. При этом у трёх капель обнаружились электрические заряды: +2q, – 3q и +5q. Каким зарядом обладала четвёртая капля?

Решение

1. Закон сохранения заряда утверждает, что для изолированных электрических систем заряд сохраняется при всех физических, химических, атомных и ядерных процессах, поэтому разделение нейтральной капли должно сопровождаться сохранением нулевого заряда после её деления: $q_4 = -4q$.

---

174. Во сколько раз сила электрического отталкивания между двумя электронами больше их силы гравитационного притяжения друг к другу?

Решение

1. Сравним Силу Кулона и силу ньтоновского притяжения

$$\left.\begin{aligned} F_K &= k\frac{e^2}{r^2};\\ F_G &= G\frac{m^2}{r^2} \end{aligned}\right\} \quad \frac{F_K}{F_G} = \frac{ke^2}{Gm^2} \approx \frac{9\cdot10^9\cdot2{,}56\cdot10^{-38}}{6{,}7\cdot10^{-11}\cdot10^{-60}} \approx 3{,}4\cdot10^{42};$$

---

175. Во сколько раз надо изменить расстояние между зарядами при увеличении одного из них в 4 раза, чтобы сила взаимодействия осталась прежней?

Решение

1. Приравняем силы кулоновского взаимодействия

$$k\frac{q_1q_2}{r_1^2} = k\frac{4q_1q_2}{r_x^2}; \quad \frac{1}{r_1^2} = \frac{4}{r_x^2}; \quad r_x = \frac{r_1}{2};$$

---

176. дано изображение трёх пар легких одинаковых шариков, несущих на себе одинаковые по модулю заряды. В каком случае заряд второго шарика отрицателен?

Решение

1. Заряд второго шарика отрицательный в случае Б, потому что притягиваются друг к другу только разноимённо заряженные шарики.

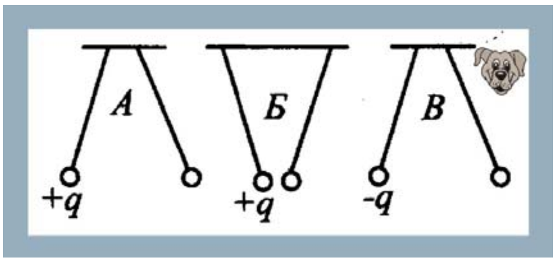


Рис. 176. Взаимодействие зарядов

---

177. Сила взаимодействия двух отрицательно заряженных частиц, находящихся на расстоянии R, равна F. Заряд одной из частиц увеличили по модулю в 2 раза. Как нужно изменить расстояние между этими зарядами, чтобы сила их кулоновского взаимодействия осталась прежней?

Решение

1. Приравняем силы кулоновского взаимодействия

$$k\frac{q_1q_2}{r_1^2} = k\frac{2q_1q_2}{r_x^2}; \quad \frac{1}{r_1^2} = \frac{2}{r_x^2}; \quad r_x = \frac{r_1}{\sqrt{2}};$$

---

178. В однородном электрическом поле конденсатора напряжённостью E = 100 В/м неподвижно висит пылинка массой m = 10^{-8} г. Определить заряд пылинки.

Решение

1. Условие статического равновесия пылинки:

$$qE = mg; \quad \Rightarrow \quad q = \frac{mg}{E} = \frac{10^{-11} \cdot 10}{100} = 10^{-12}\,Кл;$$

---

179. В однородном электрическом поле подвешенный на нити положительно заряженный шарик отклонился влево от вертикали. Как направлен вектор напряжённости поля?

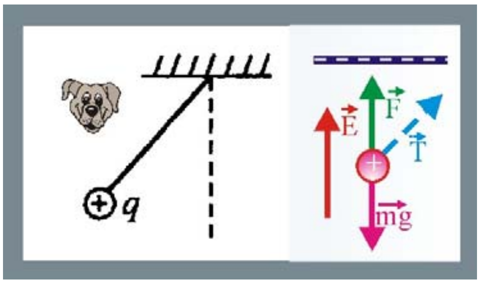


Рис. 179. Шарик в электрическом поле

Решение

1. При заданном положении шарика для нахождении его в равновесии необходимо и достаточно, чтобы модуль силы тяжести был равен модулю силы Кулона, а направление сил должно быть противоположным. Это возможно при условии отрицательно заряженной плоскости, чтобы вектор напряжённости поля имел направление противоположное вектору силы тяжести. Кстати, сила натяжения равна в этом случае нулю.

---

180. Две капли воды массой m = $1{,}8\cdot10^{-3}$ кг расположили на расстоянии r = 1 м друг от друга. С какой силой станут взаимодействовать капли, если 10 % электронов из одной капли переместить в другую?

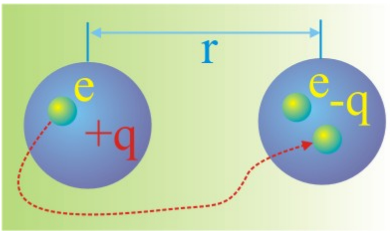


Рис. 180. Перенос заряда

Решение

1. Определим количество вещества ν в капле воды с учётом значения её молярной массы μ = $18\cdot10^{-3}$ кг/моль

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{1{,}8\cdot10^{-3}}{18\cdot10^{-3}} = 0{,}1\,моль.$$

2. Число молекул в капле воды

$$N = \nu N_A \cong 0{,}1\cdot 6\cdot 10^{23} \cong 6\cdot 10^{22}.$$

3. Формула воды H_2O, т.е. одна молекула включает в себя два атома водорода и один атом кислорода. Молекула воды, таким образом, содержит 10 электронов. Число электронов в одной капле воды равно

$$N_e = 10N = 6\cdot 10^{23}.$$

4. Заряд всех электронов в одной капле первоначально составляет

$$q_0 = e\cdot N_e \cong 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 6\cdot 10^{23} \cong 9{,}6\cdot 10^{4}\,Кл.$$

5. Величина перемещаемого заряда

$$q_i = 0{,}1q_0 \cong 9{,}6\cdot 10^{3}\,Кл.$$

6. Заряд капель после перемещения электронов

$$q_1 = q_0 + q_i \cong 1\cdot 10^{5}\,Кл, \quad q_2 = q_0 - q_i \cong 8{,}6\cdot 10^{4}\,Кл.$$

7. Сила электрического взаимодействия между каплями после перемещения электронов

$$F = k\frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cong 9 \cdot 10^9 \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 8{,}6 \cdot 10^4}{1} \cong 8 \cdot 10^{19}\ Н.$$

---

181. Два заряда взаимодействуют с виллой F = 30 Н. Какой станет сила взаимодействия, если величину каждого заряда увеличить в 2 раза?

Решение

1. Силы взаимодействия точечных зарядов:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}; \quad F_x = k\frac{2q_1 \cdot 2q_2}{r^2} = 4F = 120Н;$$

---

182. Сила, действующая на заряд q = 2 мкКл, равна 4 Н. Определить напряжённость поля в этой точке.

Решение

$$F = qE; \quad \Rightarrow \quad E = \frac{F}{q} = 2 \cdot 10^6 \frac{В}{м};$$

---

183. Пластины воздушного конденсатора раздвинули, увеличив расстояние между ними в 3 раза, и внесли в пространство между пластинами слюду с диэлектрической проницаемостью ε = 6. Как при этом изменилась ёмкость конденсатора?

Решение

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{\varepsilon_0 S}{d}; \\ C_2 &= \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{3d}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{C_1}{C_2} = \frac{1}{2}; \quad C_2 = 2C_1;$$

---

184. Отсоединённый от источника плоский воздушный конденсатор заряжен до разности потенциалов U. Ели пространство между пластинами заполнить диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε, то как при этом изменится разность потенциалов между обкладками?

Решение

1. Электроёмкость конденсатора увеличится в ε раз, при сохранении заряда, можно записать следующие соотношения:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{Q}{U_1}; \\ \varepsilon C_1 &= \frac{Q}{U_2}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad U_2 = \frac{U_1}{\varepsilon};$$

---

185. Металлический стержень внесли в электрическое поле, а потом разрезали напополам. Как будут заряжены половинки стержня?

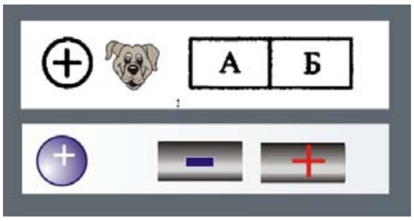


Рис. 185. Электризация металла

Решение

1. Под действием электрического поля свободные электроны алюминия переместятся к левому торцу стержня и эта его область станет обладать повышенной концентрацией отрицательных зарядов, а область правого торца приобретёт положительный заряд. Если стержень разрезать, то левая половина будет заряжена отрицательно, а правая – положительно.

187. При напряжении 220 В сила тока через нить накала равна 5А. Чему равно электрическое сопротивление нити накала?

Решение

$$I = \frac{U}{R}; \quad \Rightarrow \quad R = \frac{U}{I} = 44\ \text{Ом}.$$

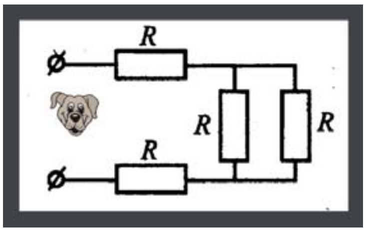


Рис. 188. Электрическая цепь

188. Определить сопротивление цепи.

Решение

$$R_{\Sigma} = \frac{R}{2} + R + R = 2{,}5R;$$

189. В проводнике сопротивлением R = 2 Ом, подключенным к элементу с ЭДС ε = 2,2 В, течёт ток силой I = 1А. Чему равен ток короткого замыкания гальванического элемента?

Решение

1. Внутреннее сопротивление источника:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}; \Rightarrow \quad IR + Ir = \varepsilon; \quad r = \frac{\varepsilon - IR}{I};$$

2. Сила тока при коротком замыкании клемм источника

$$I_{КЗ} = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{\varepsilon I}{\varepsilon - IR} = \frac{2{,}2 \cdot 1}{2{,}2 - 2 \cdot 1} = 11\text{А};$$

190. Определить сопротивление лампы в цепи, если показания приборов: 0,5 А и 30 В.

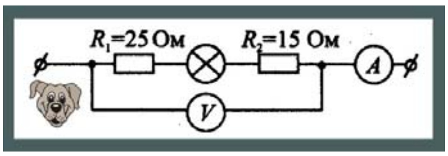


Рис. 190. Сопротивление лампы

Решение

1. Закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R_{\Sigma}} = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_X};$$

$$IR_1 + IR_2 + IR_x = U; \quad R_X = \frac{U}{I} - R_1 - R_2 = 60 - 25 - 15 = 20\ \text{Ом};$$

191. На корпусе электромотора имеется надпись «220 В, 1000 Вт». Определить силу тока потребляемого электродвигателем и сопротивление его обмоток.

Решение

$$P = UI; \quad \Rightarrow \quad I = \frac{P}{U} \cong 4{,}5\text{А}; \quad R = \frac{U}{I} = 42{,}4\ \text{Ом};$$

---

192. При прохождении тока по проводнику в течение τ = 4 мин совершена работа δA = 26400 Дж. Определить силу тока в проводнике, если напряжение на его концах равно U = 22 В.

Решение

1. Будем считать, что работа электрических сил, в конечном счете, приводит к нагреванию проводника, т.е. к выделению некоторого количества тепла, причём, $\delta A \approx \Delta Q$, для которого справедлив закон Джоуля – Ленца:

$$\Delta Q = IU\tau; \quad \Rightarrow \quad I = \frac{\Delta Q}{U\tau} = \frac{\delta A}{U\tau} = \frac{26400}{22 \cdot 240} = 5\text{А};$$

---

193. Как изменится сила тока, протекающего по проводнику, если напряжение между его концами и площадь поперечного сечения уменьшить в 2 раза?

Решение

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \frac{U}{\rho\frac{\ell}{s}}; \\ I_2 &= \frac{U}{2\rho\frac{2\ell}{s}}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 4; \quad I_2 = \frac{I_1}{4},$$

где ρ – удельное сопротивление материала проводника, ℓ – длина проводника, s – площадь его поперечного сечения.

---

194. Три резистора R_1 = 10 Ом, R_2 = 20 Ом и R_3 = 30 Ом соединены последовательно. Чему равно отношение U_1/U_3?

Решение

1. При последовательном соединении: $I_1 = I_2 = I_3$

$$I = \frac{U}{R}; \quad U = IR; \quad \Rightarrow \quad U_1 : U_3 = 1:3;$$

---

195. Определить сопротивление участка цепи АБ, если все резисторы имеют одинаковое сопротивление R = 2 Ом.

Решение

$$R_\Sigma = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + R_4 = 5\ \text{Ом}$$

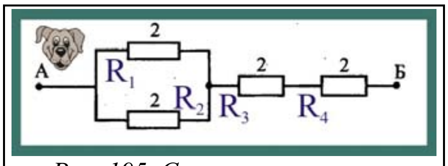


Рис. 195. Сопротивление цепи

196. К источнику тока с внутренним сопротивлением r = 1 Ом подключён резистор с сопротивлением R = 9 Ом. За какое время в источнике тока выделится ΔQ = 4 Дж теплоты, если напряжение на выходе источника ε = 18 В?

Решение

1. Сила тока в цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = 1{,}8\,A;$$

2. Тепло выделяемое в источнике:

$$\Delta Q = IU\tau = I^2 r\tau; \quad \tau = \frac{\Delta Q}{I^2 r} = \frac{4}{3{,}24 \cdot 1} = 1{,}23\,c;$$

---

197. Замкнутая электрическая цепь состоит из источника тока с ε = 10 В, резистора с сопротивлением R = 2,5 Ом. Сила тока в цепи I = 2,5 А. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?

Решение

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}; \quad IR + Ir = \varepsilon; \quad r = \frac{\varepsilon - IR}{I} = \frac{\varepsilon}{I} - R = 1{,}5\text{ Ом};$$

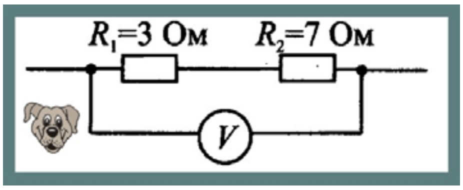


Рис. 198. Сила тока в цепи

198. Определить силу тока в цепи, если вольтметр показывает напряжение U = 10 В.

Решение

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2} = 1A;$$

---

198. Батареи с ЭДС ε_1 = 20 В, ε_2 = 30 В и внутренними сопротивлениями соответственно r_1 = 4 Ом, r_2 = 6 Ом соединены параллельно и согласно. Каковы должны быть параметры ε и r эквивалентного источника, которым можно заменить соединение?

Решение

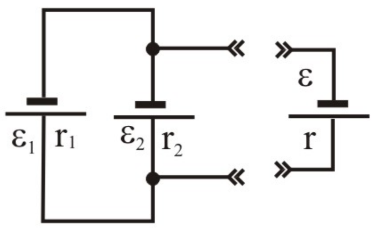


Рис. 199. Эквивалентная ЭДС

1. Определим силу тока, протекающего через источники при их совместном включении

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1}{r_1 + r_2} = \frac{20}{10} = 2\,A \quad I_1 = \frac{\varepsilon_2}{r_1 + r_2} = \frac{30}{10} = 3\,A.$$

2. Сила тока, который может быть получен от двух источников при их совместной работе

$$I_0 = I_1 + I_2 = 5A.$$

3. Общее внутреннее сопротивление

$$r_0 = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2} = 2{,}4\text{ Ом}.$$

4. Определим далее эквивалентную ЭДС

$$\varepsilon_0 = I_0 r_0 = 2{,}4 \cdot 5 = 12\,B.$$

Таким образом, эквивалентный источник должен иметь ЭДС ε = 12 В и внутреннее сопротивление r = 2,4 Ом.

---

200. Две батареи с одинаковым внутренним сопротивлением соединены так, что ЭДС образовавшегося источника напряжения равна ε. ЭДС одной из батарей 3/2ε. Нарисуйте все возможные схемы соединений. Для каждого варианта соединений определите ЭДС второй батареи.

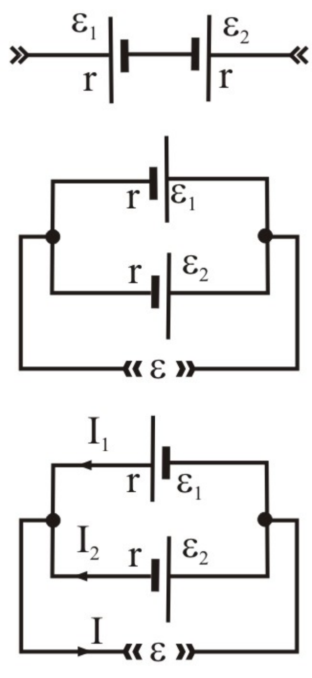


Рис. 200. Варианты соединения ЭДС

Решение

1. Один из вариантов включение источников последовательно и встречно, когда ЭДС второго источника равна $\varepsilon_2 = 0{,}5\varepsilon$, а $\varepsilon_1 = \varepsilon$. В этом случае общая ЭДС ε определится как $\varepsilon = 1{,}5\varepsilon - 0{,}5\varepsilon = \varepsilon$. Внутренне сопротивление такого включения источников будет равно 2r.

2. Возможно и параллельное согласное включение источников, общее сопротивление которых будет равно r/2. Падение напряжения на источниках будет одинаковым и равным ε. Сила тока через общую шину определится как

$$I = \frac{2\varepsilon}{r}.$$

Сила тока через первый источник

$$I_1 = \frac{\varepsilon_1}{r + r} = \frac{1{,}5\varepsilon}{2r}.$$

Сила тока через второй источник

$$I_2 = I - I_1 = \frac{2\varepsilon}{r} - \frac{1{,}5\varepsilon}{2r} = 1{,}25\frac{\varepsilon}{r}.$$

Электродвижущая сила второго источника

$$\varepsilon_2 = I_2 r = 1{,}25\varepsilon.$$

3. Следующий способ отличается от предыдущего тем, что источники включены встречно. Чтобы получить в результате батарею с ЭДС, равной ε, необходимо, чтобы у второго элемента ЭДС была равна ε/2, потому что их внутренние сопротивления включены параллельно. Сила тока через первый источник будет определяться как

$$I_1 = \frac{1{,}5\varepsilon}{r}.$$

Ток через второй источник

$$I_2 = I - I_1 = \frac{0{,}5\varepsilon}{r}.$$

Электродвижущая сила второго элемента должна составлять

$$\varepsilon_2 = I_2 r = 0{,}5\varepsilon.$$

---

201. По проводнику проходит ток силой I = 5 А в течение времени τ = 2 мин, при этом производится работа δA = 6 кДж. Каково напряжение на концах проводника?

Решение

$$\delta A \approx \Delta Q = IU\tau; \quad \Rightarrow \quad U = \frac{\delta A}{I\tau} = 10\text{В};$$

---

202. Чему равно отношение количеств теплоты, выделившейся за одно время на двух последовательно соединённых резисторах, если их сопротивления равны R_1 = 3 Ом и R_2 = 6 Ом?

Решение

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= I^2R_1\tau; \\ Q_2 &= I^2R\tau_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{1}{2}; \quad Q_1 : Q_1 = 1:2;$$

---

203. Чему равно отношение мощностей электрического тока при его прохождении через последовательно соединённые резисторы с сопротивлениями R_1 = 3 Ом, R_2 = 6 Ом и R_3 = 9 Ом?

Решение

$$P_1 = I^2R_1; \quad P_2 = I^2R_2; \quad P_3 = I^2R_3; \quad P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3 = 1:2:3;$$

---

204. Чему равно напряжение на втором резисторе, если электрическая цепь состоит из трёх последовательно соединённых резисторов, подключенных к источнику тока постоянного напряжения U = 24 В, при этом R_1 = 3 Ом, R_2 = 6 Ом, напряжение на третьем резисторе U_3 = 6 В?

Решение

1. Падение напряжения $U_1 + U_2$:

$$U_1 + U_2 = U - U_3 = 18В.$$

2. Сила тока в цепи:

$$I = \frac{U_1 + U_2}{R_1 + R_2} = 2A;$$

2. Падение напряжения на втором резисторе:

$$U_2 = IR_2 = 12В;$$

---

205. На катушку электрического звонка намотана медная проволока длиной ℓ = 14,4 м. Найти площадь поперечного сечения проволоки, если сопротивление катушки R = 0,68 Ом.

Решение

$$R = \frac{\rho\ell}{S}; \quad \Rightarrow \quad S = \frac{\rho\ell}{R} = \frac{1{,}64 \cdot 10^{-8} \cdot 14{,}4}{0{,}68} \cong 3{,}6 \cdot 10^{-7}\text{м}^2 = 0{,}36\text{мм}^2;$$

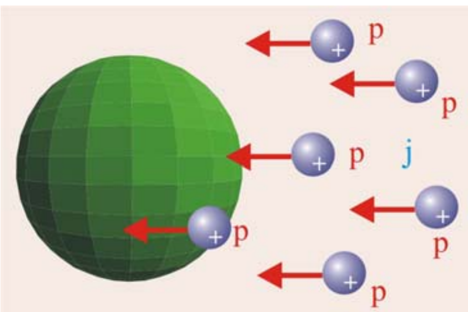


Рис. 206. Поток протонов

206. В протонный пучок с плотностью тока j = 1 мкА/см^2 поместили металлический шар радиусом r = 10 см. Определить, за какое время τ шар зарядится до потенциала φ = 220 В? Действие собственного поля шара на поток мало.

Решение

1. Изменение электрического потенциала шара определяется уравнением

$$d\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dQ}{r},$$

откуда изменение электрического заряда шара

$$dQ = d\varphi 4\pi\varepsilon_0 r.$$

2. Запишем далее уравнение силы тока в следующей форме

$$I = \frac{dQ}{dt} = js, \quad \frac{4\pi\varepsilon_0 r d\varphi}{dt} = \pi r^2 j,$$

откуда

$$\tau = \frac{4\varepsilon_0\varphi}{rj} \cong \frac{4\cdot 9\cdot 10^{-12}\cdot 220}{0{,}1\cdot 10^{-2}} \cong 8\,\text{мкс}.$$

---

207. Внутреннее сопротивление источника тока в 2 раза меньше нагрузочного сопротивления. Во сколько раз изменится сила тока, если нагрузочное сопротивление снизить в 2 раза?

Решение

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \frac{\varepsilon}{r+2r}; \\ I_2 &= \frac{\varepsilon}{r+r} = \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{3}{2}; \quad I_1 = 1{,}5 I_2;$$

---

208. В цепи постоянного тока при напряжении U = 20 В и силе тока I = 10 А в резисторе выделилось ΔQ = 1000 Дж теплоты. Какой заряд прошёл через резистор?

Решение

$$\Delta Q = IU\Delta t; \quad \Delta t = \frac{\Delta Q}{IU} = 5\text{с}; \quad \Delta q = I\Delta t = 50\ \text{Кл};$$

---

209. Какая сила действует на протон, движущийся со скоростью v = 10 Мм/с в магнитном поле с индукцией B = 0,2 Тл перпендикулярно линиям индукции?

Решение

1. На протон в магнитном поле действует сила имени Хендрика Лоренца

$$F_L = qvB\sin\left(\vec{v};\vec{B}\right) = 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{7}\cdot 0{,}2\cdot 1 = 3{,}2\cdot 10^{-13}\,\text{Н} = 0{,}32\text{пН};$$

---

210. Протон в магнитном поле с индукцией B = 0,01 Тл описал окружность радиусом r = 10 см. Найти скорость протона.

Решение

1. Условие нахождения протона на стационарной круговой орбите:

$$q_p vB = \frac{m_p v^2}{r}; \quad \Rightarrow \quad v = \frac{q_p B r}{m_p} = \frac{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{-2}\cdot 0{,}1}{1{,}67\cdot 10^{-27}} \cong 9{,}58\cdot 10^{4}\,\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---

211. Электрон, влетевший в зазор между полюсами магнита, имеет горизонтальную скорость v, перпендикулярную вектору индукции B магнитного поля. Куда направлена сила Лоренца?

Решение

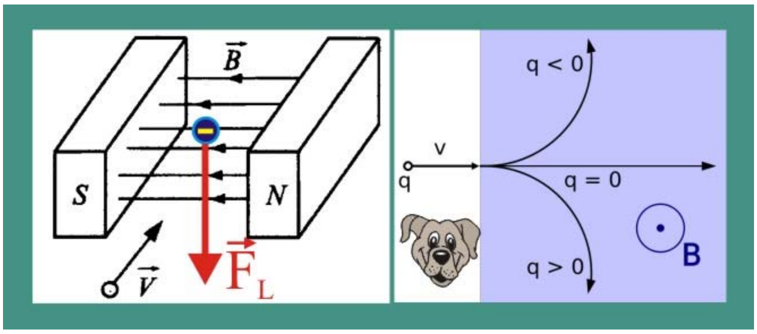


Рис. 211. Направление силы Лоренца

1. Электрон несёт отрицательный заряд, поэтому при определении направления силы Лоренца по правилу левой руки необходимо выбирать обратное направление или использовать правую руку.

---

212. Электрон движется в магнитном поле с индукцией B = 0,02 Тл по круговой траектории радиусом R = 0,01 м. Определить кинетическую энергию электрона, выразив её в джоулях и электрон-вольтах.

Решение

1. Запишем условие движения электрона по круговой траектории

$$\frac{mv^2}{R} = |e|vB,$$

и определим его линейную скорость

$$v = \frac{|e|BR}{m_e} \cong \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}01}{1 \cdot 10^{-30}} \cong 3{,}2 \cdot 10^7 \, \frac{м}{с}.$$

2. Кинетическая энергия электрона

$$K = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{10^{-30} \cdot 10^{15}}{2} = 5 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}.$$

3. Выразим значение энергии в электрон-вольтах

$$K = \frac{5 \cdot 10^{-16}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} \cong 3 \text{ кэВ}.$$

---

213. Электрон и протон влетают в магнитное поле с одинаковыми по модулю скоростями. Вектор скорости электрона перпендикулярен силовым линиям поля, а протона – параллелен. Каково отношение сил Лоренца, действующих на частицы?

Решение

1. Уравнение силы Лоренца:

$$|\vec{F}_L| = qvB\sin(\vec{v};\vec{B}),$$

показывает, что сила Лоренца будет иметь место только у электрона, на протон при таком его движении магнитное поле действия не оказывает.

---

214. Квадратная проволочная рамка расположена в однородном магнитном поле перпендикулярно вектору магнитной индукции B. Как направлена сила действия магнитного поля на сторону рамки cd?

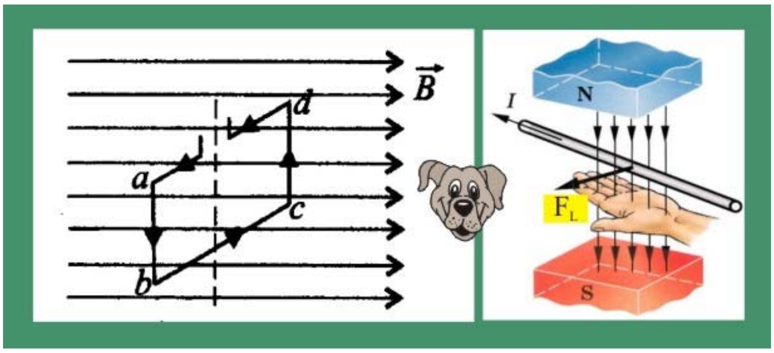


Рис. 214. Рамка с током в магнитном поле

Решение

1. Используя правило левой руки, найдём, что сила Лоренца будет направлена перпендикулярно плоскости чертежа от наблюдателя.

---

215. Электрон и α-частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям во скоростями v и 2v соответственно. Найти отношение модулей сил, действующих на частицы со стороны магнитного поля.

Решение

1. Условия нахождения частиц на круговых орбитах в магнитном поле:

$$\left.\begin{aligned} F_e &= |e|vB; \\ F_\alpha &= |2e|2vB; \end{aligned}\right\} \quad \frac{F_e}{F_\alpha} = \frac{1}{4};$$

---

216. В однородном магнитном поле, линии магнитной индукции которого направлены перпендикулярно плоскости рисунка от наблюдателя, находится проводник с током. Определить направление силы Ампера.

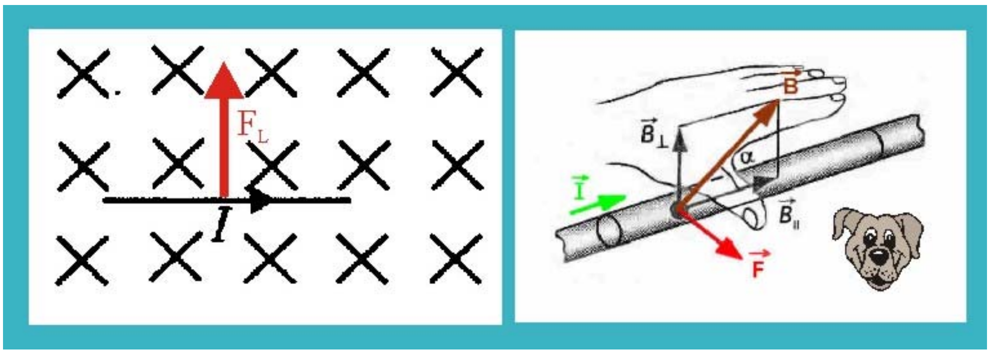


Рис. 216. Направление силы Ампера

Решение

1. Направление силы Ампера определяется так же как и для зарядов по правилу левой руки, вытянутые пальцы которой располагают в направлении тока в проводнике.

---

217. Прямолинейный проводник длиной ℓ = 20 см и массой m = 100 г перемещают в однородном магнитном поле индукцией B = 10 мТл со скоростью v = 3 м/с. Определить разность потенциалов, возникающую на его концах?

Решение

1. При перемещении проводника в магнитном поле на его концах возникнет разность потенциалов численно равная ЭДС индукции, величина которой определяется законом Майкла Фарадея

$$|\varepsilon_i| = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = \frac{BS\cos(\vec{B};\vec{n})}{\Delta t} = \frac{B\ell v\Delta t}{\Delta t} = B\ell v = 1\cdot 10^{-2}\cdot 0{,}2\cdot 3 = 6\ \text{мВ};$$

---

218. С какой скоростью надо перемещать прямолинейный проводник перпендикулярно силовым линиям магнитного поля, чтобы в нём возбуждалась ЭДС индукции ε = 1 В.Индукция магнитного поля B = 0,2 Тл, длина активной части проводника ℓ = 1 м.

Решение

$$|\varepsilon_i| = \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = \frac{BS\cos(\vec{B};\vec{n})}{\Delta t} = \frac{B\ell v\Delta t}{\Delta t} = B\ell v; \quad \Rightarrow \quad v = \frac{\varepsilon_i}{B\ell} = 5\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

---

219. Виток провода находится в магнитном поле, перпендикулярном плоскости витка. Концы витка замкнуты на амперметр. Магнитный поток меняется с течением времени согласно приведённому графику. В какой промежуток времени амперметр покажет наличие электрического тока в витке?

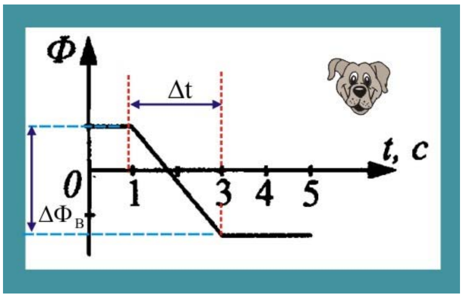


Рис. 219. Магнитный поток

Решение

1. Закон электромагнитной индукции Майкла Фарадея

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi_B}{dt},$$

утверждает, что ЭДС индукции может возникать только при переменном магнитном потоке, т.е. в данном случае в период времени Δt = 1 – 3 с.

---

220. На длинной тонкой невесомой нити подвешено золотое кольцо. Что произойдёт, если быстро поднести к нему постоянный магнит?

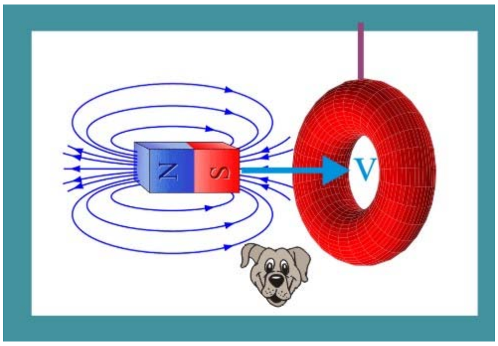


Рис. 220. Кольцо и магнит

Решение

1. Золото немагнитный материал, поэтому реакция кольца на магнит нулевая.

2. Магнитное поле постоянного магнита неоднородно, поэтому плоскость кольца будет пронизывать переменный магнитный поток и в кольце возникнет индукционный ток, который вызовет собственное поле кольца, причём по закону Ленца противоположного с полем магнита направления, поэтому взаимодействие полей по закону Ампера приведёт к отклонению кольца.

221. Имеются два параллельных проводника, по которым протекают токи одинакового направления. Определить направление вектора магнитной индукции в точке А.

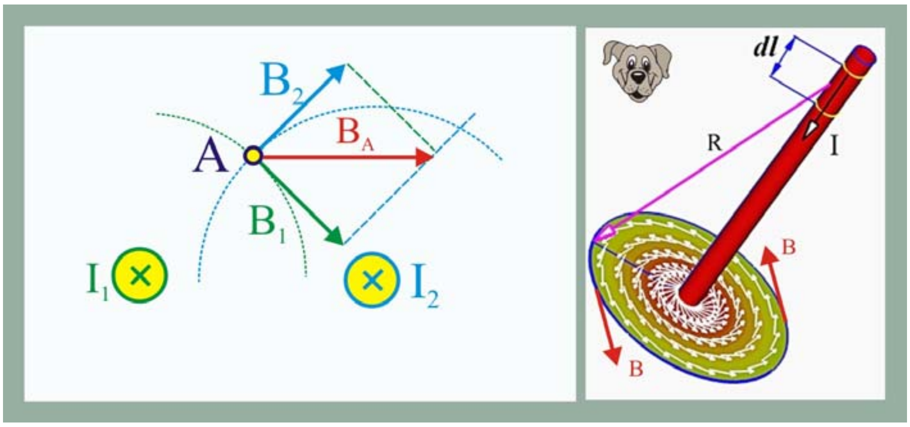


Рис. 221. Проводники с током

Решение

1. Направление магнитного поля прямолинейного проводника с током определяется по правилу правого винта: Если правый винт, закручивающийся по часовой стрелке разместить параллельно проводнику, так чтобы поступательное его перемещение совпадало с направлением тока, то направление вращения головки винта укажет направление вектора магнитной индукции создаваемого током магнитного поля.

---

222. По проводнику длиной ℓ = 2 м течёт ток силой I = 2А. Направление тока перпендикулярно индукции магнитного поля, которая равна B = 5 Тл. С какой силой действует магнитное поле на ток?

Решение

$$\vec{F}_A = I(\vec{B}\times\vec{\ell}); \quad \left|\vec{F}_A\right| = IB\ell\sin\left(\vec{B};\vec{\ell}\right) = IB\ell = 20\ \text{H};$$

---

223. В длинном соленоиде на каждый метр его длины приходится N = 10^4 витков. По обмотке течёт ток силой I = 4 А. Чему равна индукция магнитного поля в центре соленоида?

Решение

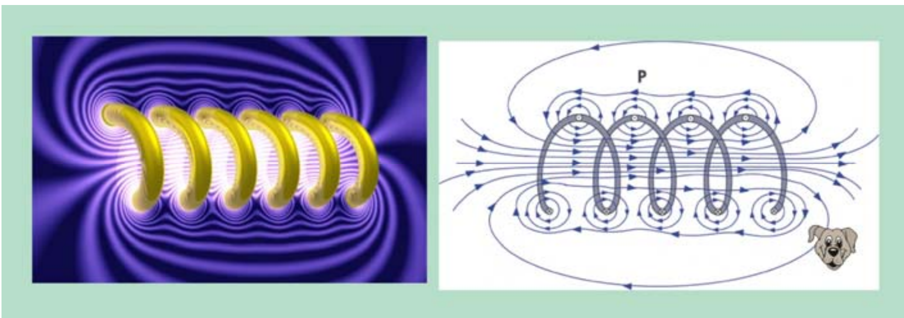


Рис. 223. Структура магнитного поля соленоида

1. Магнитное поле в центре соленоида определяется уравнением:

$$B = \frac{\mu_0 NI}{\ell} = \frac{4\pi\cdot 10^{-7}\cdot 10^4\cdot 4}{1} \cong 0{,}05\text{Тл};$$

---

224. За время Δt = 1 с магнитный поток, пронизывающий площадку, ограниченную проводящим контуром, уменьшается на $\Delta\Phi$ = 0,05 Вб. Чему равна ЭДС электромагнитной индукции, возникающей в контуре?

Решение

1. В соответствии с законом электромагнитной индукции Майкла Фарадея:

$$\varepsilon_1 = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = 0{,}05\text{В};$$

---

225. Чему равна индуктивность катушки, если при изменении тока на ΔI = 2А за время Δt = 1 с в ней возникает ЭДС самоиндукции ε_L = 0,01 В?

Решение

$$\varepsilon_L = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}; \quad L = \frac{\varepsilon_L \Delta t}{\Delta I} = \frac{0{,}01\cdot 1}{2} = 5\text{мГн};$$

---

226. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости контура площадью S = 0,5 м^2. Задано изменение магнитной индукции во времени. Определить ЭДС индукции в контуре.

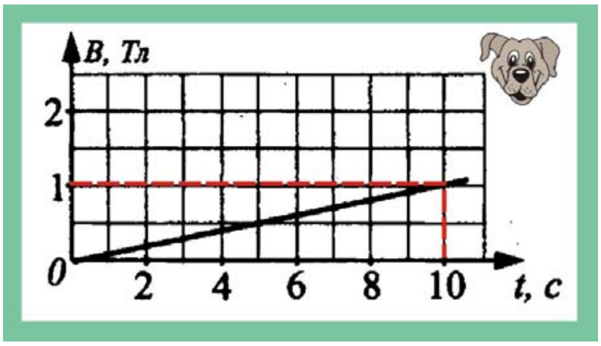


Рис. 226. Зависимость магнитного потока от времени

Решение

1.Изменение магнитной индукции (по графику)

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{1}{10} = 0{,}1\frac{\text{Тл}}{\text{с}};$$

2. Изменение магнитного потока через контур определит величину ЭДС

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta BS}{\Delta t} = 0{,}05\text{В};$$

---

227. Протон влетает в магнитное поле с индукцией B = 4 мТл со скоростью v = 5·10^5 м/с перпендикулярно вектору магнитной индукции. Какую работу совершает поле над протоном за один оборот по окружности?

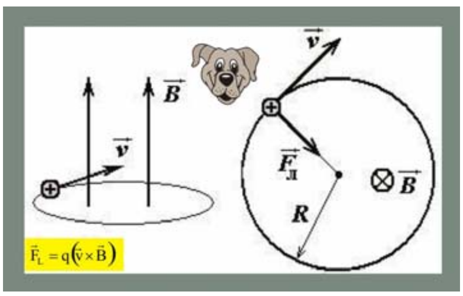


Рис. 227. Протон в магнитном поле

Решение

1. Естественно работа будет равна нулю, потому что сила Лоренца, которая должна бы совершать работу, все время перпендикулярна вектору скорости, т.е. вектору элементарного перемещения, следовательно:

$$\delta A = F_L dr\cos(\vec{F}_L; d\vec{r}) = 0;$$

---

228. Найти разность потенциалов на концах прямого проводника длиной ℓ = 1,2 м, движущегося в магнитном поле с B = 0,8 Тл перпендикулярно силовым линиям со скоростью v= 12,5 м/с.

Решение

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = \frac{B\Delta S}{\Delta t} = \frac{B\ell v\Delta t}{\Delta t} = B\ell v = 0{,}8\cdot 1{,}2\cdot 12{,}5 = 12\text{В};$$

---

229. В колебательном LC-контуре с C = 1 мкФ и L = 4 Гн существуют свободные гармонические колебания. Чему равен период этих колебаний?

Решение

1. В соответствии с уравнением Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 6{,}28\sqrt{10^{-6}\cdot 4} \cong 12{,}56\,\text{мс};$$

---

230. В начальный момент времени напряжение на конденсаторе максимально. Через какую долю периода T колебаний электромагнитная энергия будет максимальной?

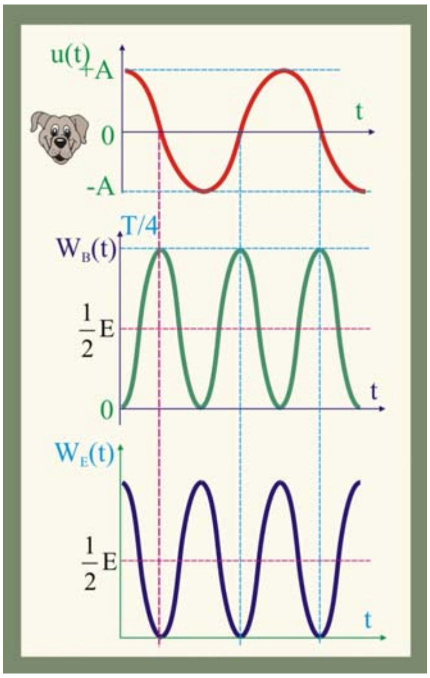


Рис. 230. Колебания в LC-контуре

Решение

1. Напряжение на конденсаторе изменяется по закону косинуса с циклической частотой ω и периодом $T = 2\pi\nu$

$$u(t) = u_m\cos\omega t = u_m\cos\frac{2\pi}{T}t;$$

2. Энергия колебательного контура представлена двумя компонентами, электрической и магнитной:

$$W_E = \frac{Cu(t)^2}{2};\quad W_B = \frac{Li(t)^2}{2},$$

причём обе составляющих изменяются с частотой вдвое большей, чем частота изменения силы тока через индуктивность и напряжения на конденсаторе.

3. Как видно из данных рис. 230 максимум W_B наступит через время T/4.

---

231. Заряд q на пластинах конденсатора колебательного LC-контура изменяется во времени по закону

$$q(t) = 10^{-6}\cos\left(10^4\pi t\right).$$

Найти временную зависимость силы тока через индуктивность.

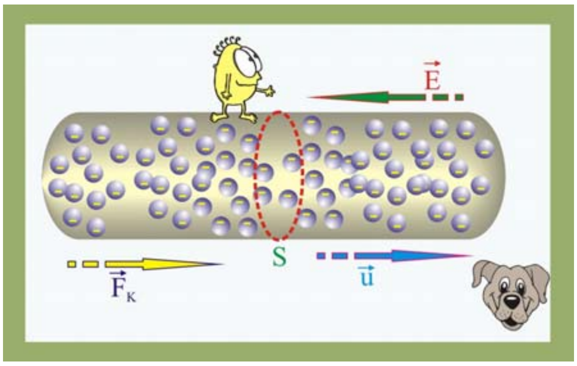


Рис. 231. Электрический ток в проводнике

Решение

1. Сила тока это физическая величина определяющая количество электрических зарядов, прошедших в единицу времени через поперечное сечение проводника

$$i = \frac{dq}{dt}.$$

2. Сила тока при заданном из-

менении электрического заряда определится как:

$$i(t)=\frac{dq}{dt}=-10^{-2}\sin\left(10^4\pi t\right);$$

---

232. Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью C и катушки индуктивности L. Как изменится частота свободных собственных электромагнитных колебаний в этом контуре, если ёмкость конденсатора и индуктивность одновременно увеличить в два раза?

Решение

1. Воспользовавшись формулой Томсона, запишем следующую систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned}T_1&=2\pi\sqrt{LC};\\ T_2&=2\pi\sqrt{4LC};\end{aligned}\right\}\quad\Rightarrow\quad\frac{T_1}{T_2}=\frac{1}{2};$$

---

233. Конденсатор ёмкостью C = 1 мкФ включен в идеальный контур с двумя параллельными катушками L_1 = 0,1 Гн, L_2 = 0,2 Гн. Найти амплитудное значение силы кока в контуре, если максимальное напряжение на обкладках конденсатора составляет u_m = 10 В.

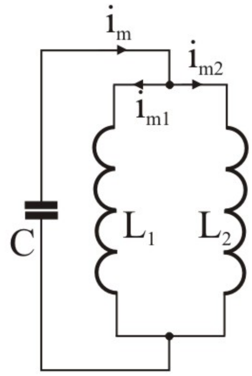


Рис. 233. Ёмкость и две индуктивности

Решение

1. Запишем закон сохранения энергии применительно к контуру

$$Cu_m^2=L_1i_{m1}^2+L_2i_{m2}^2.$$

2. При возникновении электромагнитных колебаний обе катушки пересекаются один и тем же магнитным потоком, т.е.

$$\Phi_{B1}=\Phi_{B2};\quad L_1i_{m1}=L_2i_{m2};\Rightarrow i_{m2}=i_{m1}\frac{L_1}{L_2}.$$

3. Суммарный ток в этом случае можно представить следующим образом

$$i_m=i_{m1}+i_{m2}=i_{m1}+i_{m1}\frac{L_1}{L_2}.$$

4. Выразим из уравнения максимального тока значения токов через катушки определятся как

$$i_{m1}=\frac{i_m}{1+\dfrac{L_1}{L_2}}=\frac{i_mL_2}{L_1+L_2},\qquad i_{m2}=\frac{i_mL_1}{L_1+L_2}.$$

5. Подставим значения токов i_{m1} и i_{m2} в исходное уравнение закона сохранения энергии

$$Cu_m^2=L_1\frac{i_m^2L_2^2}{\left(L_1+L_2\right)^2}+L_2\frac{i_m^2L_1^2}{\left(L_1+L_2\right)^2},$$

откуда

$$i_m=u_m\sqrt{\frac{C\left(L_1+L_2\right)}{L_1L_2}}=10\sqrt{\frac{10^{-6}\cdot 0,3}{0,1\cdot 0,2}}\cong 38,7\,\text{мА}.$$

---

4. Оптика

234. При распространении света из воды в воздух синус предельного угла равен $\sin\alpha_0$ = 0,75. С какой скоростью свет распространяется в воде?

Решение

1. Предельный угол полного отражения, при котором угол преломления равен $\pi/2$

$$\sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_2}{c} = 0{,}75; \quad \Rightarrow \quad v_2 = 0{,}75c = 0{,}75\cdot 3\cdot 10^8 = 2{,}25\cdot 10^8\,\frac{м}{c};$$

---

235. Если при переходе света из жидкости в воздух угол падения равен α, а угол преломления равен β, то какова скорость распространения света в жидкости?

Решение

1. Уравнение показателя преломления позволяет определить скорость света в жидкости v:

$$n = \frac{v}{c} = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}; \quad \Rightarrow \quad v = c\frac{\sin\alpha}{\sin\beta};$$

236.Луч света переходит из воды с показателем преломления n_1 = 1,33 в стекло с показателем преломления n_2 = 1,6. Как при этом меняется скорость света?

Решение

1. Скорость света в воде и стекле:

$$v_1 = \frac{c}{n_1} = 2{,}256\cdot 10^8\,\frac{м}{c}; \quad v_2 = \frac{c}{n_2} = 1{,}875\cdot 10^8\,\frac{м}{c};$$

2. Отношение скоростей:

$$\frac{v_1}{v_2} = 1{,}203;$$

---

237. На стеклянную пластинку с показателем преломления 1,5, падает луч света. Определить угол падения луча, если угол между отражённым и преломлённым лучом составляет β = 90°.

Решение

1. Как видно из построений хода лучей

$$\alpha + \beta + \gamma = \pi,$$

откуда

$$\gamma = \pi - \beta - \alpha;$$

2. С учётом заданного значения угла β = $\pi/2$

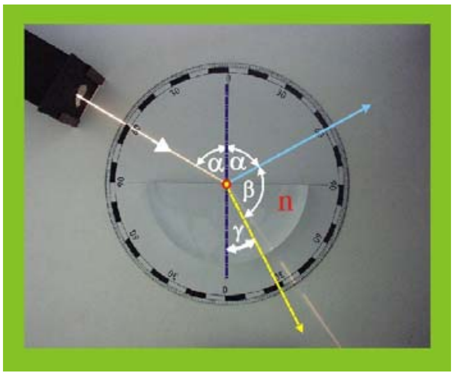


Рис. 237. Из воздуха в стекло

$$\gamma = \frac{\pi}{2} - \alpha;$$

3. По закону преломления света

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n;$$

4. Из уравнения для γ находим

$$\sin\gamma = \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = \cos\alpha;$$

5. Перепишем закон преломления в виде

$$\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \mathrm{tg}\alpha = n; \quad \alpha = \mathrm{arctg}n = \mathrm{arctg}1{,}5 \cong 0{,}98 \text{ рад} \cong 56{,}2^\circ;$$

---

238. Какое из природных явлений является доказательством закона прямолинейного распространения света?

Решение

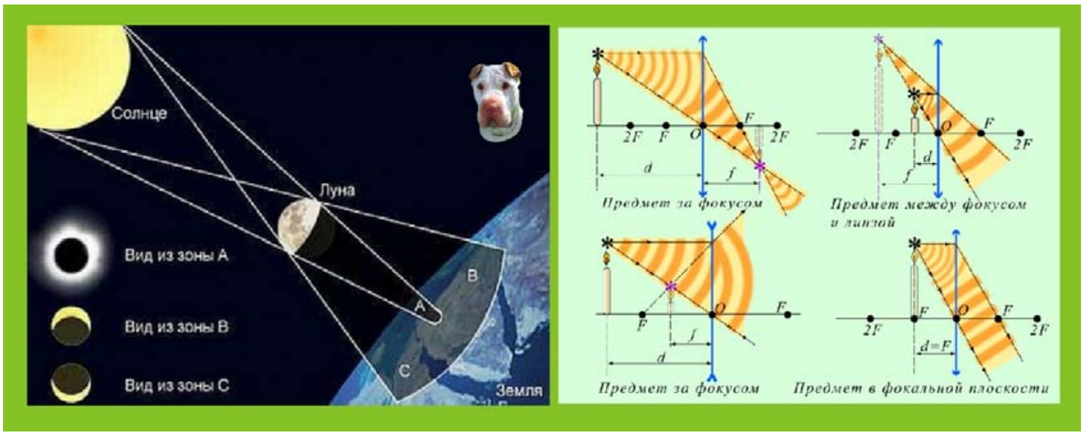


Рис. 238. Прямолинейное распространение света

1. Доказательством прямолинейного распространения света, (принцип наименьшего времени Ферма в геометрической оптике – постулат, предписывающий лучу света двигаться из начальной точки в конечную точку по кратчайшему пути, т.е. по прямой) является явление солнечного затмения.

2. Принцип Ферма является основой всей геометрической оптики, в частности получения изображения в линзах и зеркалах.

---

239. Красное и зелёное стекло сложены вместе. Какой свет проходит через эту систему?

Рис. 239. Зелёное и красное стекло

Решение

1. Как видно из рис. 239 смешение зелёного и красного света даёт радикально чёрный цвет, поэтому светофильтр из последовательно расположенных зелёного и красного стекла света пропускать не будет.

240. Под каким углом должен падать луч света на плоское зеркало, чтобы угол между отражённым и падающим лучом был равен 80^0?

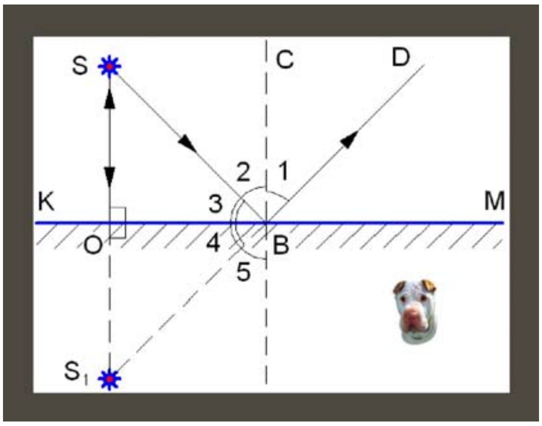


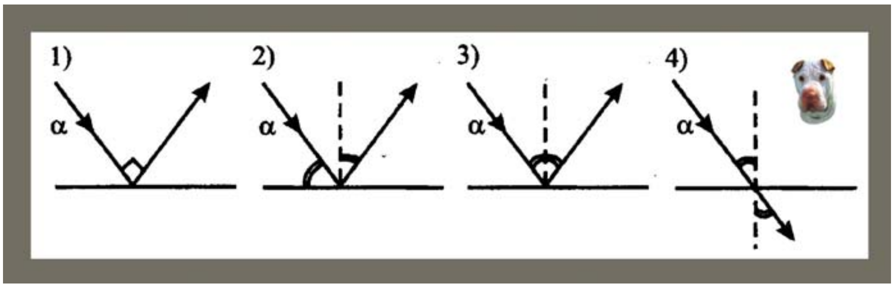
Рис. 240. Плоское зеркало

Решение

1. В соответствии с принципом Ферма сформулирован закон отражения света от границы двух сред: угол падения луча (отсчитываемый от нормали к поверхности раздела) равен углу отражения $\angle 1 = \angle 2$. Если $\angle 1 + \angle 2 = 80^0$, то $\angle 2 = 40^0$.

241. Световой луч α падает на границу раздела двух сред. Указать какое из построений правильное.

Решение



1. Правильным является построение 3, где угол падения равен углу отражения.

242. Какой из лучей продолжает световой луч S после преломления в линзе с главной оптической осью OO*?

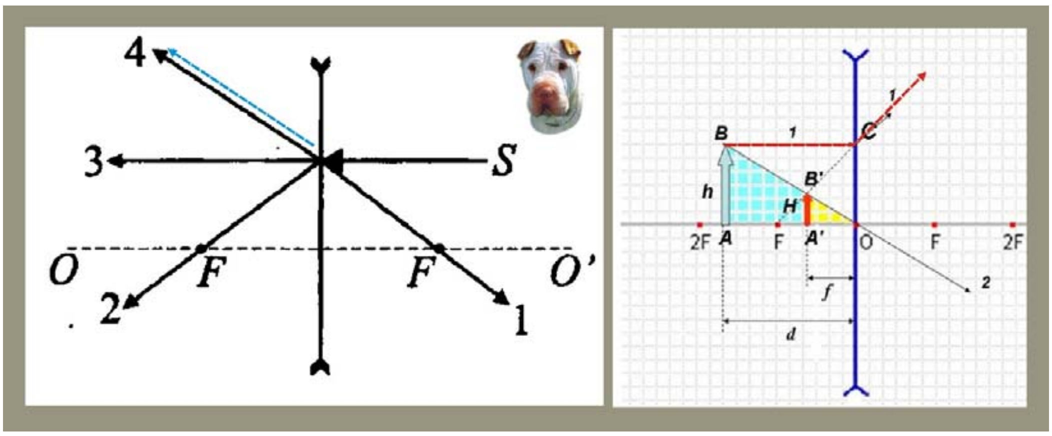


Рис. 242. Преломление луча в рассеивающей линзе

Решение

1. В рассеивающей линзе продолжение преломлённого луча должно проходить через фокус линзы, преломлённым будет луч 4.

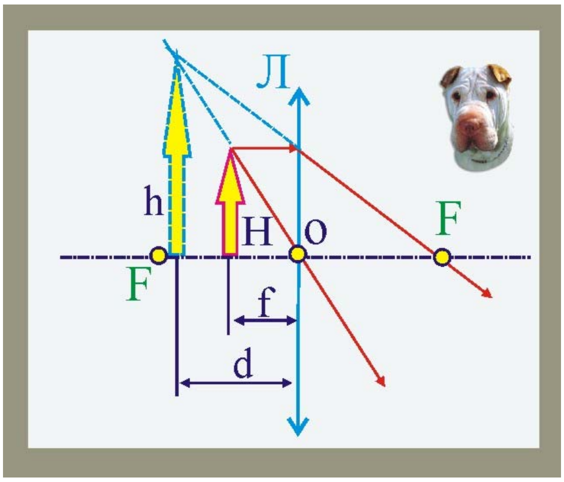


Рис. 243. Собирающая линза

243. Линза с фокусным расстоянием F = 30 см создаёт на экране изображение предмета увеличенное в 3 раза. Найти в сантиметрах расстояние от предмета до линзы.

Решение

1. Используя формулу увеличения собирающей линзы и формулу тонкой линзы, получим:

$$\frac{h}{H}=3=\frac{f}{d};\quad \Rightarrow \quad f=3d;$$

$$\frac{1}{3d}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F};\quad \Rightarrow \quad d=\frac{4F}{3}=40\text{см};$$

244. На экране, находящемся от линзы на расстоянии d = 20 см, получено чёткое изображение осветительного столба за окном. Определить фокусное расстояние линзы.

Решение

1. Предмет (столб) расположен на расстоянии существенно превышающим фокусное расстояние линзы F, т.е. $d \to \infty$. Формула линзы для этого случая представится следующим образом:

$$\frac{1}{\infty}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F};\quad \Rightarrow \quad \frac{1}{d}\cong\frac{1}{F};\quad F\cong d\cong 20\text{ см}.$$

245. Показатели преломления относительно воздуха для воды, стекла и алмаза соответственно равны: n_1 = 1,33; n_2 = 1,5; n_3 = 2,42. В каком из этих веществ угол полного отражения имеет максимальное значение?

Решение

1. В соответствии с законом Снеллиуса:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma}=\frac{1}{n};\quad \gamma=90^0;\quad \sin\alpha_0=\frac{1}{n};\quad \alpha_0=\arcsin\frac{1}{n};$$

$$\alpha_{0(1)}=\arcsin\frac{1}{n_1}\cong 48{,}8^0;\quad \alpha_{0(2)}=\arcsin\frac{1}{n_2}\cong 41{,}8^0;\quad \alpha_{0(3)}=\arcsin\frac{1}{n_3}\cong 30^0;$$

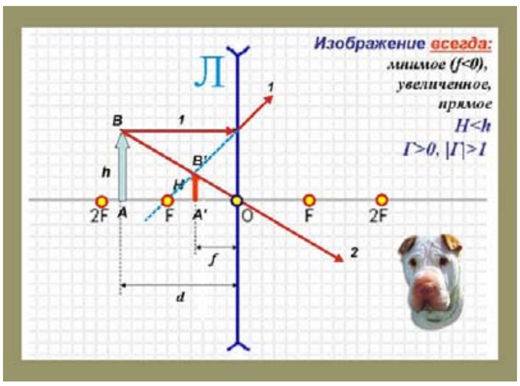


Рис. 246. Рассеивающая линза

246. На каком расстоянии должен находиться от рассеивающей линзы предмет, чтобы можно было получить уменьшенное, прямое, действительное изображение?

Решение

1. В рассеивающей линзе получить действительное изображение предмета, невозможно ни при каких обстоятельствах, даже исключительных.

247. На каком расстоянии должен находиться предмет от собирающей линзы, чтобы получалось перевёрнутое уменьшенное действительное изображение?

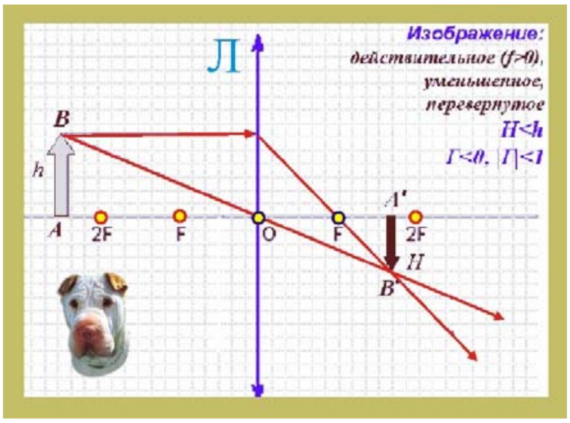


Рис. 247. Собирающая линза

Решение

1. Предмет следует изобразить за двойным фокусным расстоянием, в этом случае изображение будет действительным, перевёрнутым и уменьшенным.

---

248. Луч света падает на границу раздела сред. Что произойдёт с направлением преломлённого луча, если показатель преломления второй среды увеличить?

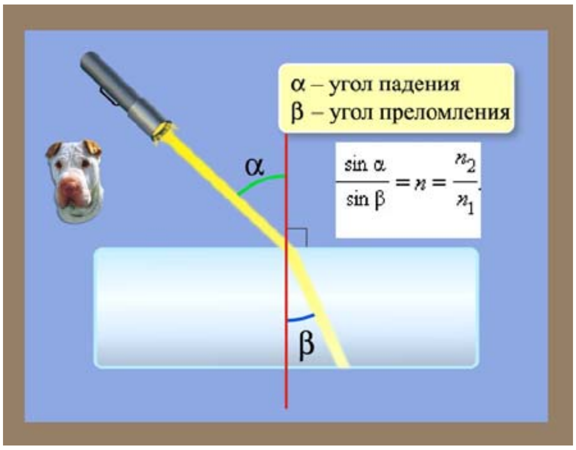


Рис. 248. Закон преломления света Снеллиуса

Решение

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}; \quad n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta;$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{n_1 \sin\alpha}{n_2}\right),$$

увеличение n_2 приведёт к уменьшению угла β.

---

249. Разность хода двух интерферирующих лучей равна λ/4. Чему равна разность фаз колебаний?

Решение

1. Длина волны представляет собой расстояние, на которое распространяется волновой фронт в течение одного периода колебаний, т.е. время в течение которого, фаза колебаний меняется на 2π, другими словами на расстоянии λ/4 фаза изменится на $\Delta\varphi = \pi/2$.

---

250. Дифракционная решётка с периодом d = 10 мкм расположена параллельно экрану на расстоянии L = 2 м от него. Дифракционную решётку освещают перпендикулярно падающим светом с длиной волны λ = 600 нм. Определить (в см) расстояние на экране от центра дифракционной картины до максимума второго порядка. Считать, что $\sin\varphi \approx \mathrm{tg}k$.

Решение

1. Уравнение дифракционной решётки:

$$d\sin\varphi = m\lambda,$$

где d – период решётки, φ – угол отклонения лучей от перпендикуляра, m – порядок интерференционного максимума.

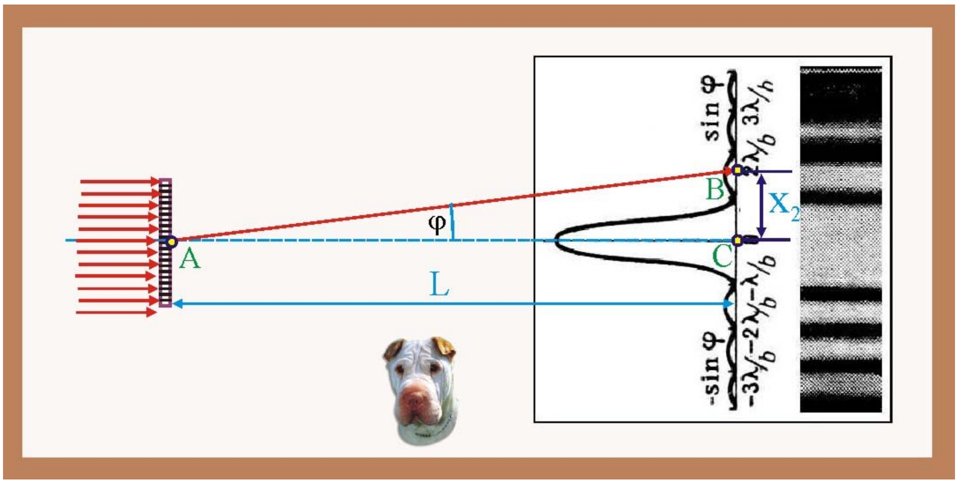


Рис. 250. Дифракция света на решётке

2. Значение sinφ:

$$\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d} = \frac{2\cdot 6\cdot 10^{-7}}{1\cdot 10^{-5}} \cong 0{,}12;$$

3. Расстояние x_2 из прямоугольного треугольника ABC

$$x_2 = L\sin\varphi \cong 0{,}24\ \text{м}\ (24\text{см});$$

---

251. Почему мокрые светлые ткани кажутся более тёмными?

Решение

1. Ткани представляют собой шероховатые поверхности, отражение от них диффузионное. Если их смочить, то шероховатость уменьшается и коэффициент отражения.

---

252. Фары закрытые специальными стёклами меньше слепят встречных водителей. На каком свойстве света основан принцип действия этих стёкол?

Решение

1. В стёклах используется явление поляризации – явление нарушения симметрии распределения возмущений в поперечной волне.

---

253. Лазерный луч падает перпендикулярно на дифракционную решётку, которая на экране даёт дифракционный спектр, состоящий из отдельных пятен. Какие произойдут изменения если использовать решётку с большим количеством штрихов на 1 мм?

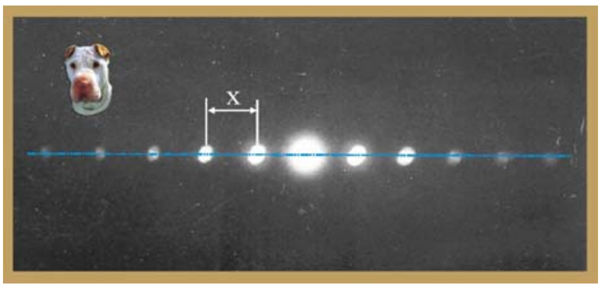


Рис. 253. Дифракция лазерного луча на решётке

Решение

$$d\sin\varphi = m\lambda,$$

$$x = L\sin\varphi = \frac{m\lambda}{d} = m\lambda N_0;$$

$$d = \frac{1}{N_0},$$

где N_0 – число штрихов на единицу длины решётки. При увеличении N_0 расстояние между максимами будет увеличиваться.

---

5. Элементы теории относительности

254. Космический корабль инопланетян поддерживает связь со своей планетой посредствам электромагнитных волн. Сравнить время приёма сигнала в зависимости от случая удаления и приближения корабля к планете.

Решение

$$v=\frac{v_1+v_2}{1+\frac{v_1v_2}{c^2}};\quad\Rightarrow\quad \tau_1=\tau_2=\frac{L}{c};$$

---

255. Два автомобиля движутся в одном и том же направлении со скоростями v_1 и v_2 относительно поверхности Земли. Чему равна скорость света от фар первого автомобиля в системе отсчёта, связанной со вторым автомобилем?

Решение

$$v=\frac{v_1+v_2}{1+\frac{v_1v_2}{c^2}};\quad\Rightarrow\quad v_1=v_2=c;$$

---

256. Полная энергия свободной движущейся частицы превосходит её энергию покоя на $\Delta\varepsilon$ = 2066 МэВ. Частица движется со скоростью v = 0,95 с. Чему равна энергия покоя частицы?

Решение

$$\Delta E=\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}-m_0c^2;\quad \Delta E=E_0\left(\frac{1}{\sqrt{1-0{,}95^2}}-1\right)\cong 2{,}2E_0;\quad E_0=\frac{\Delta E}{2{,}2}\cong 937\text{МэВ};$$

---

257. С космического корабля, движущегося к Земле со скоростью v_1 = 0,4с, посылают два сигнала: световой и пучок быстрых частиц, имеющих относительно корабля скорость v_2 = 0,8с. В момент пуска сигналов корабль находился на расстоянии s = 12 Гм от Земли. Какой из сигналов и на сколько раньше будет принят на Земле

Решение

1. Скорость частиц относительно Земли

$$v=\frac{v_1+v_2}{1+\frac{v_1v_2}{c^2}}=\frac{0{,}4c+0{,}8c}{1+0{,}32}=2{,}73\cdot10^8\,\frac{\text{м}}{\text{c}};$$

2. Времена движения сигналов к Земле

$$\tau_1=\frac{s}{c}=40c;\quad \tau_2=\frac{s}{v}=44c;\quad \Delta\tau=4c;$$

---

258. Полная энергия свободного электрона равна E = 0,8 МэВ. Определить скорость электрона.

Решение

$$E = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; \quad E_0 = m_0c^2 = 10^{-30}\cdot 9\cdot 10^{16} = 9\cdot 10^{-14}\,\text{Дж}\left(0{,}51\text{Мэв}\right);$$

$$0{,}8^2 = \frac{0{,}51^2}{1-\frac{v^2}{c^2}}; \quad 0{,}4c^2 = c^2 - v^2; \quad v^2 = 0{,}6c^2; \quad v = 0{,}75c\,;$$

---

259. При какой скорости движения масса электрона станет в два раза больше его массы покоя?

Решение

1. Так как

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}};$$

то, в соответствие с условиями задачи:

$$\frac{m_0}{m} = \frac{1}{2} = \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}; \quad \Rightarrow \quad v = \frac{c\sqrt{3}}{2} \cong 2{,}6\cdot 10^8\,\frac{\text{м}}{\text{c}};$$

---

260. До какой энергии E^* можно ускорить в циклотроне электроны, чтобы релятивистское увеличение массы не должно превышать 5% их массы покоя?

Решение

1. Искомая энергия определится в виде разности энергии движения и энергии покоя

$$E^* = E - E_0 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 = m_0c^2\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) = c^2\left(\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - m_0\right),$$

откуда:

$$E^* = c^2\left(m - m_0\right); \quad \Rightarrow \quad \frac{E^*}{m_0} = c^2\,\frac{m-m_0}{m_0} = 0{,}05; \quad \Rightarrow \quad E^* = 0{,}05m_0c^2\,;$$

$$E^* = 0{,}05\cdot 1\cdot 10^{-30}\cdot 9\cdot 10^{16} \cong 4{,}5\cdot 10^{-15}\,\text{дж} = 28{,}1\cdot 10^3\,\text{эВ}\,;$$

---

261. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составит η = 25%?

Решение

1. При движении с искомой скоростью длина стержня по условию задачи составит $0{,}75\,\ell_0$, другими словами,

$$0{,}75\ell_0 = \ell_0\sqrt{1-\frac{v}{c}}; \quad 0{,}56 = 1 - \frac{v}{c}; \quad 0{,}5625c = c - v; \quad c - 0{,}56c = v;$$

$$v = 1{,}32\cdot 10^8\,\frac{\text{м}}{\text{c}};$$

---

6. Квантовая оптика

262. Каковы обстоятельства, приведшие к необходимости пересмотра основополагающих идей классической механики?

Рис. 262.1. модель атома Резерфорда

1. В конце IXX и в начале XX века в физике были сделаны открытия, не объяснимые существовавшим в то время уровнем знаний в рамках классического естествознания. Так, например, уверенность в неделимости атома, как элементарной частицы материи, была развеяна остроумными экспериментами Эрнста Резерфорда, в результате которых выяснилось, что атомы не являются «элементарными кирпичиками» материи, а представляют собой достаточно сложные конструкции. Открытые Генрихом Герцем электромагнитные волны могли распространяться в пустоте, что потребовало полного пересмотра бытующей в те времена теории Мирового Эфира.

2. Классическая механика не могла объяснить особенности излучения абсолютно – чёрного тела и данные по фотоэффекту. Новые открытия ставили классические теории мироздания в ограничительные рамки. Благодаря стараниям Максвелла, Герца, Хэвисайда, Лоренца и Пуанкаре в начале XX в. был сформулирован «принцип относительности», корректирующий все основные положения классической механики.

3. Теоретическое противостояние старых и новых теорий, по сути, свелось к конкуренции между механическими и электромагнитными принципами устройства мира. Механическое мировоззрение сводило все процессы к рассмотрению движения отдельных материальных частиц, находящихся под действием известных систем сил. Христиан Гюйгенс по этому поводу говорил: «В истинной философии причину всех явлений природы стараются понять с точки зрения механики. По моему мнению, это так и следует делать, иначе придётся отказаться навсегда от всякой надежды, что-нибудь понимать в физике». Вновь открываемые явления считались теоретически обоснованными, если их, в конечном счёте, удавалось свести к уравнениям, придуманным великим Ньютоном. Главную задачу теоретической физики можно было обозначить, как механическое объяснение вновь открываемых законов природы.

4. Ещё в 1894 г. Генрих Герц писал: «Все физики единодушно признают, что задачей физики является подведение всех явлений природы под простые законы механики». Пьер Лаплас, например, был уверен, что если бы нашелся такой человек, который бы удержал в своём уме все положения, скорости всех атомов Вселенной и действующие силы, то он, используя законы Ньютона, мог бы рассчитать как прошлое, так и будущее Мира. Французский физик Корню говаривал: «Главная задача физики заключается в том, чтобы показать, как на-

блюдаемые нами явления, соединяемые сначала эмпирическими законами, в конце концов, с ходом научного прогресса, попадают в общие законы теоретической механики». Такой подход классиков вполне оправдал себя в развитии химии, учении о теплоте, классической электронной теории и других одноимённых смежных областях.

5. Вместе с тем новые открытия в области электричества, магнетизма и оптики при их механическом толковании встретили непреодолимые трудности на уровне существовавших представлений. Ведущим учёным-физикам стало ясно, что законы классической механики прекрасно объясняют все явления с высокой степенью точности при малых по отношению к скорости света скоростях и при не внезапности возникновения ускорения. Ван-дер-Ваальс по этому поводу писал: «Мы не имеем никаких оснований удивляться тому, что признание фундаментального значения законов механики встречает возражения. Напротив, я нахожу гораздо более достойным удивления то обстоятельство, что ещё раньше не искали объяснения законов механики в других, более общих законах. Законы механики представляются мне построенными на предположении, которое не может служить базисом нашего естествознания». К такому заключению учёного привели не философские сентенции, а многочисленные открытия экспериментальной физики.

6. Следуя мысли Г.А. Гуревича, высказанной в предисловии к лекции Анри Пуанкаре «Новая механика», можно утверждать, что любая наука, включая, естественно, физику, не способна сразу исследовать Природу в целом. Плодотворные исследования проявляются только при использовании основного метода, заключающегося делении общей картины на отдельные части и накопление о них исчерпывающей информации. Именно таким путём возникли различные науки, потом отдельные области наук и произошло дальнейшее ветвление. Все Древние Греки, без исключения, занимались одной наукой – натурфилософией, и которой позже возникли: математика, физика, химия, астрономия и т.д.

7. Наряду с процессами дифференциации знания, буквально параллельно, всегда развиваются процессы интеграции знаний, процессы, направленные на объединение знаний в отдельных областях. Так например, установив, что звук представляет собой упругую волну, в акустике стали с успехом использовать механические законы, что привело к появлению волновой теории. Не без успеха, правда с некоторыми оговорками, законы механики удалось использовать в термодинамике, где появилась механическая теория теплоты. Обнадёживающие результаты, на первых порах, были получены и в небесной механике при описании посредствам закона гравитации Ньютона движения небесных тел.

8. Рассматривая картину Мира с механических позиций, наука пришла к введению в рассмотрение двух основополагающих понятий материи и энергии. В соответствие с такими представлениями совокупность вещества рассматривалась как материя, а явления тепловые оптические и электромагнитные, как энергетические проявления. Было установлено, что как материю, так и энергию нельзя ни создать, ни уничтожить. Материя и энергия может принимать различные формы и при определённых обстоятельствах, но не могут превращаться друг в друга. Нельзя наблюдать материю без энергии и наоборот, энергию без материи.

9. С позиций классической механики материя и энергия являются двумя, взаимно исключающими понятиями. При изучении тепловых или электрических явлений всегда пытались установить, что это: материя или энергия.

10. С появлением электродинамики Максвелла, Герца, Хевисайда, показавшей, в частности, что свет является электромагнитной волной, появилась необходимость рассматривать электрические, магнитные и световые явления, как происходящие из одного источника. Появилось совершенно новое понятие «электромагнитное поле», как электрическое, так и в магнитное поле переносили энергию. Это обстоятельство с позиций классической физики ещё более отдалили друг от друга понятия материи и энергии. Для распространения энергии электромагнитного поля по новой электродинамике вообще не требовалось материи. Электрическое и магнитное поле могут проявляться и в пустоте. Яркий пример тому Солнце. Электромагнитная волна путешествует в условиях космического вакуума к Земле около 500 с, проходя колоссальное расстояние $1{,}5\cdot10^{11}$м.

11. Электромагнитная теория подтолкнула физиков к новым исследованиям, одни из результатов которых стало открытие электрона, элементарного электрического заряда. Оказалось, что электроны ответственны за теплопроводность и электропроводность веществ, колеблющиеся электроны являются причиной возникновения электромагнитных волн, именно обмен электронами составляет суть химических реакций. Оптические явления излучения и поглощения света тоже происходят вследствие особенностей поведения электронов. Получалось, что электроны, являясь составной частью всех известных видов материи, демонстрируют единство уже трёх основополагающих понятий: материи, энергии и электромагнетизма. Движущиеся ускоренно электроны обладают собственным магнитным полем. Таким образом, получалось, что материя и энергия, вопреки классическим представлениям не являются понятиями отстранёнными друг от друга.

12. Как показали исследования Фарадея, Беккереля и Гельмгольца электричество в форме направленного движения носителей заряда, так же как и материя состоит из электронов. Присутствие электронов было обнаружено в газоразрядных трубках и β – лучах, испускаемых радиоактивными веществами, в частности, радием. Неподвижные электроны, если к ним условно применять это понятие, обладают собственным электрическим полем, а при движении возникает ещё и магнитное собственное поле.

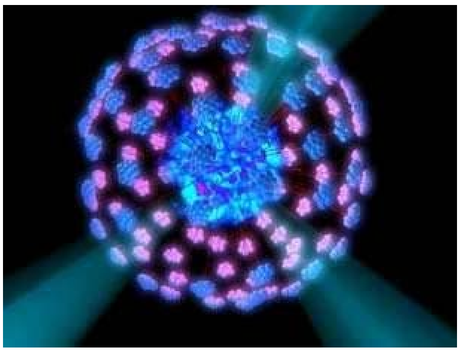


Рис. 262.2. Условная модель электрона

13. Несмотря на достаточно полно изученные свойства электрона, вопрос о материальной сущности носителя элементарного носителя даже в настоящее время остаётся открытым. Казалось, что электрон, обладая массой $m_e \cong 1\cdot10^{-30}$ кг (самой маленькой на момент его открытия) и самым маленьким (элементарным) зарядом можно отождествить, хотя бы образно, самую маленькую массу с самым маленьким зарядом. Так одно время и полагали. До открытия протона, заряд которого оказался практически совпадающим с электроном, только у протона заряд положительный, а вот масса была $m_p \cong 1{,}67\cdot10^{-27}$ кг, т.е., примерно в 1670 раз больше массы электрона, и это при одинаковом по модулю заряде. Иллюзии о простой взаимосвязи между элементарной массой и элементарном заряде рассеялись.

14. Поскольку все тела имеют в своём составе электроны, то такие свойства тел как масса и инерция должны по логике вещей иметь электромагнитную

природу. Другими словами все материальные объекты представляются результатом электромагнитного взаимодействия. Уместно вспомнить, что периодическая система химических элементов Д.И. Менделеева удалась в полной мере только после того, как Менделеев расположил вещества в зависимости от числа электронов делающих тот или иной атом электрически нейтральным.

15. Интересно при таком подходе было установить, что представляет собой электричество, которое с классических позиций представляло исключительно энергетическую субстанцию? Оказалось, что электроны, присутствующие в атомах в своих стационарных состояниях демонстрируют все свойства материи, но как только таковые состояния меняются, возникают электромагнитные волны, начинают проявляться ярко выраженные энергетические свойства, такие как электрический ток, теплопроводность. Таким образом, образ электричества в реальности не является ни материей, ни энергией, а представляется как источник той и другой сущности. Выходило, что материя и энергия всё-таки могут преобразовываться одно в другое, чего в принципе не допускала классическая механика.

16. Такая революционная мысль пришла сразу нескольким учёным. В 1879 г. когда Эйнштейн только появился на свет, Вильям Крукс, изучая прохождение электрического тока через разреженные газы, назвал электроны, испускаемые металлическим катодом «лучистым состоянием материи». Крукс по этому поводу писал: «Изучая четвёртое лучистое состояние материи, мы, как мне кажется, имеем под руками и в сфере наших исследований те первичные атомы материи, из которых, как вполне основательно предполагают, состоят все тела природы. Мы видим, что лучистая материя по одним своим свойствам так же материальна, как вот этот стол, по другим она скорее похожа на лучистую энергию. **Мы действительно коснулись той пограничной области, где материя и энергия переходят одна в другую**. Я думаю, что величайшие задачи будущего найдут своё разрешение в этой пограничной области; здесь, как мне кажется, лежит граница всего реального мира!». Примерно в это же время, ознакомившись по рекомендации Герца с уравнениями Максвелла, английский исследователь Оливер Хевисайд записал в своём дневнике уравнение, связывающее массу и энергию $\mathbf{E = mc^2}$.

17. Таким образом, наметилось единство между материей и энергией. Материя по классическим представлениям должна занимать определённое место в пространстве, т.е должна иметь вполне определённый объём и некоторую плотность. Электродинамические открытия показывали, что энергия тоже локализована в пространстве и её плотность может быть вычислена. Кроме того, «закон сохранения материи» указывает на то, что материя не может исчезнуть в одном месте и мгновенно появиться в другом, она определённое время последовательно проходит промежуточные состояния от начального положения до конечного. Согласно «закону сохранения энергии» она ведёт себя подобным образом. Движущаяся материя обладает свойством инертности, т.е. сопротивляемостью изменениям ей движения. Опыты показывали, что для организации движения энергии, необходимо производить работу, а для препятствования распространения нужно вовлекать в процесс дополнительную энергию. Другими словами напрашивался вывод о свойствах энергии обладать свойствами аналогичными массе и инертности.

18. Одинаковость свойств материи и энергии привели учёных к возникновению очередного фундаментального опасения: можно ли вообще ставить вопрос об отличии материи и энергии. Поскольку электромагнитная волна, рас-

пространяющаяся со скоростью света, переносит энергию, и движущееся тело обладает кинетической энергией, учёные допустили, что энергия излучения обладает массой. Пример в виде Солнца у всех был перед глазами. Излучение в пространство колоссальной энергии, должно в соответствие с законами сохранения чем-то компенсироваться. Чем? Кроме массы ничего более логичного на ум не приходило.

Рис. 262.3. Излучение нагретых тел

19. В 1893 г Вильгельм Вин, установивший закон излучения электромагнитных волн, нагретыми телами, пришёл к заключению, что масса тела может рассматриваться как суммарная электрическая и магнитная энергия его электронов, т.е. масса и энергия должны рассматриваться как эквивалентные сущности. Вин совместно с Филиппом Эдуардом Антоном фон Ленардом, исследовавшим катодные лучи, пришли, независимо друг от друга, к заключению, что массу возможно рассматривать как концентрацию значительной величины энергии. В этом случае законы сохранения массы и энергии можно объединить, рассматривая эти две категории, как составляющие одной и той же сущности. На основании открытий IXX и начала XX вв. энергия материализовалась!

20. Ещё со времён Демокрита высказывались предположения о структурном строении материи. Именно Демокрит в V в. до с.л. ввёл, по сути, понятия неделимого атома, как элемента материи. Ели материя и энергия составные части одной сущности, а материя дискретна, то энергия тоже должна быть дискретной.

21. Дискретные (квантовые) свойства энергии впервые были установлены при описании излучения абсолютно-чёрного тела. Напомним, что классические волновые представления реализованные Рэлеем и Джинсом приводили к уравнению

$$u_\lambda = \frac{k_B T}{\pi^2 c^3}\int_0^\infty \lambda^2 d\lambda = \infty ,$$

где u_λ – объёмная спектральная плотность излучения, k_B – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, c – скорость света, λ – длина волны. Уравнение получено на основе классической теории электрона, как элементарного гармонического осциллятора, генерирующего волну вследствие собственных колебаний. Уравнение сносно описывало только область относительно больших длин волн видимого диапазона, а в области ультрафиолетовой части спектра , плотность излучения устремлялась в бесконечность, что получило среди физиков имя нарицательное «ультрафиолетовая катастрофа». Макс Планк, отвлекшись от физики процесса, решил просто подогнать эмпирическую зависимость под данные эксперимента, и у него получилось уравнение

$$u_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T} - 1\right)} .$$

22. Странность этого уравнение заключалась в том, что оно содержало некую постоянную величину $\hbar = h/2\pi \approx 1\cdot 10^{-34}$ Дж·с, ($h \approx 6{,}6\cdot 10^{-34}$ Дж·с). **Это означало, что обычный гармонический осциллятор мог излучать энергию только порциями.** Позже Планк нашёл теоретическое обоснование своему уравнению. Он высказал гипотезу о том, что электромагнитная энергия излучается и поглощается не непрерывно, а порциями, названными квантами. Согласно этой гипотезе энергия гармонического осциллятора могла принимать только фиксированные значения, отличающиеся на величину

$$\varepsilon_f = hf \equiv h\nu .$$

где $h \approx 6{,}6\cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка, f, ν – частота. Таким образом, обмен энергией резонирующего электрона происходит порциями $<\varepsilon>= nh\nu$, т.е. квантовыми скачками.

23. На основании экспериментальных и теоретических исследований учёные пришли к выводу, что классическая механика описывает частный случай, правда, весьма распространённый в повседневной жизни, движения с малыми скоростями, а в общем же случае такие понятия как масса и энергия необходимо рассматривать с единых электромагнитных позиций.

---

263. Каковы энергетические характеристики светового кванта?

1. Начиная с середины IXX в. волновая природа света полагалась основополагающей при изучении всех оптических явлений (Матвеев А.Н. Атомная физика), дифракция и интерференция были тому яркими подтверждениями. Корпускулярный вариант, главенствующий во времена Ньютона, был отклонён, как казалось, окончательно.

2. Появление волновой теории в электромагнитной форме, как отмечено выше, не решило некоторых возникших трудностей при объяснении ряда явлений, в частности, теплового излучения абсолютно-чёрного тела и фотоэффекта. Первым, кто «угадал» правильную формулу для излучения абсолютно-чёрного тела 1900 г. был Макс Планк. Несколько позже им же было теоретически обосновано уравнение и в научный обиход вошло понятие квантов.

3. При подгонке своей формулы под экспериментальные данные Планку пришлось ввести абсолютно не типичную для классической волновой теории гипотезу: излучение и поглощение света веществом протекает не непрерывно, а конечными порциями или квантами. С целью согласования гипотезы с законами термодинамики и электродинамики, Планк предположил, что энергия одного кванта ε, излучаемая или поглощаемая гармоническим осциллятором с собственной частотой колебаний ν, должна определяться уравнением:

$$\varepsilon = h\nu ,$$

где h – универсальная постоянная, названная впоследствии постоянной Планка.

4. Значение вновь введённой постоянной Планк вычислил по данным экспериментальных исследований излучения абсолютно-чёрного тела. Непосредственное измерение величины постоянной планка выполнил Роберт Милликен. В настоящее время принято, то

$$h = 6{,}626176(36)\cdot 10^{-34}\,\text{Дж}\cdot\text{с};$$

В расчетах часто используется произвольная величина $\hbar$, введённая Дираком

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1{,}054571726(47)\cdot 10^{-34}\,\text{Дж}\cdot\text{с};$$

Энергия Планка через постоянную Дирака выражается следующим образом:

$$\varepsilon = \hbar\omega,$$

где $\omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота.

5. На основании представлений планка для распространения света было введено понятие фотона или кванта света. Это не было в полном смысле возвратом к корпускулам Ньютона и его последователей. Несмотря на то что фотоны рассматриваются как своеобразные частицы, они демонстрируют полномасштабные волновые свойства, такие как интерференция и дифракция. Эта особенность фотонов была названа **корпускулярно-волновым дуализмом**. Образ такой сущности не возможно воспроизвести даже в воображении, чтобы «нечто» было одновременно волной и частицей. При операциях с фотонами приходится полагаться не на воображение, а на результаты конкретных экспериментов.

6. Всякий материальный объект, фотон не исключение, обладающий энергией должен обладать импульсом, который, кстати, проявляется при давлении, оказываемом электромагнитными волнами светового диапазона. Согласно преобразований Лоренца и гипотезы Пуанкаре, импульс фотона можно выразить из уравнения

$$\left(\frac{\varepsilon}{c}\right)^2 - p^2 = (m_0c)^2;$$

7. Фотон перемещается в пространстве со скоростью света. Если принять массу покоя фотона равной m_0, то его релятивистская масса должна формально определится как:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}},$$

т.е. при такой трактовке масса фотона должна быть равна бесконечности т.к. $v = c$, ничего не остаётся как допустить, что фотон не обладает массой покоя $m_0 = 0$, в этм случае

$$\varepsilon = pc;$$

8. Основное отличие при рассмотрении энергетических характеристик фотона с квантово механических позиций от классических представлений заключается в том, что энергия пропорциональна е амплитуде, а частоте.

9. Корпускулярные свойства фотона характеризуются энергией и импульсом, а волновые – частотой ω и волновым вектором $\vec{k}$, тогда

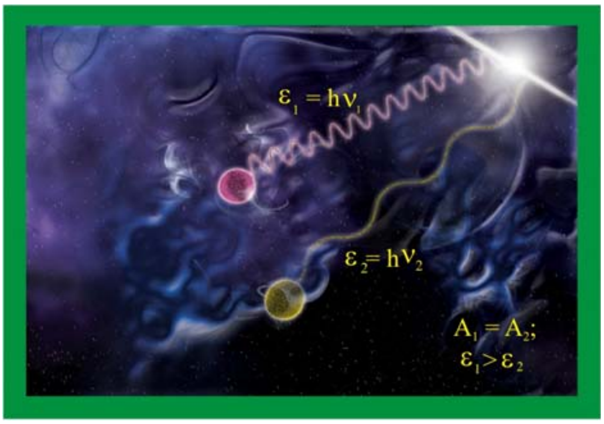


Рис. 263. Энергия фотона зависит от частоты

$$\varepsilon = \hbar\omega; \quad \vec{p} = \hbar\vec{k};$$

10. При взаимодействии с веществом фотоны могут испускаться, поглощаться и рассеиваться, причём, во всех этих процессах число фотонов не сохраняется, но законы сохранения импульса и энергии выполняются.

264. При решении, каких задач возникли трудности в классической физике, приведшие к появлению квантово-механических представлений об устройстве материи?

1. Несмотря на несомненные успехи классической электродинамики и классической механики к концу XIX в. в физике обозначился ряд проблем, которые в рамках существовавших представлений не получили внятного объяснения. К таким проблемам следует отнести:

- Удельные теплоёмкости при измерениях оказались ниже значений, предсказываемых молекулярно-кинетической теорией;
- Устойчивость атомов, которые не должны быть устойчивыми по причине непрерывного излучения электромагнитных волн вследствие ускоренного движения электронов по орбитам;
- Законы фотоэффекта не соответствовали представлениям электронной теории;
- Законы излучения абсолютно чёрного тела противоречили волновой классической теории;
- Явление радиоактивности не могло быть объяснено с позиций классической физики.

2. Одним их необъяснимых с классических позиций, был вопрос о тепловом излучении нагретых тел. Всем известно, что тела, нагретые до высоких температур, начинают излучать электромагнитные волны в видимом диапазоне длин волн. При относительно низких температурах некоторые вещества светятся при люминесценции или под влиянием падающих электронов.

3. При спектральных исследованиях было обнаружено, что излучаемые электромагнитные волны имеют разные амплитуды и длины волн, т.е. излучение имеет вполне определённый спектр. Напомним, что между частотой f, периодом T, скоростью распространения c и длиной волны имеют место соотношения

$$f = \frac{1}{T}; \quad \lambda = cT; \quad c = f\lambda; \omega = 2\pi f,$$

где $c \approx 3\cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме. Видимый свет имеет длины волн в диапазоне от $\lambda_{кр} \approx 760$ нм до $\lambda_{фиол} \approx 380$ нм. На рис. 19.1.1 приведена шкала электромагнитного излучения для волн обнаруженных к настоящему времени.

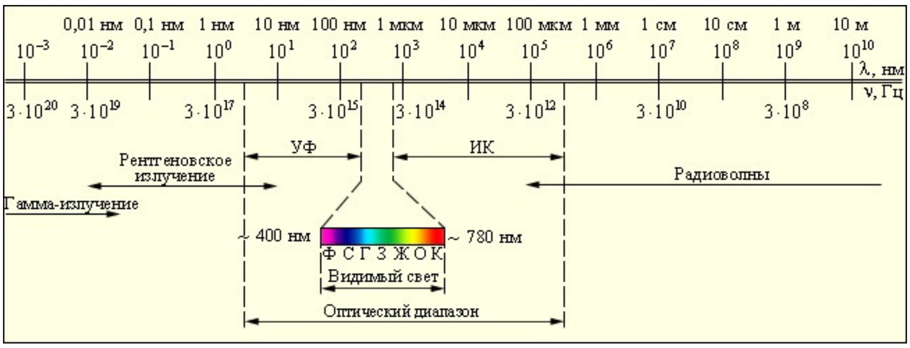


Рис.264.1. Шкала электромагнитных волн

4. Спектры электромагнитного излучения могут быть сплошными и линейчатыми. **Сплошные спектры**, в большинстве своём, излучаются веществами, находящимися в твёрдом или жидком состоянии, при относительно больших температурах. Сплошной спектр имеет место при резком торможении электро-

нов у антикатода рентгеновских трубок. **Линейчатые спектры** испускаются веществами в газообразном или парообразном состоянии, их можно обнаружить при относительно низких температурах.

5. Электронная классическая теория объясняет возникновение излучения колебаниями электронов под действием различных внешних причин, причём период колебаний представляется в соответствие с этой теорией уравнением

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_e}{b}} ,$$

где m_e – масса электрона, b – коэффициент квазиупругой силы. Поскольку массы электронов в классической физике принимаются постоянными $m_e \approx 1\cdot10^{-30}$ кг, то разные длины испускаемых волн можно объяснить только различными значениями коэффициента b. В иных линейчатых спектрах обнаружено до 10^5 отдельных спектральных линий, а в случае сплошных спектров, разговор о неком наборе значений b теряет всякий смысл. Если бы в конце XIX в. было бы известно строение атомов, то можно было бы в соответствие с особенностями строения атомов скорректировать теорию, но происходило всё наоборот. О строении атомов приходилось судить по спектрам, которые они испускали.

6. Первые затруднения классической теории начались при объяснении излучения абсолютно-чёрного тела. На рис. 19.1.2 приведен внешний вид одного из вариантов такого тела. Массивная сфера с толстыми теплоизолированными стенками имеет малое отверстие. Если в это отверстие направить луч света, то он многократно отразившись от внутренней поверхности наружу не выйдет. Если внутрь сферы поместить небольшое раскалённое тело, то его излучение будет происходить только через отверстие.

Рис. 2642. Модель абсолютно-чёрного тела

7. В соответствие с законом Кирхгофа спектр излучения должен совпадать со спектром испускания. Таким образом, свечение тела, находящегося внутри сферы должно определяться только температурой. В модели приведенной на рис. 19.3.2 электрическим током нагревается тонкий слой внутренней поверхности, излучение выходит за пределы сферы только через отверстие. Первые опыты по изучению спектра абсолютно-чёрного тела были проведены Луммером и Прингсгеймом, получился довольно обескураживающий результат.

Проведенные спектроскопические исследования позволили установить следующие закономерности излучения:

- Спектр излучения абсолютно черного тела является сплошным, т.е. в спектре представлен непрерывный ряд различных длин волн;
- Распределение энергии в спектре излучения зависит от длины волны. С увеличением длины волны спектральная плотность энергии увеличивается, достигает отчетливо выраженного максимума при некоторой длине волны λ_{max}, а затем уменьшается;
- С повышением температуры максимум излучения смещается в сторону более коротких волн.

8. Принято считать, что теоретические исследования теплового излучения начались работами Кирхгофа в 1859 г. после открытия им закона теплового из-

лучения. Именно Кирхгоф предложил концепцию абсолютно-чёрного тела и описал его модель. Оказалось, что тепловое излучение является наиболее распространённым видом электромагнитных волн.

9. Тепловое излучение является следствием уменьшения внутренней энергии тела и наблюдается при любой температуре отличной от 0 ^{0}К. Следуя закону сохранения энергии, тепловое излучение должно приводить к уменьшению внутренней энергии, т.е. к охлаждению излучающего тела, если к нему не подводится энергия извне. При поглощении телом электромагнитных волн его внутренняя энергия возрастает, что приводит к увеличению температуры. Постоянное испускание и поглощение электромагнитной энергии приводит к тому, что устанавливается динамическое равновесие между двумя этими процессами.

10. Излучение удобно характеризовать его энергией W и потоком излучения Φ_e, который определяется энергией, излучаемый за единицу времени

$$\Phi_e = \frac{W}{\tau},$$

11. Чтобы сравнивать излучающие способности тел различной площади вводят понятие энергетической светимости Re, которая определяется как отношение потока излучения к площади излучающей поверхности

$$R_e = \frac{\Phi_e}{s}, \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}\right]$$

12. Приведенные выше характеристики являются по сути своей интегральными, по ним невозможно судить о спектральном составе излучения. В этой связи, в рассмотрение вводится ещё одна величина – спектральная плотность энергетической светимости $r\lambda$ или $r\omega$, которую иногда называют лучеиспускательной способностью. Спектральная плотность представляет собой отношение энергетической светимости dR_e к ширине волнового или частотного диапазона

$$r_{\lambda,T} = \frac{dR_e}{d\lambda}.$$

Энергетическая светимость в таком случае может быть определена интегралом

$$R_e = \int_0^\infty r_{\lambda,T} d\lambda.$$

13. Из повседневного опыта известно, что если нагревать твердое тело, то оно вначале краснеет, а с повышением температуры свечение тела становится все более белым. Это свидетельствует о том, что максимум интенсивности теплового излучения по мере повышения температуры тела смещается к фиолетовому концу спектра, т.е. к его коротковолновой части. Длина волны λ_{max} в спектре излучения абсолютно черного тела, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, определяется законом смещения Вина:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T},$$

где постоянная Вина $b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ м·К.

14. Австрийский физик И. Стефан, анализировавший полученные экспериментальные данные, и Л. Больцман, исходивший из общих термодинамических соображений, установили зависимость энергетической светимости черного тела от температуры. Согласно закону Стефана – Больцмана.

$$R_e = \int_0^\infty r_\lambda d\lambda = \sigma T^4,$$

т.е. энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени его термодинамической температуры. Коэффициент пропорциональности σ называется постоянной Стефана – Больцмана σ = 5,6·10 $^{-8}$ Вт·м $^{-2}$·К$^{-4}$.

15. Введём далее пространственную характеристику излучения – плотность энергии излучения, т.е. количество излучённой телом энергии в единице объёма

$$u = \int_0^\infty u_\omega d\omega = \int_0^\infty u_\lambda d\lambda,$$

где величины $u_\omega d\omega$ и $u_\lambda d\lambda$ являются объёмной плотностью энергии, приходящейся на интервал циклических частот от ω до $\omega + d\omega$ или диапазон длин волн от λ до $\lambda + d\lambda$, величины u_ω и u_λ называются спектральными плотностями лучистой энергии. Если анализу подлежит один и тот же диапазон излучения, то

$$u_\lambda d\lambda = u_\omega d\omega .$$

Так как

$$\lambda = \frac{2\pi c}{\omega},$$

то

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = -\frac{d\omega}{\omega},$$

знак минус, в данном случае, означает, что с ростом частоты длина волны уменьшается. Считая величины $d\lambda$ и $d\omega$ положительными можно записать следующие соотношения

$$u_\lambda = \frac{\omega}{\lambda} u_\omega; \quad u_\omega = \frac{\lambda}{\omega} u_\lambda .$$

16. Исторически так сложилось, что теоретики имеют обыкновение пользоваться величиной u_ω, а экспериментаторы предпочитают – u_λ, что, в общем-то, на суть рассматриваемых вопросов влияния не оказывает. Основной задачей теории теплового излучения являлось определение зависимости величины плотности энергии излучения от частоты или длины волны при различных температурах.

17. Теоретическое определение функции $u_\omega(\omega, T)$ в рамках классической волновой теории было выполнено в 1900 г. лордом Рэлеем, а затем развито Джинсом. Эти знаменитые волновики применили к излучению абсолютно-чёрного тела теорему классической статистической механики о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. На каждую степень свободы, в соответствие с этой теоремой, приходится в среднем кинетическая энергия

$$\wp = \frac{1}{2} k_B T,$$

где $k_B \approx 1{,}4 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана. Если рассматриваются колебательные степени свободы, то необходимо учитывать и потенциальную энергию, обусловленную действием квазиупругой силы. На каждую колебательную степень свободы, таким образом, приходится энергия

$$\wp = k_B T .$$

18. Таким образом в классическом представлении задача об излучении сводилась к определению функции $u_\lambda(\lambda,T)$ или $u_\omega(\omega,T)$, что было возможным при правильном определении числа степеней свободы колеблющихся электронов. Формула Рэлея – Джинса, полученная на основании волновых представлений, имела вид

$$u_\lambda = \frac{k_B T}{\pi^2 c^3}\int_0^\infty \lambda^2 d\lambda = \infty .$$

19. Вид функции u_λ показан на рис. 19 1.3 пунктирной линией. По теории знаменитых специалистов в волновой механике получалось, что тепловое равновесие между веществом и излучением невозможно. Приравнивание в возможностях всех степеней свободы приводило к тому, что вся энергия излучения абсолютно-чёрного тела должна была концентрироваться в ультрафиолетовом диапазоне длин волн. Эренфест это назвал ультрафиолетовой катастрофой. Дело в том, что по теории Рэлея – Джинса излучение в полости имеет бесконечное число степеней свободы, а вещество вполне конечное.

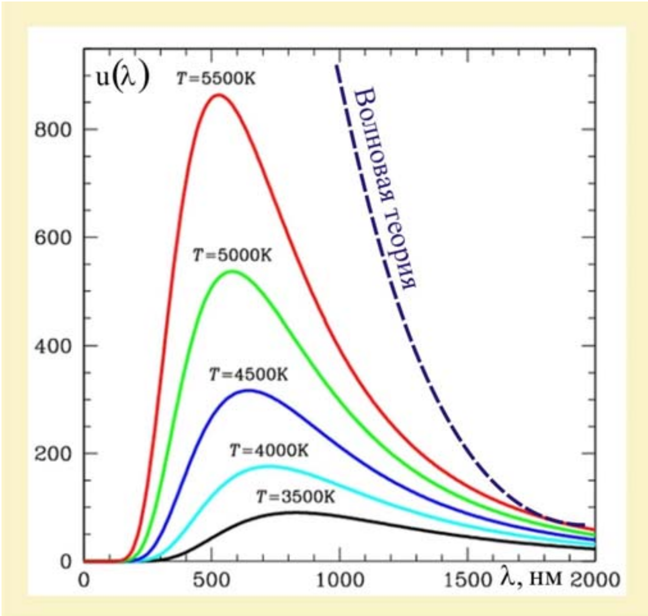


Рис. 264.3. Спектр излучения абсолютно-чёрного тела

20. Спектральные экспериментальные исследования излучения абсолютно-чёрного тела выявили совершенно отличные от теоретического вида функции $u(\lambda,T)$, на рис. 19.3.3 они показаны сплошными цветными линиями, соответствующими различным температурам излучающего тела от T = 3500 ^{0}K до T = 5500 ^{0}K. Почувствуйте, как говорится, разницу между правдивым экспериментом и надуманной теорией.

21. Когда задачу об излучении абсолютно чёрного тела поручили решать юному Максу Планку, решившему попробовать свои силы в теоретической физике, то он тоже решил применить теорему об энергетической равнозначности степеней свободы. Но План был более математик, чем физик и по первости решил поступить бесхитростно. Он проанализировал поведение простейшего гармонического осциллятора, квазиупруго связанного с ядром электрона, находящегося в полости с равновесным излучением. При действии хаотически меняющегося электромагнитного поля электрон должен совершать колебания с хаотически меняющимися амплитудами и фазами, излучая и поглощая энергию электромагнитных волн. Энергия такого осциллятора тоже должна совершать беспорядочные флуктуации вокруг среднего значения $<\varepsilon>$. У Планка получилось уравнение, идеологически совпадающее с формулой Рэлея – Джинса

$$u_\omega = \frac{<\varepsilon>}{\pi^2 c^3}\omega^2 .$$

22. Убедившись в бесперспективности традиционных подходов, Планк, не заботясь о физическом смысле, начал подгонять формулу излучения под дан-

ные эксперимента. Получились уравнения для классической физики довольно странноватого вида

$$u_\omega = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^3}\frac{1}{\exp\left(\frac{\hbar\omega}{k_B T}-1\right)}. \quad u_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\frac{1}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}-1\right)}.$$

23. Странность этого уравнение заключалась в том, что оно содержало некую постоянную величину $\hbar = h/2\pi \approx 1\cdot 10^{-34}$ Дж·с, (h ≈ 6,6·10^{-34} Дж·с). **Это означало, что обычный гармонический осциллятор мог излучать энергию только порциями**. Позже Планк нашёл теоретическое обоснование своему уравнению. Он высказал гипотезу о том, что электромагнитная энергия излучается и поглощается не непрерывно, а порциями, названными квантами. Согласно этой гипотезе энергия гармонического осциллятора могла принимать только фиксированные значения, отличающиеся на величину

$$\varepsilon_f = hf \equiv h\nu .$$

где h ≈ 6,6·10^{-34} Дж·с – постоянная Планка, f, ν – частота.

24. Таким образом, обмен энергией резонирующего электрона происходит порциями $<\varepsilon>= nh\nu$, **т.е. квантовыми скачками**. Такое смелое утверждение требовало совершенно по новому объяснить связь между излучаемой энергией и колебаниями осциллятора, в частности электрона на резерфордовской орбите. Возможны два варианта. Во-первых, можно предположить, что резонатор во время колебаний вообще не излучает энергии, а только в некоторый момент времени генерирует электромагнитную волну частотой ν, в этом случае закон сохранения энергии для излучающих атомных структур не исполняется, вовторых, можно допустить что существуют определённые уровни энергии (разрешённые уровни) на которых может присутствовать электрон и при перескоках с одного энергетического уровня на другой происходит излучение энергии. Вторая точка зрения оказалась прагматичней и в дальнейшем она нашла теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение.

25. Квантовую гипотезу Планка к фотоэффекту, открытому в 1872 г. русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым, применил Генрих Герц. В его экспериментах свет падал на цезиевый металлический катод (рис. 19.3.4), помещённый в откачанную стеклянную колбу с кварцевым окном. При падении на катод света в цепи начинал протекать ток, законы изменения которого и подлежали исследованию.

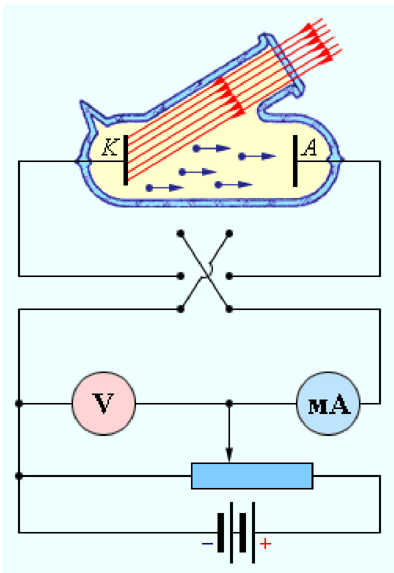


Рис. 264.4.Установка для исследования фотоэффекта

26. Герц, следом за Столетовым, установил, что интенсивность света влияет лишь на количество вылетающих электронов, а их скорость, вопреки здравому классическому смыслу, зависит исключительно от частоты падающего света. Герц справедливо предположил, что кинетическая энергия вылетающего электрона равна

$$W = \frac{m_e v^2}{2} = h\tilde{\nu} .$$

Таким образом, при фотоэффекте изменение энергии атомной системы связано с частотой падающей световой волны соотношением

$$h\tilde{\nu} = W_1 - W_2 .$$

27. Любимец заинтересованной публики, Альберт Эйнштейн, ознакомившись с работами Герца, оформил полученные им результаты в виде закона своего имени

$$h\tilde{\nu} = \frac{m_e v^2}{2} + A ,$$

где A − работа выхода электрона из металла. Кстати, получил за это Нобелевскую премию, отнюдь не за борьбу за мир во всём мире.

28. Процессы перехода электрона из одного состояния в другое при излучении и поглощении энергии теоретически проанализировал Нильс Бор. Бор ввёл в рассмотрение, так называемое, условие частот, которое разрешало атому излучать или поглощать энергию только в определённом квантовом состоянии. Применяя условие частот к гармоническому осциллятору можно видеть, что при их переходе из одного энергетического состояния $W_1 = n_1 h\nu$ в состояние, в другое с энергией $W_2 = n_2 h\nu$, можно записать

$$\Delta W = (n_1 - n_2)h\nu .$$

29. Изменение энергии с частотой в этом случае по Бору записывается следующим уравнением

$$h\tilde{\nu} = (n_1 - n_2)h\nu .$$

Трактовка последней формулы с позиций классической волновой теории, когда излучаемая частота совпадает с частотой собственных колебаний осциллятора, приводит к результату

$$n_1 - n_2 = 1 ,$$

или в противном случае необходимо предположить, что излучаемая частота отличается от собственной частоты рассматриваемой колебательной системы, в этом случае излучение не монохроматично. Для устранения этого противоречия теоретикам квантовых представлений пришлось ввести принцип соответствия, регулирующий частоту переходов между состояниями.

30. Величину постоянной Планка экспериментально определил Роберт Милликен. В отличие от Герца, Милликен на анод подавал регулируемый отрицательный тормозной потенциал. Регулируя этот потенциал, Милликен добивался прекращения фототока, т.е. останавливал электроны. Была получена зависимость запирающего напряжения от частоты падающих на катод волн, которая весьма точно отображалась прямой линией. Это означало, что между энергией вылетающих электронов и частотой наблюдается прямая зависимость из которой не сложно установить, что

$$h = \frac{U_T e}{\nu} \approx 6{,}6 \cdot 10^{-34}\,\text{Дж} \cdot \text{с} .$$

---

265. Чему равен импульс фотона, если ему соответствует длина волны λ = 600 нм?

Решение

1. Гипотеза де Бройля: с каждым микрообъектом связываются, с одной стороны, корпускулярные характеристики − энергия E и импульс p, а с другой волновые − частота ν и длина волны λ, при этом

$$\lambda = \frac{h}{p}; \quad \Rightarrow \quad p = \frac{h}{\lambda} \cong \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}}{6 \cdot 10^{-7}} \cong 1{,}1 \cdot 10^{-27}\,\frac{кг \cdot м}{с};$$

---

266. Электрон разогнали в электрическом поле разностью потенциалов U = 30 В. Какова длина волны де Бройля этого электрона?

Решение

$$eU = \frac{hc}{\lambda}; \quad \lambda = \frac{hc}{eU} \cong \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 30} \cong 4 \cdot 10^{-8}\,м;$$

---

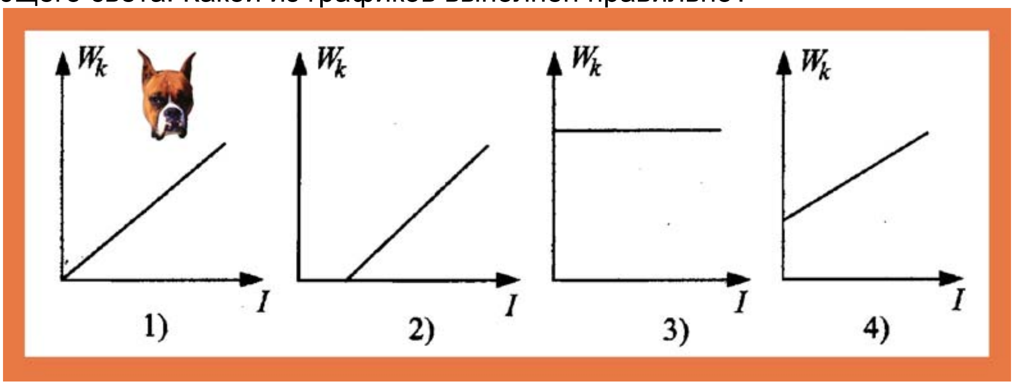
267. Частота красного света примерно в 2 раза меньше частоты фиолетового света. Сравнить энергию фотонов красного и фиолетового света.

Решение

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_1 &= h\frac{\nu}{2}; \\ \varepsilon_2 &= h\nu; \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_2 = 2\varepsilon_1;$$

---

268. Приведены графики зависимости максимальной энергии электронов, вылетевших из фотокатода в результате фотоэффекта от интенсивности падающего света. Какой из графиков выполнен правильно?



Решение

1. Уравнение внешнего фотоэффекта Генриха Герца

$$h\nu = \frac{m_e v^2}{2} + A = W_K + A; \quad \Rightarrow \quad W_K = h\nu - A,$$

говорит о том, что максимальная кинетическая энергия зависит только от энергии падающих фотонов, поэтому правильным является график №3.

---

269. Определить массу, энергию и импульс фотона: а) для красных лучей с λ_1 = 720 нм; б) для рентгеновских лучей с λ_2 = 25 $\mathring{A}$; в) для γ – лучей с λ_3 = 1,24 $\mathring{A}$.

Решение

1. Запишем уравнения для определения массы m_f, энергии E_f и импульса p_f

$$m_f c^2 = h\nu; \quad m_f = \frac{h\nu}{c^2}; \quad c = \nu\lambda; \quad \nu = \frac{c}{\lambda}; \quad m_f = \frac{hc}{c^2\lambda} = \frac{h}{c\lambda};$$

$$E_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda};$$

$$p_f = m_f c = \frac{h}{c\lambda}c = \frac{h}{\lambda};$$

2. Приведём заданные величины длин волн в одну систему единиц: λ_1 = $7{,}2\cdot10^{-7}$ м; $\lambda_2 = 2{,}5\cdot10^{-9}$ м; $\lambda_3 = 1{,}24\cdot10^{-10}$ м.

3. Вычислим массы заданных фотонов

$$m_{f(1)} = \frac{h}{c\lambda_1} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}}{3\cdot10^{8}\cdot7{,}2\cdot10^{-7}} \cong 3\cdot10^{-36}\,\text{кг};$$

$$m_{f(2)} = \frac{h}{c\lambda_2} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}}{3\cdot10^{8}\cdot2{,}5\cdot10^{-9}} \cong 8{,}8\cdot10^{-34}\,\text{кг};$$

$$m_{f(3)} = \frac{h}{c\lambda_2} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}}{3\cdot10^{8}\cdot1{,}24\cdot10^{-10}} \cong 1{,}8\cdot10^{-32}\,\text{кг};$$

3. Вычислим энергии фотонов

$$E_{f(1)} = \frac{hc}{\lambda_1} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}}{7{,}2\cdot10^{-7}} \cong 2{,}75\cdot10^{-19}\,\text{Дж} \cong 1{,}72\ \text{эВ};$$

$$E_{f(2)} = \frac{hc}{\lambda_2} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}}{2{,}5\cdot10^{-9}} \cong 8\cdot10^{-17}\,\text{Дж} \cong 500\ \text{эВ};$$

$$E_{f(3)} = \frac{hc}{\lambda_3} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}}{1{,}24\cdot10^{-10}} \cong 1{,}6\cdot10^{-15}\,\text{Дж} \cong 1\cdot10^{4}\ \text{эВ};$$

4. Вычислим импульсы заданных фотонов

$$p_{f(1)} = \frac{h}{\lambda_1} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}}{7{,}2\cdot10^{-7}} \cong 9{,}2\cdot10^{-28}\,\frac{\text{Дж}\cdot\text{с}}{\text{м}}\left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}\right);$$

$$p_{f(2)} = \frac{h}{\lambda_2} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}}{7{,}2\cdot10^{-7}} \cong 9{,}2\cdot10^{-28}\,\frac{\text{Дж}\cdot\text{с}}{\text{м}}\left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}\right);$$

$$p_{f(3)} = \frac{h}{\lambda_3} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}}{1{,}24\cdot10^{-10}} \cong 5{,}3\cdot10^{-24}\,\frac{\text{Дж}\cdot\text{с}}{\text{м}}\left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}\right);$$

---

270. Масса фотона $m_f = 1{,}655\cdot10^{-35}$ кг. Какова соответствующая этому фотону длина волны?

Решение

1. Длину волны определим их уравнения массы фотона

$$m_f = \frac{hc}{c^2\lambda} = \frac{h}{c\lambda}; \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{m_f c} \cong \frac{6{,}6\cdot10^{-34}}{1{,}655\cdot10^{-35}\cdot3\cdot10^{8}} \cong 1{,}32\cdot10^{-7}\,\text{м};$$

---

271. Найти длину волны фотона, энергия которого равна средней кинетической энергии молекулы идеального одноатомного газа, находящегося при абсолютной температуре T = 3000 К.

Решение

1. Энергия поступательного движения молекулы идеального газа

$$\varepsilon = \frac{3}{2}k_B T;$$

2. Приравняем энергию молекулы к энергии фотона

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{3}{2}k_B T; \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{2hc}{3k_B T};$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{3 \cdot 1{,}4 \cdot 10^{-23} \cdot 3 \cdot 10^{3}} \cong 3{,}14 \cdot 10^{-6}\text{м};$$

---

272. Найти потенциал, до которого может зарядиться пластина при длительном её освещении потоком фотонов с энергией ε_f = 4 эВ. Работа выхода электронов из металла A = 1,6 эВ.

Решение

$$h\nu = \varepsilon_f = e\Delta\varphi + A; \quad \Rightarrow \quad \Delta\varphi = \frac{\varepsilon_f - A}{e} \cong \frac{(4 - 1{,}6)1{,}6 \cdot 10^{-19}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 2{,}4\text{В};$$

---

273. Красная граница фотоэффекта для лития λ_0 = 540 нм. Максимальная скорость вылета электронов $v_m = 10^6$ м/с. Какова частота падающего на фотокатод света?

Решение

$$A = \frac{hc}{\lambda_0}; \quad h\nu_0 = \frac{mv_m^2}{2} + \frac{hc}{\lambda_0}; \quad \nu_0 = \frac{mv_m^2}{2h} + \frac{c}{\lambda_0} = \frac{10^{-30} \cdot 10^{12}}{13{,}2 \cdot 10^{-34}} + \frac{3 \cdot 10^{8}}{5{,}4 \cdot 10^{-7}} \cong 1{,}3 \cdot 10^{15}\text{Гц};$$

---

274. Найти абсолютный показатель преломления среды, в которой свет с энергией фотона $\varepsilon_f = 4{,}4 \cdot 10^{-19}$ Дж имеет длину волны $\lambda = 3 \cdot 10^{-7}$ м.

Решение

1. Абсолютный показатель преломления по определению равен:

$$n = \frac{c}{v};$$

2. Энергия фотона, распространяющегося в среде

$$\varepsilon_f = \frac{hv}{\lambda}; \quad \Rightarrow \quad v = \frac{\varepsilon_f \lambda}{h};$$

3. Показатель преломления

$$n = \frac{hc}{\lambda\varepsilon_f} \cong \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{3 \cdot 10^{-7} \cdot 4{,}4 \cdot 10^{-19}} \cong 1{,}5;$$

---

275. Цинковую пластину освещают светом с λ = 450 нм. Возникнет ли фотоэффект, если A = 4,2 эВ?

Решение

$$\frac{hc}{\lambda} \cong \frac{2 \cdot 10^{25}}{4{,}5 \cdot 10^{-7}} \cong 4{,}4 \cdot 10^{-19}\text{Дж} \equiv 2{,}3\text{эВ}; \quad \Rightarrow \quad \frac{hc}{\lambda} < A;$$

---

7. Атом и атомное ядро

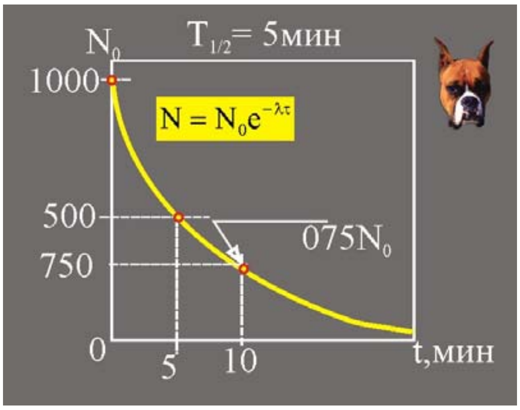


Рис. 276 Радиоактивный распад

276. В начальный момент времени было 1000 атомных ядер изотопа с периодом полураспада $T_{1/2}$ = 5 мин. Сколько не распавшихся ядер останется через τ = 10 мин?

Решение

1. В качестве периода полураспада принято время в течение которого распадается половина исходного количества ядер активного элемента. Время τ составляет 2 полупериода, поэтому останется не распавшимися $N_\tau \cong 250$ ядер

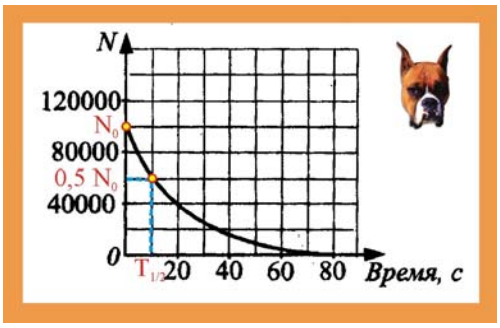


Рис. 277. Период полураспада изотопа

277. Приведен график зависимости числа не распавшихся ядер изотопа от времени. Определить период полураспада.

Решение

1. В данном случае $N_0 = 10^4$ ядер, поэтому за полупериод должно распадаться 0,5 N_0, что соответствует $T_{1/2}$ = 10 с.

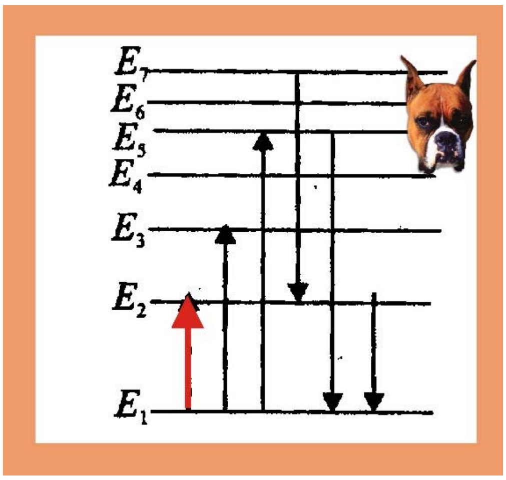


Рис. 278. Энергетические уровни

278. Приведена диаграмма энергетических уровней атома. Какой из отмеченных переходов между энергетическими уровнями сопровождается поглощением кванта максимальной длины волны?

Решение

1. Поглощается квант минимальной энергии, т.е. минимальной частоты

$$\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right);$$

$$\nu_{min} = R\left(1 - \frac{1}{2^2}\right); \quad E_1 \to E_2;$$

279. Во сколько раз изменится энергия атома водорода при переходе из первого энергетического состояния в третье энергетическое состояние?

Решение

1. При переходе атома водорода из первого энергетического состояния в третье происходит поглощение фотона с частотой

$$h\nu = E_n - E_m; \quad \Rightarrow \quad \nu_{1\to 3} \approx n^2 \approx 9;$$

---

280. Дана схема энергетических уровней атомов разреженного газа. В начальный момент времени атомы находятся в состоянии с энергией E_3. Фотоны с какой энергией может поглощать газ?

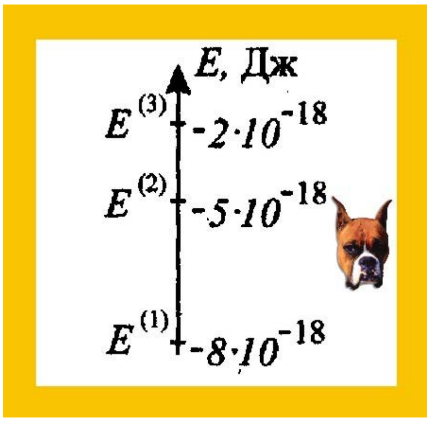


Рис. 280. Энергетические уровни

Решение

1. Второй постулат Бора: при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую поглощается один фотон с энергией, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний

$$h\nu = E_n - E_m;$$

2. Атомы газа могут поглощать фотоны с энергией

$$\varepsilon_f \ge 2\cdot 10^{-18}\,\text{Дж}.$$

---

281. Какой заряд Z и массовое число A будет иметь ядро элемента, получившегося из ядра изотопа $^{238}_{92}U$ после одного α-распада и двух β-распадов?

Решение

1. Правила смещения при α и β-распадах

$$^{A}_{Z}X \to {}^{A-}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He;$$

$$^{A}_{Z}X \to {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e;$$

2. Заряд и массовое число нового элемента

$$A = 238 - 4 = 234; \quad Z = 92 - 2 + 2 = 92;$$

$$^{238}_{92}U \to {}^{234}_{92}Y + {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{0}_{-1}e;$$

---

282. Имеется $N_0 \approx 10^9$ радиоактивного изотопа $^{128}_{53}J$, период полураспада которого равен $T_{1/2}$ = 25 мин. Какое примерно количество ядер этого изотопа испытает радиоактивный распад за τ = 50 мин?

Решение

$$N_\tau = 7{,}5\cdot 10^8;$$

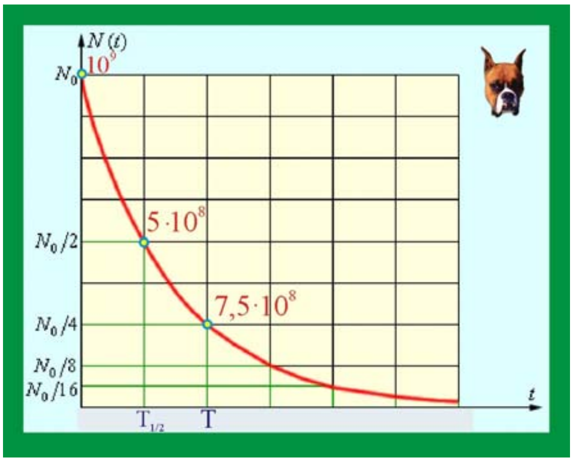


Рис. 282. Закон радиоактивного распада

283. В результате реакции изотопа $^{27}_{13}Al$ и углерода $^{12}_{6}C$ образуются α-частица, нейтрон n и ядро изотопа некоторого элемента. Сколько нейтронов содержится в ядре этого изотопа?

Решение

$$Z = 13 + 6 - 2 = 17; \quad A = 27 + 12 - 4 - 1 = 34;$$

$$^{34}_{17}Y; \quad N = A - Z = 17;$$

---

284. Длинноволновая (красная) граница фотоэффекта для меди λ_0 = 282 нм. Определить работу выхода электронов из меди.

Решение

$$\frac{hc}{\lambda} = K_e + A; \quad K_e = 0; \quad \frac{hc}{\lambda_0} = A; \quad A = \frac{6{,}6\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}}{2{,}82\cdot 10^{-7}}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19} \cong 4{,}4 эВ;$$

---

285. . Найти длину волны фотона, излучённого атомом водорода при его переходе из состояния с n = 4 в состояние k = 2.

Решение

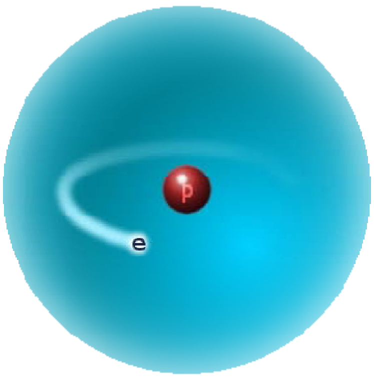


Рис. 285. Модель атома водорода

1. Энергия испускаемого фотона при переходе электрона из состояния n в состояние k определяется разностью энергий в этих состояниях

$$\frac{hc}{\lambda_{n\to k}} = E_n - E_k;$$

2. Выразим величины энергий E_n и E_k через энергию (потенциал) ионизации атома водорода $E_1 \cong 13{,}6$ эВ $\cong 2{,}176\cdot 10^{-18}$ Дж

$$\left.\begin{aligned} E_n &= -\frac{E_1}{n^2};\\ E_k &= -\frac{E_1}{k^2};\end{aligned}\right\}$$

3. Совмещая уравнения, находим

$$\lambda_{n\to k} = \frac{hc}{E_1\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right)} \cong \frac{2\cdot 10^{-25}}{2{,}2\cdot 10^{-18}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\right)} \cong 3{,}67\cdot 10^{-7} м;$$

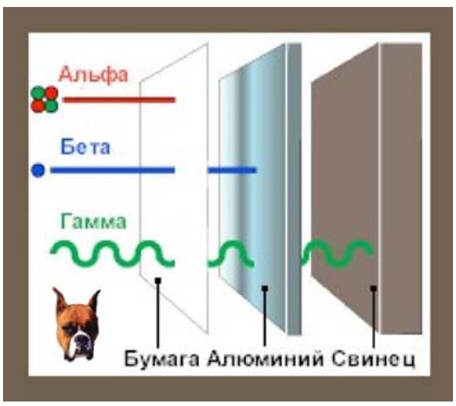


Рис. 286 Излучение

286. Между источником излучения и детектором помещён толстый слой (h ≈ 1 мм) лист плотной бумаги. Какое излучение может через него проникнуть на детектор?

Решение

1. Очевидно только γ – излучение, толстая бумага задерживает и поток электронов (β-излучение) и поток ядер гелия (α-излучение).

287. Определить энергию, которая выделяется в результате термоядерной реакции синтеза ядер гелия из ядер дейтерия и трития

$$ {}_1^2H + {}_1^3H \to {}_2^4He + {}_0^1n \, . $$

Дефект масс реакции Δm = 0,01851 а.е.м. (1 а.е.м. = 1,6,10^{-27} кг).

Решение

$$ \Delta m \cong 3 \cdot 10^{-29} \text{кг}; \quad \Delta E = \Delta m \cdot c^2 \cong 2{,}7 \cdot 10^{-12} \text{Дж}. $$

---

288. Известно, что при бомбардировке изотопа азота ${}_7^{14}N$ нейтронами образуется изотоп ${}_5^{11}B$ бора. Какие ещё частицы образуются в ходе этой реакции?

Решение

1. В результате реакции образуются ядра гелия, т.е. α-частицы:

$$ {}_7^{14}N + {}_0^1 \to {}_5^{11}B + {}_2^4He \, . $$

---

289. Период полураспада радиоактивного изотопа равен 1 месяцу. За какое время число ядер этого изотопа уменьшится в 16 раз?

Решение

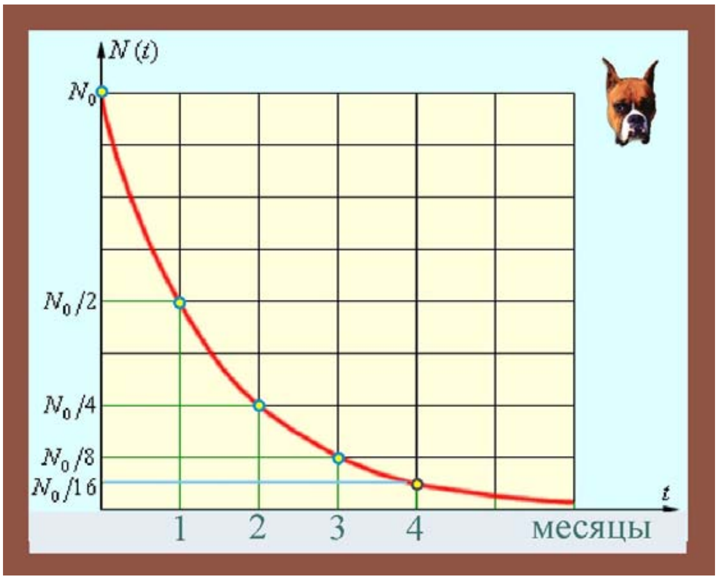


Рис. 289. Кривая радиоактивного распада ядер

290. В каких агрегатных состояниях и при каких условиях вещество излучает свет с линейчатым спектром?

Решение

1. Большинство твердых и жидких тел излучают энергию всех длин волн в интервале от 0 до ∞, то есть имеют сплошной спектр излучения. Газы испускают энергию только в определенных интервалах длин волн (селективный спектр излучения). Твердые тела излучают и поглощают энергию поверхностью, а газы — объемом.

Рис 290. Спектры излучения

Задачи повышенного уровня

8. Механика

291. Космический корабль начал разгон в межпланетном пространстве включил ракетный двигатель. Из сопла двигателя ежесекундно выбрасывается Δm = 3 кг горючего газа со скоростью v = 600 м/с. Определить кинетическую энергию корабля, которую он приобретает, пройдя s = 30 м после включения двигателя. Изменением массы корабля и гравитационными воздействиями пренебречь.

Решение

1. Используя второй закон ньютона, получим теорему об изменении импульса силы, из которой определим величину силы, действующей на корабль во время работы двигателя

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{v}}{dt}; \quad \left|\vec{F}\right| = \frac{\Delta mv}{\Delta t} = 1800\ \text{Н};$$

2. Величину приобретаемой кораблём кинетической энергии установим на основе теоремы об изменении кинетической энергии

$$A = K_2 - K_1 = \Delta K = Fs = 5{,}4 \cdot 10^4\ \text{Дж};$$

---

292. Грузы массами m = 0,2 кг и M = 0,3 кг соединены невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой черен идеальный блок. Определить силу давления на ось блока при движении грузов.

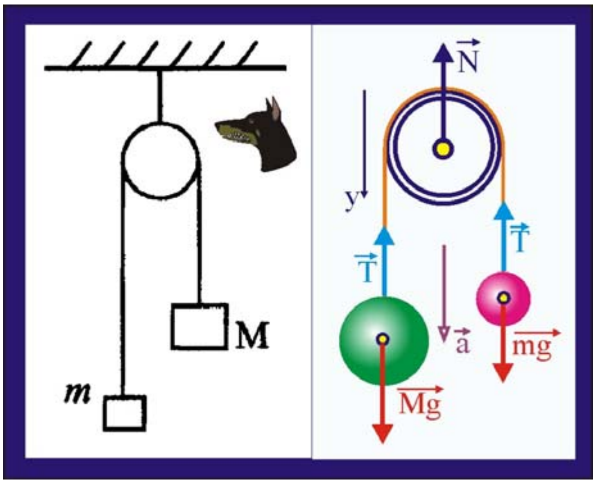


Рис. 292. Грузы на блоке

Решение

1. Поскольку нить нерастяжима и невесома, то её натяжение во всех точках будет одинаковым, т.е. $T_1 = T_2 = T$, кроме того, грузы за одинаковое время проходят одинаковые расстояния

$$y_1 = \frac{a_1 t^2}{2} = y_2 = \frac{a_2 t^2}{2},$$

т.е. движутся с одинаковыми ускорениями $a_1 = a_2$.

2. Второй закон Ньютона для движущихся тел запишется следующим образом

$$\left.\begin{aligned} mg - T &= ma, \\ Mg - T &= Ma. \end{aligned}\right\}$$

3. Поделив уравнения системы одно на другое, получим

$$m_1g - m_1a = m_2g - m_2a, \quad \Rightarrow \quad a = g\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}.$$

4. Подставим далее значение ускорения в первое уравнение системы и разрешим его относительно натяжения T

$$T = g\frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2}; \quad \Rightarrow \quad N = 2T = 10\frac{4 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}2}{0{,}5} = 4{,}8Н;.$$

293.На верёвке висит тело массой m. Чему равен его вес, если верёвку поднимать вертикально вверх с ускорением $\vec{a}$?

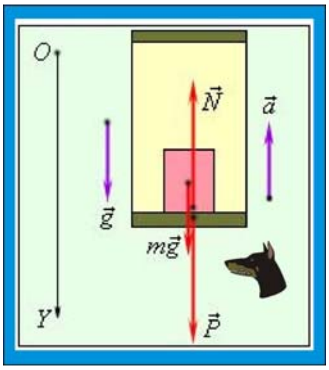


Рис. 293. Сила веса

Решение

1. Вес представляется как сила, действующая на опорную плоскость или на нить подвеса. В данном случае сила веса численно равна натяжению нити, на которой подвешено движущееся с ускорением тело. В соответствии со вторым законом Ньютона

$$T = P = mg + ma = m(g + a);$$

---

294. Тело массой m = 1 кг совершает гармонические колебания по закону

$$x(t) = 0{,}5\cos\left(4t - \frac{\pi}{4}\right).$$

Определить максимальную кинетическую энергию тела.

Решение

1. Амплитудное значение скорости тела

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = -0{,}5 \cdot 4\sin\left(4t - \frac{\pi}{4}\right); \quad |\vec{v}_m| = 2\frac{м}{с};$$

2. Максимальное значение кинетической энергии

$$K_m = \frac{mv_m^2}{2} = 2Дж.$$

---

295. Расстояние между точками, колеблющимися в одинаковых фазах, равно x = 0,4 м; период колебаний точки T = 0,5 с. Определить скорость волны и частоту колебаний.

Решение

1. В течении периода волновой фронт распространяется на расстояние, равное длине волны λ. В данном случае x = λ, поэтому скорость волнового фронта определится как:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{x}{T} = 0{,}8\frac{м}{с};$$

2. Частота колебаний равна числу полных колебаний, совершаемых в течение периода

$$\nu = 1/T = 2Гц;$$

---

296. Тело массой m = 0,5 кг прижато к шероховатой вертикальной стене силой F = 10 Н, направленной горизонтально. Коэффициент трения скольжения между стеной и телом μ = 0,4 Какую вертикальную минимальную силу нужно приложить к телу, чтобы поднимать его равномерно вверх?

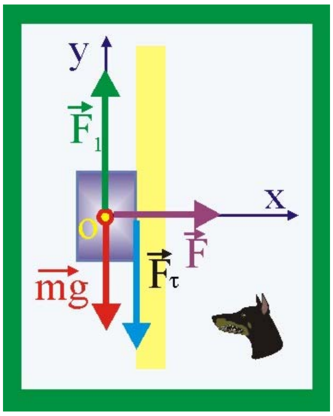


Рис. 296. Подъём тела

Решение

1. Сила трения:

$$F_\tau = \mu F;$$

2. Уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось при условии равномерного (без ускорения) движения тела вверх:

$$\sum_{i=1}^{i=3} \vec{F}_i = 0; \quad F_1 - mg - \mu F = 0;$$

$$F_1 = mg + \mu F = 9H;$$

297. Стержень длиной L = 60 см прислонили к стене, так что она начала соскальзывать. В тот момент, когда расстояние между нижним концом стержня и стеной было равно x = 0,48 м, его скорость была равна v_1 = 18 см/с. Чему была равна скорость его верхнего конца?

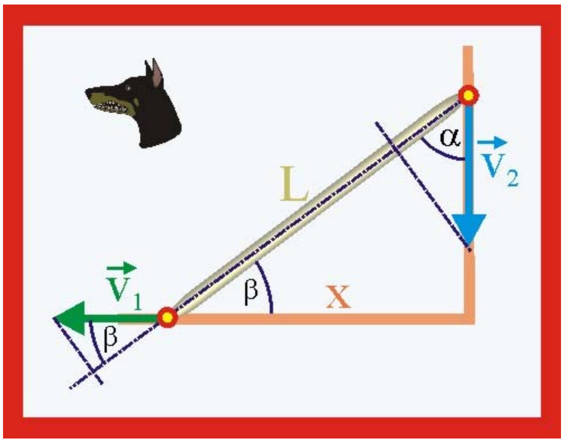


Рис. 297. стержень у стены

Решение

1. Стержень совершает плоское движение. Для каждой точки, принадлежащей стержню, справедлива теорема о проекциях скоростей на прямую, соединяющую две точки тела, совершающего плоское движение

$$v_1 \cos\alpha = v_2 \cos\beta;$$

$$\beta = \arccos\frac{x}{L} \cong 37^0; \quad \alpha = 53^0;$$

$$v_2 = \frac{v_1 \cos 53^0}{\cos 37^0} \cong 24\frac{см}{с};$$

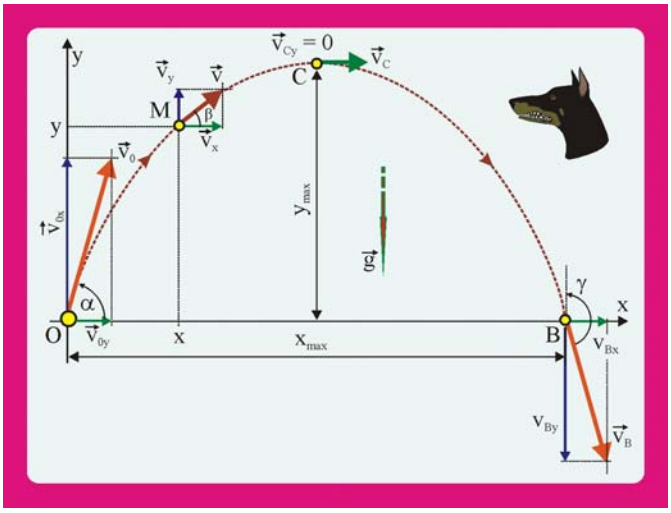


Рис. 298. Тело, брошенное под углом к горизонту

298. Небольшое тело брошено под углом α = 45^0 к горизонту. Какова максимальная дальность полёта тела, если через τ = 1,5 с после броска её скорость была горизонтальна?

Решение

1. Движение исследуемого тела относительно вертикальной оси из начальной точки O в точку C – равно-

замедленное, а из точки C в точку B – равноускоренное с ускорением свободного падения $\vec{g}$. В начальный момент времени при t = 0 имеем: $x_0 = 0$, $y_0 = 0$, $v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha$, $v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha$, $a_x = 0$, $a_y = -g$.

2. Для проекций скорости в любой момент времени, например в точке M, движения можно записать следующие уравнения

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0\cos\alpha; \\ v_y(t) = v_0\sin\alpha - gt; \end{cases} \quad v_{y(C)} = 0; \quad v_0 = \frac{gt_C}{\sin\alpha} = \frac{15}{0{,}707} \cong 21{,}2\frac{м}{с};$$

3. Уравнения движения запишем, используя особенности равномерного перемещения точки по горизонтали и равноускоренного по вертикали

$$\begin{cases} x(t) = v_0 t\cos\alpha, \\ y(t) = v_0 t\sin\alpha - \dfrac{gt^2}{2}. \end{cases}$$

4. Определим далее полное время полёта из условия равенства времени подъёма тела в точку C и спуска ми C в B

$$\tau = 2t_C = \frac{2v_0\sin\alpha}{g} = 3с;$$

5. При подстановке времени полёта τ в уравнение x(t) получим максимальную дальность броска

$$x_{max} = \frac{2v_0^2\sin\alpha\cos\alpha}{g} = \frac{v_0^2\sin 2\alpha}{g}. \quad x_{max} = \frac{21{,}2^2\cdot 1}{10} \cong 45м.$$

---

299. Материальная точка движется прямолинейно в соответствии с уравнением

$$x(t) = 5 + 4t - 2t^2;$$

Чему равна координата, в которой скорость точки обращается в нуль?

Решение

1. Зависимость скорости точки от времени

$$v_x(t) = \frac{dx}{dt} = 4 - 4t; \quad v_x = 0; \quad t(0) = 1с.$$

2. Координата в момент времени t(0)

$$x(0) = 5 + 4 - 2 = 7м;$$

---

300. Тело массой m =0,1 кг упало с высоты h = 5 м. Время падения τ = 1,2 с. Каково было среднее значение силы сопротивления воздуха на тело во время падения?

Решение

1. Ускорение, с которым падало тело:

$$h = \frac{a\tau^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad a = \frac{2h}{\tau^2} \cong 6{,}9\frac{м}{с^2};$$

2. Уравнение второго закона Ньютона в проекции на вертикальную ось:

$$\langle F_R \rangle = mg - ma = m(g - a) = 0{,}31\,Н;$$

---

301. На шнуре перекинутом через идеальный неподвижный блок, подвешены грузы массами m_1 = 0,3 кг и m_2 = 0,34 кг. За τ = 2с движения каждый груз прошел $y_1 = y_2$ = 1,2 м. Определить по этим результатам величину ускорения свободного падения.

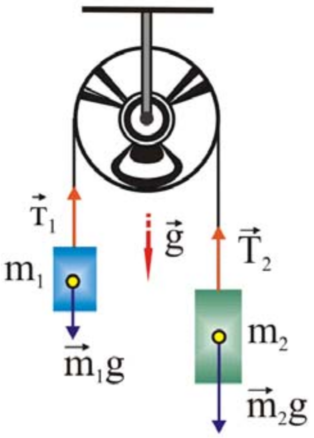


Рис. 301. Ускорение грузов

Решение

1. Поскольку нить нерастяжима и невесома, то её натяжение во всех точках будет одинаковым, т.е. $T_1 = T_2 = T$, кроме того, грузы за одинаковое время проходят одинаковые расстояния

$$y_1 = y_2 = \frac{a\tau^2}{2}; \quad a = \frac{2y}{\tau^2} = 0{,}6\frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

т.е. движутся с одинаковыми ускорениями $a_1 = a_2$.

2. Второй закон Ньютона для движущихся тел запишется следующим образом

$$\left.\begin{aligned} m_1 g - T &= -m_1 a,\\ m_2 g - T &= m_2 a. \end{aligned}\right\}$$

3. Поделив уравнения системы одно на другое, получим

$$m_1 g - m_1 a = m_2 g - m_2 a, \quad \Rightarrow \quad g = a\frac{m_1 + m_2}{m_2 - m_1} \cong 9{,}6\frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

---

302. Из некоторой высоко расположенной точки одновременно бросают два одинаковых тела с равной начальной скоростью v_0 = 25 м/с: одно – вертикально вверх, другое – вертикально вниз. На каком расстоянии друг от друга будут эти тела через τ = 2 с движения?

Решение

1. Запишем кинематические уравнения движения тел:

$$\left.y_1 = v_0\tau - \frac{g\tau^2}{2}; \quad y_2 = v_0\tau + \frac{g\tau^2}{2};\right\}$$

2. Расстояние между телами

$$y = y_1 + y_2 = 2v_0\tau = 100\text{м};$$

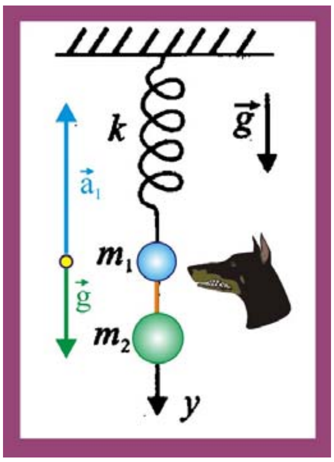


Рис. 303. Пережигание нити

303. К нижнему концу лёгкой пружины подвешены связанные невесомой нерастяжимой нитью грузы: верхний массой m_1 = 0,4 кг и нижний m_2 = 0,6 кг. Нить, соединяющую грузы, пережигают. С каким ускорением начнёт двигаться верхний груз?

Решение

1. Уравнение второго закона Ньютона для первого тела

$$(m_1 + m_2)g = m_1 a_1; \quad a_1 = \frac{(m_1 + m_2)g}{m_1} = 25\frac{\text{м}}{\text{с}^2};$$

2. Результирующее ускорение

$$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{g}; \quad |\vec{a}| = a_1 - g = 15\,\text{м}/\text{с}^2;$$

---

304. На нити, выдерживающей натяжение T = 10 Н, поднимают груз массой m = 0,5 кг из состояния покоя вертикально вверх. Считая движение равноускоренным, найдите предельную высоту, на которую можно поднять груз за время τ = 0,1 с так, чтобы нить не оборвалась?

Решение

1. Уравнение натяжения нити во время ускоренного подъёма позволяет выразить предельное ускорение

$$T = m(g + a); \quad \Rightarrow \quad a = \frac{T - mg}{m};$$

2. Кинематическое уравнение движения груза

$$h = \frac{a\tau^2}{2} = \frac{T - mg}{2m}\tau^2 = 5 \cdot 10^{-2}\,\text{м} = 5\,\text{см}.$$

---

305. На экваторе некоторой планеты тела весят в два раза меньше, чем на полюсе. Плотность вещества планеты $\rho = 3 \cdot 10^3$ кг/м^3. Определить период обращения планеты вокруг своей оси.

Решение

1. Заданное уменьшения веса на экваторе позволяет установить зависимость между нормальным ускорением a_n и ускорением свободного падения g

$$m(g - a_n) = \frac{mg}{2}; \quad \Rightarrow \quad a_n = \frac{g}{2};$$

2. Ускорение свободного падения

$$mg = G\frac{mM}{R^2} = G\frac{m\frac{4}{3}\pi R^3\rho}{R^2}; \quad \Rightarrow \quad g = \frac{4}{3}G\pi\rho R;$$

3. Подставим значение g в уравнение нормального ускорения

$$\frac{v^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4}{6}\pi G\rho R; \quad \omega = \sqrt{0{,}67\pi G\rho};$$

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{0{,}67\pi G\rho}; \quad \Rightarrow \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{0{,}67\pi G\rho}} \cong \frac{6{,}28}{\sqrt{0{,}67 \cdot 6{,}7 \cdot 10^{-11} \cdot 3{,}14 \cdot 3 \cdot 10^3}} \cong 9{,}7 \cdot 10^3\,\text{с}.$$

---

306. Однородное тело плавает на границе раздела двух жидкостей. 3/4 его объёма находится в жидкости с плотностью ρ_1 = 800 кг/м^3, а 1/4 – в жидкости с плотностью ρ_2 = 1000 кг/м^3. Чему равна плотность тела?

Решение

1. Условие плавания тела на границе раздела двух жидкостей

$$F_{A1} + F_{A2} = mg; \quad \rho_1 g\frac{3}{4}V + \rho_2 g\frac{1}{4}V = \rho_T gV;$$

$$\rho_T = \frac{3}{4}\rho_1 + \frac{1}{4}\rho_2 = 850\frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

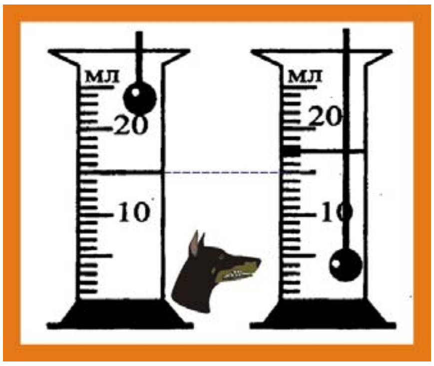


Рис. 307. Определение объёма

307. По показаниям «приборов» определить вес стального шара в воздухе.

Решение

1. По результатам погружения тела в жидкость определим объём тела

$$V = 2{,}5мл = 2{,}5 \cdot 10^{-6} м^3;$$

2. Вес стального шара в воздухе

$$P = mg = \rho_{Fe} gV = 8 \cdot 10^3 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 0{,}2Н;$$

---

308. Два груза массами m_1 = 2 кг и m_2 = 4 кг, лежащие на гладкой горизонтальной поверхности, связаны тонкой невесомой и нерастяжимой нитью. Груз m_1 тянут с увеличивающейся силой F. Когда сила достигает значения F = 12 Н, нить обрывается. Чему в этот момент времени равно значение силы натяжения нити?

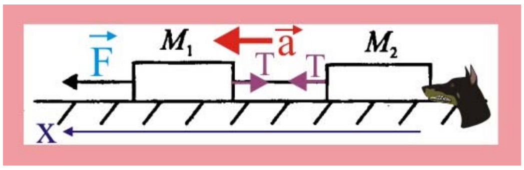


Рис. 308. Натяжение нити

Решение

1. Уравнение второго закона Ньютона в проекции на направление движения

$$\left.\begin{aligned} F - T &= m_1 a; \\ T &= m_2 a; \end{aligned}\right\} \quad a = \frac{T}{m_2};$$

$$F - T = \frac{m_1 T}{m_2}; \quad Fm_2 - Tm_2 = m_1 T; \quad T = \frac{Fm_2}{m_1 + m_2} = 8Н;$$

---

309. Тело начинает двигаться из состояния покоя равноускоренно и за десятую секунду проходит путь s_{10} = 38 м. Найти путь, пройденный телом за двенадцатую секунду движения.

Решение

1. Обозначим ускорение как *a*, длительность одного промежутка времени – *τ*. Если начало координатной оси OX совместить с начальным положение тела, то положение тела в конце n-го промежутка времени определится уравнением

$$x_n = \frac{a(n\tau)^2}{2}, \quad (n = 1,2,3\ldots).$$

2. Для двух соседних участков движения полученное уравнение представится следующим образом:

$$s_1 = \frac{a\tau^2}{2}; \quad s_n = x_n - x_{n-1} = \frac{a\tau^2}{2}\left[n^2 - (n-1)^2\right] = \frac{a\tau^2}{2}(2n - 1).$$

3. Запишем уравнение пути, проходимого за τ = 10 с движения

$$s_{10} = \frac{a\tau^2}{2}\left[n^2 - (n-1)^2\right] = \frac{a \cdot 10^2}{2}[100 - 81];$$

откуда ускорение движения определится как:

$$a = \frac{2s_{10}}{\tau^2\left[n^2 - (n-1)^2\right]} = \frac{2 \cdot 38}{100 \cdot 19} = 4 \cdot 10^{-2}\,\frac{м}{с^2}.$$

2. Определим путь пройденный телом за 12 секунду движения

$$s_{12} = \frac{a\tau^2}{2}\left[n^2 - (n-1)^2\right] = \frac{a \cdot 10^2}{2}\left[144 - 121\right] = 46\,м\,.$$

310. Груз начинают поднимать вертикально вверх в постоянным ускорением. Чему равна работа, совершаемая за вторую секунду, если работа, совершаемая за первую секунду, равна А?

Решение

1. Постоянное ускорение свидетельствует о постоянстве действующей силы, поэтому работа будет определяться исключительно пройденными расстояниями:

2. Путь, проходимый за некоторую n-ю секунду движения определится уравнением:

$$s_n = x_n - x_{n-1} = \frac{a\tau^2}{2}\left[n^2 - (n-1)^2\right].$$

2. За первую секунду движения точка пройдёт путь (n = 1)

$$s_1 = \frac{a\tau^2}{2}\left[1^2 - (1-1)^2\right] = \frac{a\tau^2}{2} \cdot 1\,;$$

за вторую секунду движения (n = 2)

$$s_2 = \frac{a\tau^2}{2}\left[2^2 - (2-1)^2\right] = \frac{a\tau^2}{2} \cdot 3\,,$$

другими словами, $s_2 = 3s_1$, т.е. за вторую секунду точка проходит в трое большее расстояние, чем за первую секунду, следовательно, и работа будет совершена в три раза большая, т.е. 3А.

311. Под каким наибольшим углом к вертикали может стоять однородный стержень, прислонённый к гладкой вертикальной стене, если коэффициент трения нижнего конца стержня о пол μ = 0,5.

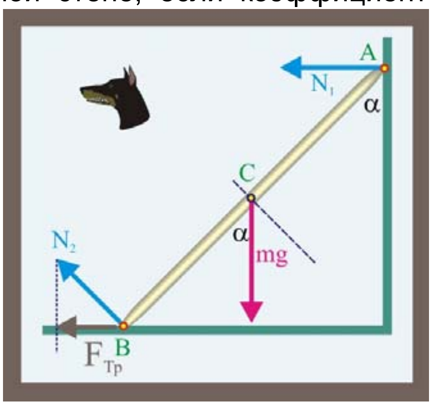


Рис.311. Стержень у стены

Решение

1. Стержень будет находиться в состоянии покоя при равенстве рулю суммы моментов действующих сил относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через любую точку стержня. В качестве моментной точки целесообразно выбрать точку А, тогда

$$\mu mg\cos\alpha\ell = mg\sin\alpha\frac{\ell}{2}; \quad 2\mu = tg\alpha; \quad \alpha = 45^0\,;$$

312. Во сколько раз изменилась энергия упругой деформации пружины, если тело, подвешенное на пружине, погрузили в жидкость, плотность которой в шесть раз меньше плотности тела?

Решение

1. Пружина растягивается ровно настолько, чтобы сила упругости по модулю была равна силе тяжести подвешиваемого тела. При опускании тела в жид-

кость кроме силы тяжести проявляется и сила Архимеда. Запишем условие равновесия тела для двух случаев:

$$\left.\begin{aligned} k\Delta x_1 &= mg = \rho gV; \\ k\Delta x_2 &= \rho gV - \frac{\rho}{6} gV; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{\Delta x_2}{\Delta x_1} = \frac{6}{5} = 1{,}2;$$

2. Энергия упругих деформаций пружины:

$$\Pi = \frac{k\Delta x^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad \frac{\Pi_2}{\Pi_1} = \left(\frac{\Delta x_2}{\Delta x_1}\right)^2 = 1{,}44;$$

---

313. Навстречу друг другу движутся кусок пластилина со скоростью v_1 = 23 м/с и тело со скорость. v_2 = 5 м/с. Масса тела в три раза больше массы пластилина. Коэффициент трения скольжения между телом и поверхностью, по которой оно движется μ = 0,25. На какое совместное расстояние переместятся слипшиеся предметы к моменту, когда их скорость уменьшится в два раза?

Решение

1. Скорость после слипания определим из закона сохранения импульса

$$u(m + 3m) = mv_1 - 3mv_2; \quad 4um = m(v_1 - 3v_2); \quad u = \frac{23 - 15}{4} = 2\frac{м}{с};$$

2. Кинетическая энергия тел будет расходоваться на работу против силы трения тела о поверхность. В соответствии с теоремой об изменении кинетической энергии:

$$K_2 - K_1 = A(F_{Тр}); \quad \frac{4mu^2}{2} - \frac{4m\left(\frac{u}{2}\right)^2}{2} = \mu 4mgx;$$

$$6m = 4m\mu gx; \quad x = \frac{6}{4\mu g} = 0{,}6м;$$

---

314. В деревянный брусок, лежащий на гладкой горизонтальной поверхности, попадает пуля массой m_1 = 10 г и остаётся в нём. В результате брусок приходит в движение со скоростью u = 10 м/с. Пуля до соприкосновения с бруском летела со скоростью v_1 = 420 м/с под углом α = 60^0 к горизонту. Определить массу бруска.

Решение

1. Масса бруска определится из закона сохранения импульса в проекции на направление движения бруска:

$$m_1 v_1 \cos\alpha = (m_1 + m_2)u; \quad \Rightarrow \quad m_2 = \frac{m_1 v_1 \cos\alpha}{u} - m_1;$$

$$m_2 = m_1\left(\frac{v_1 \cos\alpha}{u} - 1\right) = 10^{-2}\left(\frac{420 \cdot 0{,}5}{10} - 1\right) = 0{,}2кг;$$

---

315. Тележке массой m = 2,5 кг, стоящей на полу и соединённой со стеной недеформированной пружиной жёсткостью k = 60 Н/м, сообщается скорость v_1 = 2 м/с перпендикулярная стене. Найти кинетическую энергию тележки, когда она пройдёт расстояние Δx = 0,25 м.

Решение

1. Кинетическая энергия тележки сразу после сообщения ей скорости

$$K_0 = \frac{mv_1^2}{2};$$

2. Потенциальная энергия пружины при её сжатии на Δx

$$\Pi = \frac{k\Delta x^2}{2};$$

3. Кинетическая энергия тележки после прохождения ею расстояния Δx:

$$K_1 = K_0 - \Pi = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{k\Delta x^2}{2} \cong 3{,}1\text{Дж};$$

---

316. Начальная скорость снаряда, выпущенного из пушки вертикально вверх, v_0 = 200 м/с. В точке максимального подъёма снаряд разорвался на два одинаковых осколка, которые разлетелись в вертикальных направлениях. Осколок, полетевший вниз, достиг земли, имея скорость 5/3 v_0. Через какое время после выстрела упадёт на землю второй осколок?

Решение

1. Высота и время подъёма снаряда в точку разрыва:

$$h_1 = \frac{v_0^2}{2g} = 2000\text{м}; \quad t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = 20\text{с};$$

2. Скорости осколков сразу после взрыва:

$$v_2 = \frac{5}{3}v_0 - v_0 = 133{,}3\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

3. Высота и время подъёма второго осколка над местом взрыва:

$$h_2 = \frac{v_2^2}{2g} \cong 888\text{м}; \quad t_2 = \sqrt{\frac{2h_2}{g}} = 13{,}3\text{с};$$

4. Максимальное удаление второго осколка от поверхности земли и время его падения на землю:

$$h_3 = h_1 + h_2 = 2888\text{м}; \quad t_3 = \sqrt{\frac{2h_3}{g}} = 24\text{с};$$

5. Время падения второго осколка

$$\tau = t_1 + t_3 + t_3 = 57\text{с}.$$

---

317. С вертолёта, находящегося на высоте h = 30 м, сбрасывают груз. Вертолёт при этом равномерно опускается вниз со скоростью v_1 = 5 м/с. За какое время груз упадёт на землю?

Решение

1. Скорость груза:

$$v = v_1 + gt;$$

2. Закон сохранения энергии груза:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh; \quad \frac{(v_1 + gt)^3}{2}gh; \quad \Rightarrow \quad t = \frac{\sqrt{2gh} - v_0}{g} = 2\text{с};$$

---

318. На горизонтальной поверхности лежит тело, на которое действует постоянная сила F = 20 Н, направленная под углом α = 30^0 к горизонту. Под действием этой силы тело равномерно переместилось на Δx = 5 м. Какую потенциальную энергию приобрело тело относительно горизонтальной поверхности?

Решение

1. Изменение потенциальной энергии численно равно работе произведённой действующей силой в вертикальном направлении:

$$\Delta \Pi = A(F_y) = F\Delta x\cos\alpha = 20\cdot 5\cdot 0{,}866 = 86{,}6 Дж\ ;$$

---

319. Шарик, прикрепленный к пружине, совершает гармонические колебания на гладкой горизонтальной поверхности с амплитудой А = 10 см. На сколько сместится шарик от положения равновесия за время, в течение которого его кинетическая энергия уменьшится вдвое?

Решение

1. Запишем закон сохранения энергии для двух положений колеблющегося тела

$$\left.\begin{aligned} &\frac{kA^2}{2} = \frac{mv_m^2}{2};\\ &\frac{kx^2}{2} = \frac{mv_m^2}{4}; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{A^2}{x^2} = 2; \quad x = A\sqrt{\frac{1}{2}} \cong 7 см;$$

---

320. Приведены результаты исследования зависимости квадрата времени падения шарика для настольного тенниса от высоты. Оценить, на сколько сопротивление воздуха «уменьшает» ускорение падения по сравнению с ускорением свободного падения g = 9,8 м/с.

t^2, с	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
$h\cdot 10^{-2}$, м	0	20	40	60	80	100

Решение

1. Зависимость t^2 =f(h) линейная, поэтому для оценки влияния сопротивления рационально выбрать точку из удобства вычислений. Ускорение падения теннисного шарика:

$$h = \frac{at^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad a = \frac{2h}{t^2} = \frac{40\cdot 10^{-2}}{0{,}05} = \frac{80\cdot 10^{-2}}{0{,}1} = 8\frac{м}{с^2};$$

2. Изменение ускорения:

$$\Delta a = g - a = 1{,}8\frac{м}{с^2};$$

---

9. Молекулярная физика

321. Два моля идеального одноатомного газа сначала охладили, а затем нагрели до первоначальной температуры T = 400 К, увеличив объём газа в три раза. Какое количество теплоты отдал газ на участке 1 – 2?

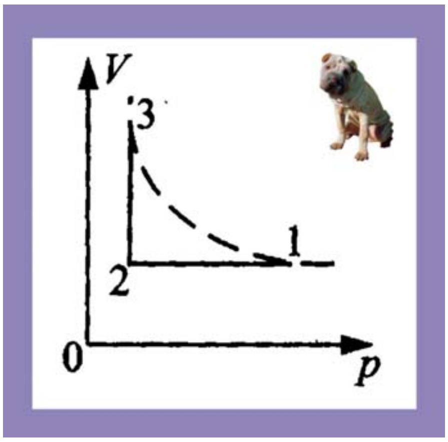


Рис. 321. Идеальный газ

Решение

1. На участке 1 – 2 объём не меняется, поэтому работа не совершается, отдаваемое газом тепло всё идёт на изменение его внутренней энергии.

2. Определим температуру газа в состоянии 2, с учётом того, что точки 1 и 3 лежат на изотерме

$$\left.\begin{aligned} p3V &= \nu RT_3; \\ pV &= \nu RT_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad T_2 = \frac{T_3}{3} = 133{,}3\text{K}.$$

3. Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\left(T_1 - T_2\right) = 1{,}5 \cdot 2 \cdot 8{,}3 \cdot \left(400 - 133{,}3\right) \cong 6640\text{Дж};$$

---

322. На высоте H = 200 км давление воздуха составляет примерно 10^{-9} от нормального атмосферного давления, а температура воздуха $T_1 \cong 1200$ К. Оценить, во сколько раз плотность воздуха на этой высоте меньше плотности воздуха у поверхности Земли при $T_0 = 27\ ^0$С.

Решение

1. Получим уравнение плотности:

$$pV = \frac{m}{\mu}RT; \quad p = \frac{m}{V}\frac{RT}{\mu}; \quad p = \rho\frac{RT}{\mu}; \quad \rho = \frac{p\mu}{RT};$$

2. Плотность воздуха у поверхности Земли при $p_0 \cong 10^5$ Па, $T_0 = 300$ К

$$\rho_0 = \frac{p_0\mu}{RT_0} \cong \frac{10^5 \cdot 29 \cdot 10^{-3}}{8{,}3 \cdot 300} \cong 1{,}16\frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

3. Плотность воздуха на высоте H

$$\rho_H = \frac{p_H\mu}{RT_H} \cong \frac{10^5 \cdot 10^{-9} \cdot 29 \cdot 10^{-3}}{8{,}3 \cdot 1200} \cong 3 \cdot 10^{-10}\frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

4. Отношение плотностей

$$\frac{\rho_H}{\rho_0} \cong 2{,}5 \cdot 10^{-10};$$

---

323. После того, как в комнате включили отопление, температура воздуха повысилась с 18^0С до 27 ^{0}С при неизменном атмосферном давлении. На сколько процентов уменьшилось число молекул воздуха в комнате?

Решение

1. Запишем уравнение состояния воздуха для двух заданных температур:

$$pV = \frac{m}{\mu}RT; \quad pV = \frac{N}{N_A}RT;$$

$$\left.\begin{aligned} pV = \frac{N_1}{N_A}RT_1; \\ pV = \frac{N_2}{N_A}RT_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{N_2}{N_1} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{291}{300} = 0{,}97\,;$$

2. Количество молекул уменьшилось на 3%.

---

324. Какова разница в массе воздуха, при нормальном давлении заполняющего помещение объёмом V = 50 м^3, зимой и летом, если температура летом T_1 = 40 ^{0}С а зимой T_2 = 0 ^{0}С?

Решение

1. Масса из уравнения Клапейрона – Менделеева:

$$pV = \frac{m}{\mu}RT; \quad \Rightarrow \quad m = \frac{pV\mu}{RT};$$

2. Масса воздуха в помещении летом и зимой:

$$m_1 = \frac{p_0V\mu}{RT_1}; \quad m_2 = \frac{p_0V\mu}{RT_2};$$

3. Разница масс воздуха:

$$\Delta m = \frac{p_0V\mu}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \cong \frac{10^5 \cdot 50 \cdot 29 \cdot 10^{-3}}{8{,}3}\left(\frac{1}{273} - \frac{1}{313}\right) \cong 8\text{кг}\,;$$

---

325. Сосуд с азотом при нормальных условиях (T_0 = 273 К, p_0 = 10^5 Па) движется со скоростью v = 100 м/с. Какой будет максимальная температура при внезапной остановке сосуда?

Решение

1. Изменение температуры газа при резкой остановке сосуда, с учётом того, что молекула азота двухатомная, имеет i =5 степеней свободы:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{5RT}{\mu}}; \quad \Rightarrow \quad T = \frac{\langle v \rangle^2 \mu}{5R}; \quad \Delta T = \frac{v^2\mu}{5R} = \frac{10^4 \cdot 28 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 8{,}3} \cong 6{,}7\text{K}\,;$$

2. Максимальная температура при внезапной остановке сосуда:

$$T_{max} = T_0 + \Delta T \cong 280\text{K};$$

---

326. Какое количество теплоты было получено или отдано одноатомным идеальным газом при переходе из состояния 1 в состояние 3? График изменения состояния газа в pV- координатах приведен на рис. 326.

Решение

1. Работа, совершаемая газом при переходе из состояния 1 в состояние 2

$$Q_1 = \delta A = \Delta p \Delta V = 400 Дж;$$

2. При переходе из состояния 2 в состояние 3 (уменьшение давления при постоянном объёме) работа не совершается, изменяется внутренняя энергия газа

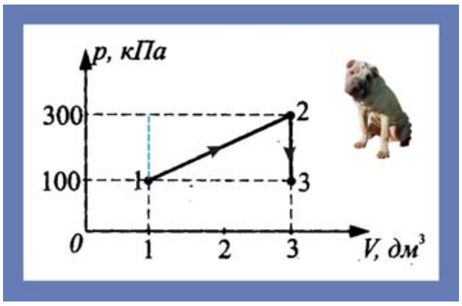


Рис. 326. Изменение состояния

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R \Delta T; \quad Q_2 = \frac{\delta A}{2} = \nu R \Delta T = \frac{3}{4}\delta A = 300 Дж;$$

3. Количество теплоты, полученной газом

$$Q = Q_1 + Q_2 = 700 Дж;$$

---

327. Какое количество теплоты было сообщено идеальному одноатомному газу при его переходе $A \to B \to C$?

Решение

1. Работа, производимая на участке ВС

$$Q_1 = p\Delta V = 400 Дж;$$

2. Изменение внутренней энергии газа на участке ВС

$$Q_2 = \Delta U_1 = \frac{3}{2}\frac{p}{2}\Delta V = 100 Дж;$$

3. Изменение внутренней энергии на участке АВ

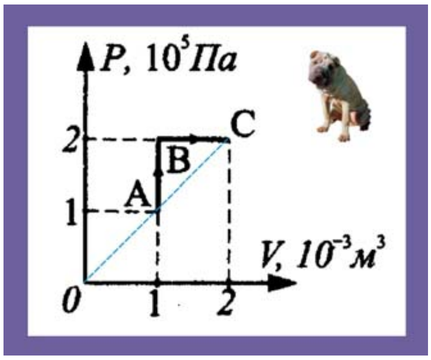


Рис. 327. Изменение состояния

$$Q_3 = \frac{3}{2}Q_2 = 150 Дж;$$

4. Полученное газом тепло при переходах $A \to B \to C$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 650 Дж;$$

---

328. Масса m идеального газа с молярной массой μ, находящегося при температуре T, охлаждается изохорно так, что его давление уменьшается в n раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии его температура равна первоначальной температуре. Определить работу, совершённую газом.

Решение

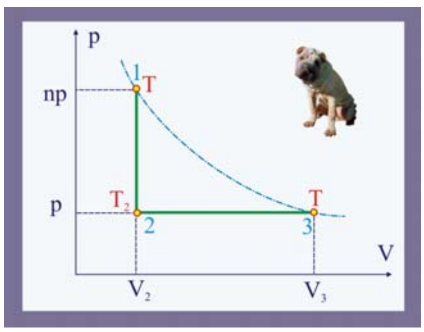


Рис. 328. Работа газа

1. С учётом того, что точки 1 и 3 лежат на изотерме, определим температуру T_2

$$\left.\begin{aligned} npV_2 &= \nu RT; \\ pV_2 &= \nu RT_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad T_2 = \frac{T}{n};$$

2. Работа совершаемая газом при его переходе $2 \to 3$

$$\left.\begin{aligned} pV_2 &= \nu R\frac{T}{n}; \\ pV_3 &= \nu RT; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad A_{2\to 3} = p(V_3 - V_2) = \nu RT\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{n-1}{n}\frac{m}{\mu}RT\,;$$

---

329. В цилиндр заключено 1,6 кг кислорода при температуре T_1 = 17 ^oC и давлении p = 4,10^5 Па. До какой температуры нужно изобарно нагреть кислород, чтобы работа по расширению была равна $\delta A = 4\cdot 10^4$ Дж?

Решение

1. Количество вещества в цилиндре

$$\nu = \frac{m}{\mu} = 50 \text{ моль};$$

2. Работа газа при изобарном процессе

$$\delta A = \nu R(T_2 - T_1); \quad \Rightarrow \quad T_2 = T_1 + \frac{\delta A}{\nu R} = 290 + \frac{4\cdot 10^4}{50\cdot 8{,}3} \cong 386{,}4K\,;$$

---

330. Двум молям идеального газа при изобарном расширении сообщили ΔQ = 310 Дж теплоты. Определить изменение температуры газа

Решение

1. Первое начало термодинамики:

$$\Delta Q = \Delta U + \delta A = \frac{3}{2}\nu R\Delta T + \nu R\Delta T = \nu R\Delta T\left(\frac{3}{2} + 1\right) = 2{,}5\nu R\Delta T;$$

$$\Delta T = \frac{\Delta Q}{2{,}5\nu R} \cong 7{,}5K\,;$$

---

331. В сосуд с водой бросают кусочка льда при непрерывном помешивании, вначале кусочки льды тают, но в некоторый момент времени лёт таять прекращает. Первоначальная масса воды в сосуде m_0 = 660 г. На сколько увеличилась масса воды к моменту прекращения таяния льда, если первоначальная температура воды составляла 12,5 ^0C?

Решение

1. Таяние льда прекратится при опускании температуры воды до 0 ^0C, т.е. изменение температуры воды составит ΔT = 12,5 ^oC = 12,5 ^0K.

2. Количество тепла, необходимое для таяния льда массой m_x

$$Q_1 = \lambda m_x\,,$$

где $\lambda \cong 3{,}3\cdot 10^5$ Дж/кг – удельная теплота плавления льда.

3. Теплота, отданная водой при охлаждении

$$Q_2 = cm_0\Delta T,$$

где $c \cong 4200$ Дж/кг·К – удельная теплоёмкость воды.

4. Уравнение теплового баланса:

$$\lambda m_x = cm_0\Delta T; \quad \Rightarrow \quad m_x = \frac{cm_0\Delta T}{\lambda} \cong \frac{4200\cdot 0{,}66\cdot 12{,}5}{3{,}3\cdot 10^5} \cong 0{,}105\text{кг}\,.$$

---

332. Для определения удельной теплоёмкости вещества массой m_1 = 200 г нагретое до температуры t_1 = 100 ^{0}C, опустили в калориметр, содержащий m_2 = 200 г воды при температуре t_2 = 23 ^{0}C. После установления теплового равновесия температура воды оказалась равной θ = 30 ^{0}C. Определить удельную теплоёмкость исследуемого вещества.

Решение

1. Уравнение теплового баланса с учётом того, что нагретое тело тепло отдаёт, а вода его получает:

$$m_1c_1(t_1-\theta)=m_2c_2(\theta-t_2);\quad\Rightarrow\quad c_1=\frac{m_2c_2(\theta-t_2)}{m_1(t_1-\theta)};$$

$$c_1=\frac{0{,}2\cdot 4200\cdot 7}{0{,}2\cdot 70}=420\frac{\text{Дж}\cdot\text{кг}}{^0\text{C}};$$

---

333. Какое количество теплоты потребуется, чтобы расплавить наполовину кусок свинца массой m = 1 кг, находящийся при температуре T_0 = 300 K?

Решение

1. Температура плавления свинца составляет $t_2 \cong 600$ K, поэтому свинец требуется нагреть на $\Delta t = 300$ K, для этого требуется Q_1 теплоты

$$Q_1 = cm\Delta t,$$

где $c \cong 130$ Дж/кг·К – удельная теплоёмкость свинца.

2. Количество тепла, необходимое для плавления m/2 свинца:

$$Q_2=\frac{\lambda m}{2};$$

3. Суммарное количество необходимой теплоты

$$Q_\Sigma=Q_1+Q_2=cm\Delta t+\frac{\lambda m}{2}=m\left(c\Delta t+\frac{\lambda}{2}\right)\cong 1\left(300\cdot 130+\frac{2{,}43\cdot 10^4}{2}\right)\cong 5{,}15\cdot 10^4\,\text{Дж};$$

---

334. Какое количество теплоты потребуется, чтобы получить пар массой m_1 = 200 г из m_2 = 2 кг воды, взятой при температуре t_1 = 0 ^{0}C?

Решение

1. Прежде всего воду нужно нагреть от 273 K до 373 K, т.е. на $\Delta T = 100$ K, а потом уже испарить её в количестве m_1. Примем удельную теплоёмкость воды равной $c \cong 4200$ Дж/кг·К, удельную теплоту парообразования $L = 2{,}26\cdot 10^6$ Дж/кг

$$Q=cm_2\Delta T+Lm_1=4200\cdot 2\cdot 100+2{,}26\cdot 10^6\cdot 0{,}2\cong 1{,}3\cdot 10^6\,\text{Дж};$$

---

335. В колбе находится вода при температуре 0 ^{0}C. Выкачивая из колбы воздух и пары воды, воду замораживают посредствам её испарения. Какой процент воды составит масса пара?

Решение

1. Обозначим как m_0 начальную массу воды, m_x – массу образовавшегося пара. Примем удельную теплоту испарения $L \cong 2{,}26\cdot 10^6$ Дж/кг, удельную теп-

лоту кристаллизации (отверждения) воды $\lambda \cong 3{,}3\cdot 10^5$ Дж/кг.

2. Как известно, процесс кристаллизации сопровождается выделением теплоты, которая в данном случае расходуется на испарение жидкости, поэтому уравнение теплового баланса представится следующим образом:

$$m_x L = (m_0 - m_x)\lambda; \quad m_x L = m_0\lambda - m_x\lambda; \quad m_x L + m_x\lambda = m_0\lambda;$$

$$m_x(L+\lambda) = m_0\lambda; \quad \Rightarrow \quad \frac{m_x}{m_0} = \frac{\lambda}{L+\lambda} \cong \frac{3{,}3\cdot 10^5}{2{,}26\cdot 10^6 + 3{,}35\cdot 10^5} \cong 0{,}13\ (13\%);$$

---

336. В кастрюлю налили холодной воды при температуре t_1 = 9 ^{0}С и поставили на плиту, не закрывая крышкой. Через t_1 = 10 мин вода закипела. Через какое время после начала кипения вода полностью испарится?

Решение

1. Считая мощность нагревателя N постоянной, можно для процессов нагревания и испарения записать следующие соотношения

$$Nt_1 = cm\Delta T; \quad Nt_2 = Lm; \quad \frac{c\Delta T}{t_1} = \frac{L}{t_2},$$

где c = 4200 Дж/кг·К – удельная теплоёмкость воды, ΔT = 91 К – разность между начальной температурой воды и температурой её кипения, L = $2{,}25\cdot 10^6$ Дж/кг – удельная теплота испарения воды, t_2 – время испарения воды массой m

$$t_2 = \frac{Lt_1}{c\Delta T} \cong \frac{2{,}26\cdot 10^6\cdot 600}{4200\cdot 91} \cong 3548\text{с} = 59{,}13\text{мин};$$

---

337. Метеорит, состоящий из железа влетает в земную атмосферу со скоростью v = $1{,}5\cdot 10^3$ м/с, имея температуру T_1 = 300 К. 80% кинетической энергии метеорита переходит во внутреннюю энергию железа. Какая часть метеорита в процентах расплавится?

Решение

1. В соответствие с законом сохранения энергии кинетическая энергия метеорита трансформируется частично во внутреннюю энергию, что, собственно, и приводит к разогреву космического пришельца

$$0{,}8\frac{mv^2}{2} = Q_1 + Q_2,$$

где m – масса метеорита, v – скорость, $Q_1 = cm\Delta T$ – количество теплоты, необходимое для прогрева метеорита до температуры плавления железа $T_2 \approx 1540$ ^{o}К, ΔT=1240, удельная теплоемкость железа c ≅ 444 Дж/кг·К $Q_2 = \zeta m\lambda$ – теплота, требующаяся для плавления ζ части метеорита ($\lambda \approx 2{,}7\cdot 10^5$ Дж/кг).

2. Разрешим уравнение закона сохранения энергии относительно скорости

$$0{,}8\frac{mv^2}{2} = cm\Delta T + \zeta m\lambda; \quad (0{,}4v^2 - c\Delta T) = \zeta\lambda;$$

$$\zeta = \frac{0{,}4v^2 - c\Delta T}{\lambda} = \frac{9\cdot 10^5 - 6{,}8\cdot 10^5}{2{,}7\cdot 10^5} \cong 0{,}8\ (80\%);$$

---

10. Основы электродинамики

338. Задан вектор напряжённости $\vec{E}$ электрического поля в точке С, которое создано двумя точечными зарядами q_A и q_B. Каков примерно заряд q_B, если заряд q_A = +15 мкКл?

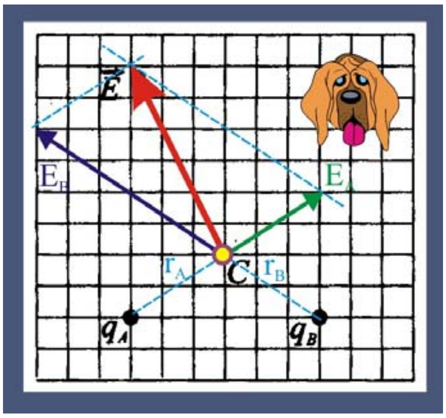


Рис. 338. Напряжённость поля

Решение

1. Результирующий вектор $\vec{E}$ является диагональю параллелограмма, построенного на векторах напряженностей электрических полей, созданных заданной системой зарядов, т.е. искомый заряд q_B будет положительным.

2. Напряжённость поля, создаваемого точечным зарядом:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|q|}{r^2},$$

в данном случае, судя по заданной схеме, $r_1 = r_2$, а $\left|\vec{E}_B\right| \approx 2\left|\vec{E}_A\right|$, значит заряд q_B должен быть в два раза по модулю больше заряда q_A. Другими словами:

$$|q_B| = 2|q_A| = 2\text{мкКл}.$$

---

339. В вершинах острых углов ромба со стороной ℓ = 1 м помещены положительные заряды $q_1 = q_2$ = 1 нКл, а в вершине одного из тупых углов – положительный заряд q_3 = 5 нКл. Определить напряжённость электрического поля в четвёртой вершине ромба, если меньшая диагональ ромба равна его стороне.

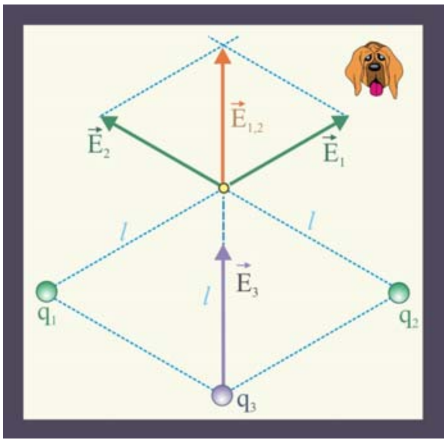


Рис. 339. Заряды в вершинах ромба

Решение

1. Модули векторов E_1 и E_2 будут одинаковы по модулю, т.к. расположены на одинаковом расстоянии ℓ от вершины тупого угла, $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ образуют угол 120^0, поэтому:

$$E_{1,2} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos120^0} = E_1 = E_2;$$

2. Вектор $\vec{E}_3$ направлен так же как и $\vec{E}_{1,2}$, но по модулю он будет в пять раз больше, поэтому результирующий вектор от всех трёх зарядов определится как:

$$\vec{E}_{1,2,3} = \vec{E}_{1,2} + \vec{E}_3; \quad \left|\vec{E}_{1,2,3}\right| = 6E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{6q_1}{\ell^2} \cong \frac{9\cdot10^9\cdot6\cdot10^{-9}}{1} \cong 54\frac{В}{м};$$

---

340. Два одинаковых маленьких шарика, массой m = 80 г каждый подвешены в одной точке на нитях длиной ℓ = 30 см. Какой заряд необходимо сообщить каждому шарику, чтобы они нити образовали прямой угол?

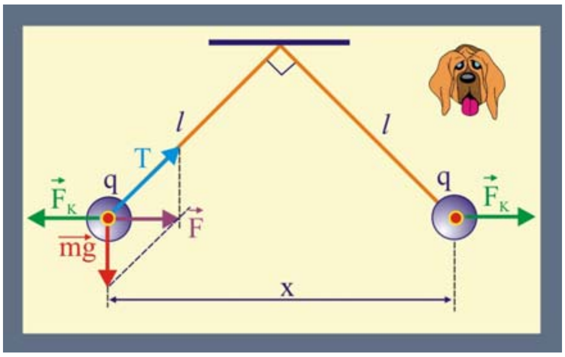


Рис. 340. Подвешенные шарики

Решение

1. Шарики станут находиться в равновесии, если:

$$\left|m\vec{g} + \vec{T}\right| = \left|\vec{F}\right|;$$

2. Векторы $\vec{F}$ и $m\vec{g}$ образуют угол $\alpha = 45^0$, что означает:

$$\left|\vec{F}\right| = \left|m\vec{g}\right| = \left|\vec{F}_K\right| = 0{,}08 \cdot 10 = 0{,}8\text{Н};$$

3. Квадрат расстояния между зарядами:

$$x^2 = 2\ell^2 = 0{,}18\text{м};$$

4. Уравнение силы Кулона позволяет определить искомый заряд:

$$F_K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{x^2} = k\frac{q^2}{x^2}; \quad q = \sqrt{\frac{F_K x^2}{k}} \cong \sqrt{\frac{0{,}8 \cdot 0{,}18}{9 \cdot 10^9}} \cong 4\text{мкКл};$$

---

341. Заряженная частица создаёт в некоторой точке вакуума поле напряжённостью E_0 = 60 В/м. Какая сила будет действовать на заряд q = 5 нКл, помещённый в эту точку, если всю систему поместить в керосин с диэлектрической проницаемостью ε = 2?

Решение

1. Напряжённость поля в вакууме и керосине

$$E_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_0}{r^2}; \quad E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q_0}{r^2}; \quad \Rightarrow E_1 = \frac{E_0}{2} = 30\frac{\text{В}}{\text{м}};$$

2. Сила Кулона:

$$F_K = qE_1 = 150\text{нКл}.$$

---

342. В горизонтальное однородное электрическое поле напряжённостью E = 2 кВ/м внесли маленький заряженный шарик массой m = 2,8 г, подвешенный на нити. Нить отклонилась на угол $\alpha = 45^0$. Чему равен заряд шарика?

Решение

1. Угол отклонения в 45^0 означает, что модуль силы тяжести равен модулю силы Кулона

$$\left|m\vec{g}\right| = \left|\vec{F}_K\right| = 2{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 2{,}8 \cdot 10^{-2}\text{Н};$$

2. Заряд шарика:

$$F_K = qE; \quad q = \frac{F_K}{E} = 14\text{мкКл};$$

---

343. Электрон, разогнанный разностью потенциалов U = 50 кВ, влетел в однородное магнитное поле с индукцией B = 0,1 Тл со скоростью перпендикулярной вектору магнитной индукции. Определить радиус окружности, по которой станет двигаться электрон.

Решение

1.Скорость разогнанного электрическим полем электрона:

$$eU = \frac{mv^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad v^2 = \frac{2eU}{m}; \quad v = \sqrt{\frac{2eU}{m}};$$

2. Условие нахождения электрона в однородном магнитном поле на круговой орбите:

$$\frac{mv^2}{r} = evB; \quad \frac{mv}{r} = eB; \quad r = \frac{mv}{eB} = \frac{m\sqrt{\frac{2eU}{m}}}{eB} = \frac{\sqrt{2eUm}}{eB};$$

$$r = \frac{\sqrt{2\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 5\cdot 10^{4}\cdot 1\cdot 10^{-30}}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 0{,}1} \cong 8\cdot 10^{-3}\text{м};$$

---

344. Два пластилиновых шарика массами m_1 = 0,2 кг и m_2 = 0,3 кг подвешены на одинаковых нитях длиной ℓ = 0,5 м в одной точке. Шарик массой m_1 отклонили от положения равновесия так, что нить образовала прямой угол, и отпустили. На какую высоту поднимутся шарики после неупругого соударения?

Решение

1. Скорость первого шарика в момент соприкосновения со вторым шариком:

$$m_1 g\ell = \frac{m_1 v_1^2}{2}; \quad v_1 = \sqrt{2g\ell};$$

2. Скорость шариков сразу после слипания:

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2)u; \quad u = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2};$$

3. Высота подъёма слипшихся шариков:

$$\frac{(m_1 + m_2)u^2}{2} = (m_1 + m_2)gh; \quad h = \frac{u^2}{2g} = \frac{m_1^2 v_1^2}{2g(m_1 + m_2)^2} = \frac{m_1^2 2g\ell}{2g(m_1 + m_2)^2};$$

$$h = \frac{m_1^2\ell}{(m_1 + m_2)^2} = \frac{0{,}04\cdot 0{,}5}{0{,}25} = 0{,}08\text{м};$$

---

345. В вершине прямого угла наклонной плоскости находится положительный заряд Q. На вершину плоскости высотой h ставят тело, имеющее заряд q и массу m, которое без трения соскальзывает к основанию наклонной плоскости. Определить скорость тела в конце спуска.

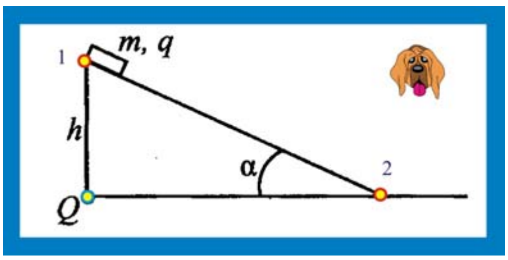


Рис. 345. Тело на плоскости

Решение

1. В вершине наклонной плоскости, в точке 1 тело обладает потенциальной энергией состоящей из двух компонент: потенциальной энергией, обусловленной гравитационным взаимодействием $П_1$ и потенциальной энергией электростатического взаимодействия $П_2$

$$E_1 = П_1 + П_2 = mgh + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{h};$$

2. В конце спуска (в точке 2) тело будет обладать кинетической энергией К и новым значением потенциальной энергии электростатического взаимодействия $П_3$, т.к. расстояние между зарядами становится равным $r = htg\alpha$

$$E_2 = П_3 + K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{hctg\alpha} + \frac{mv^2}{2};$$

3. Гравитационные и электростатические силы являются консервативными, т.е. создаваемые ими поля представляются потенциальными, к ним можно применять закон сохранения механической энергии:

$$E_1 = E_2; \quad mgh + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{h} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{hctg\alpha} + \frac{mv^2}{2},$$

откуда

$$v = \sqrt{2\left[gh + \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{hm}\left(1 - \frac{1}{ctg\alpha}\right)\right]};$$

---

346. Батарея состоит из нескольких элементов, соединённых последовательно. ЭДС каждого элемента ε_1 = 2 В, внутренне сопротивление каждого элемента r_1 = 0,1 Ом. Если к батарее подключить нагрузку R = 9 Ом, то сила тока в цепи будет равна I = 2 А. Определить количество элементов в батарее.

Решение

1. Закон Ома для полной цепи для заданных обстоятельств:

$$I = \frac{n\varepsilon}{nr + R}; \quad Inr + IR = n\varepsilon; \quad n = \frac{IR}{\varepsilon - Ir} = 10.$$

---

347. Сколько элементов нужно соединить параллельно в батарею, чтобы при подключении к ней сопротивления R = 49 Ом получить силу тока в цепи I = 2 А? ЭДС каждого элемента ε = 100 В, внутреннее сопротивление r = 2 Ом.

Решение

1. Закон Ома для полной цепи для заданных обстоятельств:

$$I = \frac{\varepsilon}{\frac{r}{n} + R}; \quad In = \frac{\varepsilon}{r + nR}; \quad n = \frac{IR}{\varepsilon - IR} = 2;$$

---

348. Сопротивление R_1 = 300 Ом и R_2 = 100 Ом включены последовательно в электрическую цепь. Какое количество теплоты выделится на втором сопротивлении, если на первом за то же время выделилось Q_1 = 12 кДж теплоты?

Решение

1. Через последовательно включенные резисторы протекает одинаковая сила тока, поэтому:

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= I^2R_1\tau; \\ Q_2 &= I^2R_2\tau; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{Q_1}{Q_2} = 3; \quad Q_2 = \frac{Q_1}{3} = 7\text{кДж};$$

---

349. Проводники с сопротивлением R_1 = 6 Ом и R_2 = 4 Ом соединены параллельно. Какова мощность тока в проводнике с сопротивлением R_2, если сила тока в проводнике с R_1 равна I_1 = 1 А?

Решение

1. Падение напряжения на резисторах при их параллельном включении:

$$U_1 = U_2 = R_1I_1 = 6\text{В}.$$

2. Мощность тока в проводнике с сопротивлением R_2:

$$P_2 = I_2U_2 = \frac{U^2}{R_2} = 9\text{Вт};$$

---

350. Воздушный конденсатор C_1 = 3 мкФ заполняют диэлектриком в диэлектрической проницаемостью ε = 4. Конденсатор, какой ёмкости C_2 нужно включить последовательно с C_1, чтобы получившаяся батарея имела такую же ёмкость?

Решение

1. При заполнении пространства между пластинами диэлектриком ёмкость возрастёт в ε раз, т.е. C_2 = 12 мкФ.

2. При последовательном соединении конденсаторов:

$$C_1 = \frac{C_2C_3}{C_1 + C_3}; \quad \Rightarrow \quad C_3 = \frac{C_1C_2}{C_2 - C_1} = 4\text{мкФ}.$$

---

351. Три одинаковых конденсатора одинаковой ёмкостью C = 40 мкФ соединены как показано на схеме. После зарядки батареи в них накапливается энергия W = 0,3 Дж. Определить разность потенциалов между точками А и В.

Решение

1. Ёмкость батареи

$$C_0 = C_3 + \frac{C}{2} = 60\text{мкФ};$$

2. Энергия батареи:

$$W = \frac{C_0U^2}{2}; \quad U = \sqrt{\frac{2W}{C_0}} = 100\text{В};$$

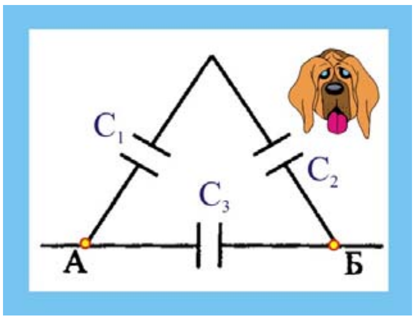


Рис. 351. Батарея конденсаторов

---

352. Во сколько раз увеличится период колебаний в LC-контуре, если ёмкость конденсатора уменьшить в два раза, а индуктивность возрастёт в 8 раз?

Решение

1. В соответствии с формулой Томсона

$$T_1 = 2\pi\sqrt{LC};\quad T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{C}{2}8L} = 4\pi\sqrt{LC};\quad T_2 = 2T_1;$$

---

353. Период LC-контура T = 6,28 мкс. Амплитуда колебаний силы тока i_m = 5 мА. В момент времени t сила тока в катушке составила i = 3 мА. Найти заряд конденсатора в этот момент времени.

Решение

1. Закон сохранения энергии для колебательного контура:

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{Li_m^2}{2};\quad q^2 + LCi^2 = LCi_m^2;$$

2. Величина LC определяется из формулы Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC};\quad LC = \frac{T^2}{4\pi^2};\quad \Rightarrow\quad q = \sqrt{LC\left(i_m^2 - i^2\right)} = \frac{T}{2\pi}\sqrt{i_m^2 - i^2}\,;$$

$$q = \frac{6{,}28\cdot 10^{-6}}{6{,}28}\sqrt{25\cdot 10^{-6} - 9\cdot 10^{-6}} = 4\text{нКл}\,;$$

---

354. Колебания силы тока в цепи переменного тока описывается уравнением $i(t) = 0{,}2\cos 12{,}5t$. Ёмкость конденсатора, включённого в эту цепь C = 16 мкФ. Найти амплитуду напряжения на конденсаторе.

Решение

1. Закон сохранения энергии для колебательного контура:

$$\frac{Cu_m^2}{2} = \frac{Li_m^2}{2};\quad Cu_m^2 = Li_m^2;$$

2. Амплитудное значение силы тока и величину периода найдём из заданного уравнения:

$$i_m = 0{,}2\text{А};\quad 12{,}5 = \frac{2\pi}{T};\quad \Rightarrow\quad T = 0{,}5\text{с}\,;$$

3. Индуктивность контура выразим из формулы Томсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC};\quad \Rightarrow\quad L = \frac{T^2}{4\pi^2 C};$$

4. Перепишем уравнение закона сохранения:

$$Cu_m^2 = \frac{T^2 i_m^2}{4\pi^2 C};\quad \Rightarrow\quad u_m = \sqrt{\frac{T^2 i_m^2}{4\pi^2 C^2}} \cong \sqrt{\frac{0{,}25\cdot 0{,}04}{40\cdot 2{,}56\cdot 10^{-10}}} \cong 1000\text{В}\,;$$

---

355. Чему равно максимальное значение силы тока i_m после замыкания ключа, если в начальный момент времени конденсатор не заряжен? Данные элементов схемы: ε = 12 В, L = 8 мкГн, C = 5 мкФ.

Решение

1. В соответствии с законом сохранения энергии:

$$\frac{Cu_m^2}{2} = \frac{Li_m^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad Li_m^2 = \varepsilon^2 C;$$

$$i_m = \varepsilon\sqrt{\frac{C}{L}} \cong 12\sqrt{\frac{5}{8}} \cong 9{,}5A;$$

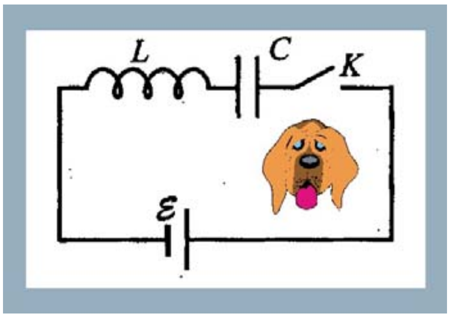


Рис 355. LC-контур

356. Сила тока в катушке колебательного контура при свободных колебаниях изменяется по закону:

$$i(t) = 0{,}2\sin 102t;$$

Определить максимальное значение энергии электрического поля конденсатора, если C = 1 мкФ.

Решение

1. Заданное уравнение зависимости силы тока от времени позволяет установить, что: $i_m = 0{,}2A$, $\omega = 102\ c^{-1}$.

2. Индуктивность контура:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}; \quad \Rightarrow \quad L = \frac{1}{\omega^2 C};$$

3. Закон сохранения энергии для колебательного контура:

$$W_E = W_B; \quad \frac{Cu_m^2}{2} = \frac{Li_m^2}{2};$$

$$W_E = \frac{Li_m^2}{2} = \frac{i_m^2}{2\omega^2 C} = \frac{0{,}2^2}{2\cdot 102^2\cdot 1\cdot 10^{-6}} \cong 2Дж;$$

11. Оптика

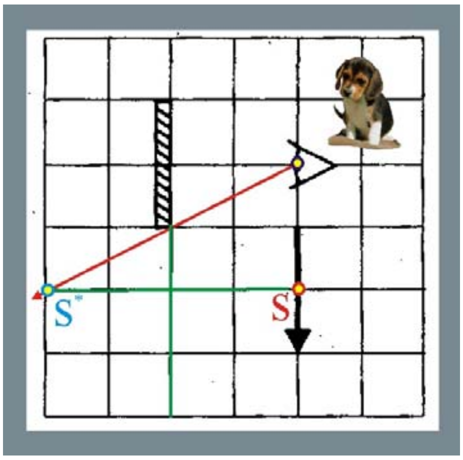


Рис. 357. Стрелка в зеркале

357. Какая часть изображения стрелки видна глазу?

Решение

1. Из точки расположения глаза проводим луч через нижнюю кромку зеркала, который даст изображение S^* самой нижней точки стрелки S, которая ещё будет видима глазом.

2. Прямая SS^* отсекает, судя по приведенной схеме взаимного расположения глаза и зеркала, половину длины стрелки, т.е. в зеркале будет видна только половина стрелки.

---

358. На каком расстоянии от рассеивающей линзы с фокусным расстоянием F = 12 см окажется предмет, если его мнимое изображение оказалось слева от линзы на расстоянии f = 9 см?

Решение

1. Формула рассеивающей линзы:

$$\frac{1}{f}-\frac{1}{d}=\frac{1}{F}; \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{f}-\frac{1}{F}=\frac{1}{d}; \quad \frac{F-f}{fF}=\frac{1}{d}; \quad d=\frac{fF}{F-f}=36\text{см};$$

---

359. Задан ход лучей от точечного источника света через тонкую линзу. Определить оптическую силу линзы.

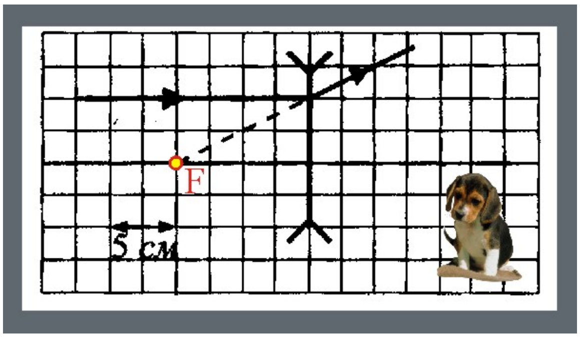


Рис. 359. Тонкая линза

Решение

1. По заданной схеме лучей через рассеивающую тонкую линзу определим фокусное расстояние

$$F = 0{,}1\,\text{м};$$

2. Оптическая сила рассеивающей линзы:

$$D=-\frac{1}{F}=-10;$$

---

360. Параллельный пучок света падает нормально на тонкую собирающую линзу диаметром 2R = 8 см с оптической силой D = 4 дптр. Экран расположен на расстоянии L = 10 см за линзой. Определить диаметр светлого пятна на экране.

Решение

1. Фокусное расстояние линзы: F = 1/D = 0,25 м

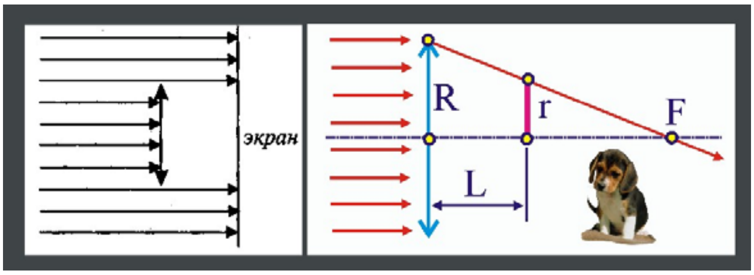


Рис. 360. Диаметр светлого пятна на экране

2. Всякий луч параллельный главной оптической оси после преломления в тонкой собирающей линзе должен пройти через её фокус, что даёт основание радиус светового пятна и его диаметр на экране определить из подобия треугольников:

$$\frac{R}{F}=\frac{r}{F-L};\quad r=\frac{R(F-L)}{F}=\frac{0{,}04\cdot 0{,}15}{0{,}25}=2{,}4\text{см};\quad Y=2r=4{,}8\text{с},$$

---

361. Какой наименьшей высоты h должно быть вертикальное плоское зеркало, чтобы мадам могла, не изменяя положения головы, видеть в нём себя в полный рост H? На каком расстоянии s от пола должен находиться нижний край зеркала? Зависит ли размер зеркала от расстояния между зеркалом и мадам?

Решение

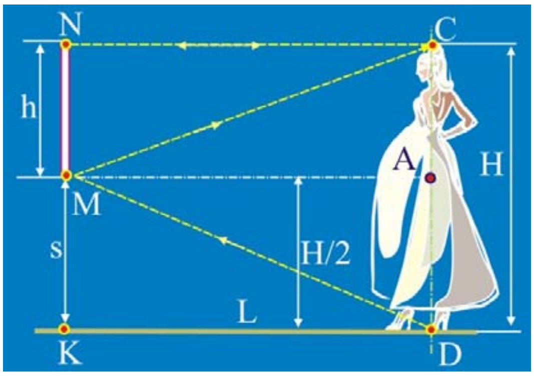


Рис. 361. Отражение мадам в зеркале

1. Восстановим в произвольной точке K перпендикуляр к горизонтальному полу. Будем считать далее, что вертикальная стена, на которой предполагается поместить зеркало проходит через точки NK.

2. Выделим две крайние точки фигуры мадам C и D, располагающиеся на расстоянии H друг от друга.

3. Верхний край зеркала разместим на одной прямой с точкой C. Луч из C на зеркало перпендикулярен, т.е. отражение точки C в зеркале будет постоянным.

4.Минимальная высота зеркала, обеспечивающая отражение точки D будет иметь место, исходя из закона отражения, при

$$h=\frac{H}{2};$$

5. Из проведенных построений видно, что нижний край зеркала будет находиться от пола на расстоянии

$$s=\frac{H}{2};$$

6. При изменении расстояния L будет изменяться только угол падения и угол отражения, на размер зеркала этот параметр не влияет.

---

362. Плоское зеркало движется со скоростью v = 1,5 см/с. С какой по модулю и направлению скоростью должен двигаться точечный источник света S, чтобы его изображение S^* в плоском зеркале было неподвижным?

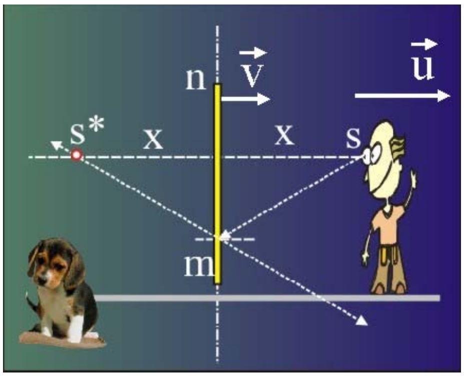


Рис. 362. Перемещение изображения

Решение

1. Изображение источника S в плоском зеркале получается мнимым и расположенным симметрично относительно плоскости зеркала. Изображение находится, таким образом, на двойном расстоянии от источника.

2. Если зеркало движется вправо со скоростью v, то для сохранения картинки источник должен удаляться от зеркала с двойной его скоростью u = 3 м/с.

363. Безоблачным солнечным деньком, расположившейся на дне водолаз ростом h = 1,7 м увидел на спокойной поверхности воды отражение всех участков дна, расположенных от него на расстоянии x = 10 м и более. Определить глубину водоёма.

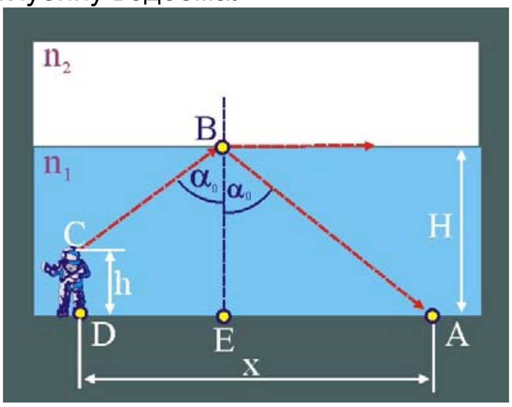


Рис. 363. Водолаз и отражение

Решение

1. Рассмотрим луч, падающий на поверхность раздела сред (вода – воздух) под углом α_0 полного отражения

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n};$$

2. Расстояние от водолаза до границы видимого участка дна определится как:

$$x = AE + DE;$$

$$x = H\,tg\alpha_0 + (H - h)tg\alpha_0;$$

3. После преобразований:

$$x = H\,tg\alpha_0 + H\,tg\alpha_0 - h\,tg\alpha_0 = (2H - h)tg\alpha_0;$$

$$tg\alpha_0 = \frac{\sin\alpha_0}{\cos\alpha_0} = \frac{\sin\alpha_0}{\sqrt{1-\sin^2\alpha_0}} = \frac{\frac{1}{n}}{\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}} = \frac{1}{\sqrt{n^2-1}};$$

$$x = \frac{2H - h}{\sqrt{n^2-1}}; \quad \Rightarrow \quad H = \frac{h}{2} + \frac{x}{2}\sqrt{n^2-1} = 0{,}85 + 5\sqrt{1{,}33^2 - 1} \cong 5{,}2\ \text{м};$$

364. Изображение предмета, полученное в рассеивающей линзе, находится в два раза ближе, чем сам предмет. Определить расстояние от линзы до предмета, если её оптическая сила D = 5 дптр.

Решение

1. Из формулы тонкой рассеивающей линзы:

$$\frac{1}{d} - \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \quad \frac{2}{d} - \frac{1}{d} = D; \quad d = 0{,}2\text{м};$$

365. На узкую щель шириной a = 20 мкм нормально падает параллельный пучок света (λ = 500 нм). Найти ширину A изображения щели на экране, удалённом от неё на расстояние L = 1 м. В качестве ширины изображения принять расстояние между первыми дифракционными минимумами, по обе стороны от главного максимума освещённости.

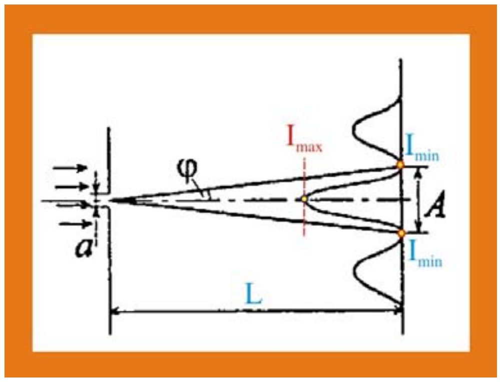


Рис. 365. Дифракция на щели

Решение

1. Как видно из рис. 365

$$\frac{A}{2} = L\,tg\varphi;$$

2. При достаточной малости угла φ, а этому есть основания при сравнении *a* и L, можно тангенс заменить синусом

$$tg\varphi \cong \sin\varphi; \quad \Rightarrow \quad A = 2L\sin\varphi;$$

3. Запишем условие максимума интенсивности I_{max} и выразим sinφ при k = 1

$$a\sin\varphi = k\lambda; \quad \Rightarrow \quad \sin\varphi = \frac{A}{2L};$$

4. С другой стороны:

$$\sin\varphi = \frac{\lambda}{a}; \quad \Rightarrow \quad A = \frac{2L\lambda}{a} \cong 0{,}05\ \text{м};$$

---

366. Дифракционная картина поочерёдно наблюдается с помощью двух решёток. Если задействовать решётку с периодом d_1 = 20 мкм, то на некотором расстоянии от центрального максимума наблюдается красная линия второго порядка с λ_1 = 730 нм. При использовании другой решётки в той же оптической системе, наблюдается фиолетовая линия пятого порядка с λ_2 = 440 нм. Определить период второй решётки.

Решение

1. Используя уравнение дифракционной решётки

$$d\sin\varphi = m\lambda,$$

где d – период решётки, φ – угол под которым виден максимум m – ного порядка, составим систему уравнений применительно к параметрам заданных решёток и картинок:

$$\left.\begin{aligned} d_1\sin\varphi = 2\lambda_1; \\ d_2\sin\varphi = 5\lambda_2; \end{aligned}\right\} \quad d_2 = \frac{5d_1\lambda_2}{2\lambda_1} = \frac{5\cdot 2\cdot 10^{-5}\cdot 4{,}4\cdot 10^{-7}}{2\cdot 7{,}3\cdot 10^{-7}} \cong 3{,}3\cdot 10^{-5}\,\text{м}\,(33\text{мкм});$$

---

367. Каков наибольший порядок спектра, наблюдаемый для света с λ_2 = 0,550 мкм, падающий нормально на дифракционную решётку, если при нормальном падении света с λ_1 = 0,630 мкм максимум второго порядка наблюдается под углом $\varphi = 30^0$ к нормали?

Решение

1. Период дифракционной решётки при падении на неё света с λ_1

$$d\sin\varphi = m\lambda; \quad d_1 = \frac{m_1\lambda_1}{\sin\varphi};$$

2. Наибольший порядок спектра при падении на решётку света с λ_2:

$$d_1\sin\varphi = m_2\lambda_2, \quad m_2 = \frac{2\lambda_1}{\lambda_2\sin30^0} \cong \frac{2\cdot 6{,}3\cdot 10^{-7}}{5{,}5\cdot 10^{-7}\cdot 0{,}5} \cong 4{,}48;$$

3. Наибольший порядок $m_2 = 4$.

---

368. Расстояние между соседними тёмными интерференционными полосами на экране Δx = 1,6 мм. Когерентные источники света лежат в плоскости параллельной экрану на расстоянии L = 8 м от него. Длина волны λ = 600 нм. Определить расстояние между источниками света, считая, что $\sin\alpha \approx \text{tg}\alpha$.

Решение

1. Условие интерференционных минимумов при m = 0:

$$\Delta\ell\sin\varphi = \pm\frac{\lambda}{2};$$

2. Синус угла, под которым наблюдаются интерференционные минимумы:

$$\sin\varphi \approx \text{tg}\varphi = \frac{\Delta x}{2L};$$

$$\Delta\ell\frac{\Delta x}{2L} = \frac{\lambda}{2}; \quad \Rightarrow \quad \Delta\ell = \frac{\lambda L}{\Delta x} \approx 3\cdot 10^{-3}\,\text{м};$$

---

369. Дифракционная решётка, имеющая N = 500 штрихов на 1 мм, расположена на расстоянии L = 1 м от экрана параллельно ему. Какой должна быть минимальная ширина экрана, чтобы можно было наблюдать дифракционные максимумы второго порядка, если длина волны нормально падающего света равна λ = 500 нм?

Решение

1. Период дифракционной решётки

$$d = \frac{1}{N} = \frac{1}{5\cdot 10^5} = 2\cdot 10^{-6}\,\text{м};$$

2. Условие дифракционных максимумов:

$$d\sin\varphi = m\lambda; \quad m = 2; \quad d\sin\varphi = 2\lambda;$$

3. Принимая $\text{tg}\varphi \approx \sin\varphi$, получим:

$$\text{tg}\varphi = \sin\varphi = \frac{\Delta x}{2L};$$

4. Подставим значение $\sin\varphi$ в уравнение решётки:

$$\frac{d\Delta x}{2L} = 2\lambda; \quad \Rightarrow \quad \Delta x = \frac{4L\lambda}{d} \cong \frac{4\cdot 1\cdot 5\cdot 10^{-7}}{2\cdot 10^{-6}} \cong 1\text{м}.$$

---

12. Квантовая физика

370. Чему равна энергия фотона, если длина световой волны λ = 700 нм?

Решение

$$\varepsilon_f = \frac{hc}{\lambda} \cong \frac{6{,}6\cdot 10^{-34}\cdot 3\cdot 10^{8}}{7\cdot 10^{-7}} \cong 2{,}8\cdot 10^{-19}\,\text{Дж} \equiv 1{,}77\ \text{эВ};$$

---

371. В электронном микроскопе электроны ускоряются разностью потенциалов U = 15 кВ. Какую величину длины волны λ необходимо использовать при расчёте дифракционных явлений в устройстве?

Решение

1. Скорость электрона при прохождении заданной разности потенциалов

$$\frac{m_e v^2}{2} = eU; \quad v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}};$$

2. Длина волны де Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e v} = \frac{h}{m_e\sqrt{\frac{2eU}{m_e}}} = \frac{h}{\sqrt{2m_e eU}};$$

$$\lambda \cong \frac{6{,}6\cdot 10^{-34}}{\sqrt{2\cdot 1\cdot 10^{-30}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 1{,}5\cdot 10^{4}}} \cong 9{,}25\cdot 10^{-12}\,\text{м}.$$

---

372. Задан график зависимости максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от энергии падающих фотонов. В каком случае материал фотокатода имеет меньшую работу выхода?

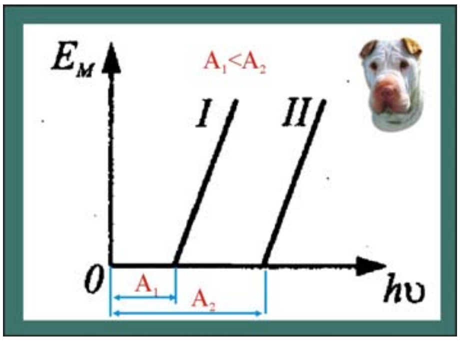


Рис. 372. Работа выхода электронов

Решение

1. Уравнение внешнего фотоэффекта Генриха Герца

$$\varepsilon_f = \frac{m_e v^2}{2} + A;$$

$$A = h\nu - \frac{mv^2}{2} = h\nu - K_e; \quad A_1 < A_2;$$

373. Определить длину волны лучей, кванты которых имеют такую же энергию, что и электрон, прошедший разность потенциалов U = 4,1 В.

Решение

$$\frac{hc}{\lambda} = eU; \quad \lambda = \frac{hc}{eU} \approx \frac{2\cdot 10^{-25}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 4{,}1} \approx 3\cdot 10^{-7}\,\text{м};$$

---

374. На зеркальную поверхность нормально падает свет с ν = 10^{15} Гц. Чему равен импульс отражённого фотона?

Решение

$$p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c} = \frac{6{,}6\cdot 10^{-34}\cdot 10^{15}}{3\cdot 10^{8}} \cong 2{,}2\cdot 10^{-27}\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}; \quad |\Delta p| = 2p = 4{,}4\cdot 10^{-27}\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}};$$

---

13. Атом и атомное ядро

375. Приведена схема энергетических уровней атома водорода. Какой цифрой обозначен переход с излучением фотона, имеющего максимальный импульс?

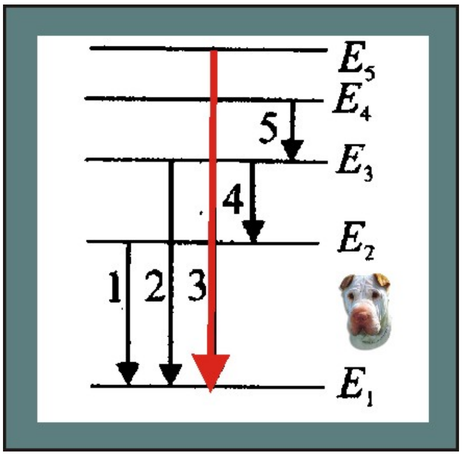


Рис. 375. Максимальный импульс

Решение

1. Импульс фотона

$$p_f = \frac{h\nu}{c};$$

2. Частота фотона при переходе с уровня с E_m на уровень E_1

$$\nu = R\left(1 - \frac{1}{n^2}\right);$$

3. Максимальная частота из приведенных на схеме переходов

$$\nu_{max} = R\left(1 - \frac{1}{5}\right);$$

---

376. Сколько возможных квантов с различной энергией может испускать атом водорода, если его электрон находится на третьей орбите?

Решение

1. Возможны три варианта испускания квантов:
- ионизация атома;
- переход с третьего уровня на второй энергетический уровень;
- переход с третьего уровня на первый энергетический уровень.

---

377. В теории Бора у атома водорода радиус орбиты определяется уравнением $r_n = r_1 n^2$. Как изменится кинетическая энергия электрона при переходе со второй орбиты на первую?

Решение

1. Энергия электрона:

$$E_n = -\frac{1}{n^2}\frac{m_e e^4}{8h^2\varepsilon_0^2}; \quad E_n \approx \frac{1}{n^2},$$

увеличится в четыре раза.

---

378. Какую минимальную скорость должны иметь электроны, чтобы ударом перевести атом водорода из первого состояния в пятое?

Решение

1. Энергия необходимая для заданного перехода электрона из первого энергетического состояния в пятое:

$$\frac{mv^2}{2} = hR\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) = hR\left(1 - \frac{1}{25}\right) = 0{,}96hR;$$

$$v_{min} \approx \sqrt{\frac{2hR}{m}} \approx \sqrt{\frac{2 \cdot 6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3{,}3 \cdot 10^{15}}{10^{-30}}} \approx 2{,}1 \cdot 10^{6}\,\frac{м}{с}.$$

---

379. Определить частоту двух одинаковых γ-квантов, родившихся при аннигиляции протона и антипротона (массы частиц одинаковы).

Решение

1. Энергия покоя частиц

$$E_0 = m_p c^2 = 1{,}64 \cdot 10^{-27} \cdot 9 \cdot 10^{16} \approx 1{,}5 \cdot 10^{-10}\,Дж;$$

2. частота γ-кванта при аннигиляции, т.е. при переходе массы в энергию, предсказанном Оливером Хэвисайдом:

$$h\nu = E_0; \quad \nu = \frac{E_0}{h} \approx \frac{1{,}5 \cdot 10^{-10}}{6{,}6 \cdot 10^{-34}} \approx 2{,}2 \cdot 10^{23}\,Гц;$$

---

380. Ядро тория $^{230}_{90}Th$ превратилось в ядро радия $^{226}_{88}Ra$. Какую частицу испустило ядро тория?

Решение

1. Уравнение ядерной реакции:

$$^{230}_{90} + ^{A}_{Z}X \to ^{226}_{88}Ra,$$

$$A = 230 - 226 = 4; \quad Z = 90 - 88 = 2,$$

ядро испустило частицу с массовым числом 4 и зарядовым числом 2, т.е. α-частицу

$$^{230}_{90} + ^{4}_{2}He \to ^{226}_{88}Ra.$$

---

381. При аннигиляции электрона и позитрона образовались 2 одинаковых γ-кванта. Найти длину волны γ-излучения, пренебрегая кинетической энергией частиц до соударения.

Решение

1. Схема аннигиляции:

$$e^+ + e^- = 2\gamma.$$

2. Энергия аннигиляции:

$$E_\gamma = \frac{2E_e}{2} = E_e = m_e c^2 \approx 9 \cdot 10^{-14}\,Дж;$$

3. Длина волны:

$$\frac{hc}{\lambda} = m_e c^2; \quad \frac{h}{\lambda} = m_e c; \quad \lambda = \frac{h}{m_e c} \approx \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}}{10^{-30} \cdot 3 \cdot 10^{8}} \approx 2{,}2 \cdot 10^{-12}\,м \equiv 2{,}2\,пм.$$

Задачи высокого уровня

14. Механика

382. С какой скоростью движутся частицы наиболее плотного кольца Сатурна, если известно, что их период вращения совпадает с периодом вращения планеты вокруг своей оси T = 640 мин? Масса Сатурна M = $5{,}7\cdot 10^{26}$ кг.

Решение

1. Условие нахождения некой частицы на круговой орбите Сатурна

$$G\frac{mM}{r^2} = \frac{mv^2}{r}; \quad \Rightarrow \quad \frac{GM}{r} = v^2,$$

где r – расстояние от центра масс Сатурна до рассматриваемой частицы.

2. Зависимость скорости от периода вращения:

$$v = \omega r = \frac{2\pi}{T}r; \quad \Rightarrow \quad \frac{GM}{r} = \frac{4\pi^2}{T^2}r^2; \quad \Rightarrow \quad r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}};$$

3. Скорость частиц плотного кольца Сатурна:

$$v = \frac{2\pi}{T}\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{8\pi^3 GMT^2}{4\pi^2 T^3}} = \sqrt[3]{\frac{2\pi GM}{T}};$$

$$v \cong \sqrt[3]{\frac{6{,}28\cdot 6{,}7\cdot 10^{-11}\cdot 5{,}7\cdot 10^{26}}{3{,}84\cdot 10^4}} \approx 1{,}84\cdot 10^4\,\frac{м}{с};$$

---

383. Падающее без начальной скорости тело проходит за последние τ = 2 с своего падения 1/5 часть всей высоты. Определить высоту, с которой было отпущено тело.

Решение

1. Запишем систему кинематических уравнений для всей высоты падений и для последних двух секунд:

$$\left.\begin{aligned} h &= \frac{gt^2}{2}; \\ \frac{h}{5} &= \frac{g(t-\tau)^2}{2}; \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \frac{t^2}{5} = t^2 - 2\tau t + \tau^2; \quad \frac{4}{5}t^2 - 4t + 4 = 0;$$

2. Время паден6ия тела:

$$t^2 - 5t + 5 = 0; \quad \Rightarrow \quad t = 5 + \sqrt{\frac{25}{4} - 5} \cong 6с;$$

3. Высота, с которой падало тело:

$$h = \frac{gt^2}{2} \approx 180м;$$

---

384. Маятник с грузом m = 0,1 кг отводят в горизонтальное положение и отпускают. Определить максимальное натяжение нити после того, как маятник зацепится за гвоздь, вбитый на середине длины маятника в точке, направление на которую из точки подвеса составляет угол $\alpha = 45^0$ с вертикалью.

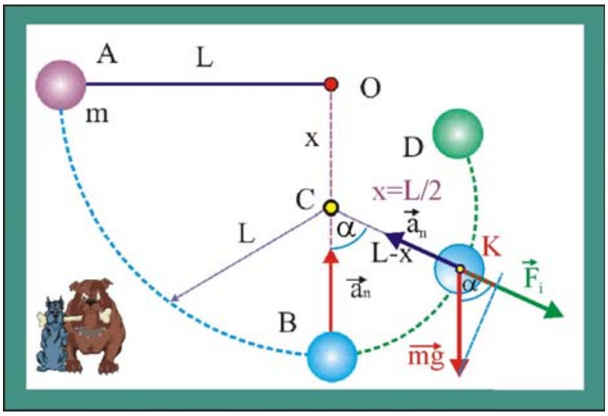


Рис. 384. Маятник с гвоздиком посередине

Решение

1. Шарик маятника первоначально движется по окружности радиуса L, а после касания нити подвеса гвоздя по окружности радиуса L − x = L/2. Нормальное ускорение $a_n = v^2/L$ будет максимальным в точке B, когда вся потенциальная энергия преобразуется в кинетическую. Натяжение нити в точке B запишется в виде

$$T = m\left(g + \frac{v_B^2}{L}\right).$$

2. Скорость шарика в точке B определим, используя закон сохранения энергии

$$mgL = mv_B^2/2, \quad \Rightarrow \quad v_B^2 = 2gL;.$$

3. Высота подъёма шарика при $\alpha = 45^0$

$$h = \frac{L}{2} - \frac{L}{2}\cos\alpha = \frac{L}{2}(1 - \cos\alpha) \cong 0{,}15L;$$

4. Закон сохранения энергии для положения B и K

$$\frac{mv_B^2}{2} = \frac{mv_K^2}{2} + mgh; \quad v_B^2 = v_K^2 + 2gh; \quad v_K^2 = v_B^2 - 2gh = 2gL - 0{,}3gL = 1{,}7gL;$$

5. Величина нормального (центростремительного) ускорения в точке K

$$a_n = \frac{2v_K^2}{L} = \frac{3{,}4gL}{L} = 3{,}4g;$$

6. Максимальная сила натяжения

$$T = mg\cos\alpha + ma_n = m(g\cos\alpha + 3{,}4g) = 4{,}1mg = 4{,}1 \cdot 0{,}1 \cdot 10 = 4{,}1Н.$$

---

385. В последнюю секунду свободного падения с высоты H = 45 м тело прошло путь в n раз больший, чем в предыдущую. Определить величину n, если падение началось без начальной скорости.

Решение

1. Время падения в высоты H:

$$H_0 = \frac{gt_0^2}{2}; \quad \Rightarrow \quad t_0 = \sqrt{\frac{2H_0}{g}} = 3с.$$

2. Путь, пройденный за $t_2 = 2$ с:

$$H_2 = \frac{gt_2^2}{2} = 20м;$$

3. Путь, пройденный за $t_1 = 1$ с:

$$H_1 = \frac{gt_1^2}{2} = 5м;$$

4. Путь, пройденный в течение третьей секунды

$$h_3 = H_0 - H_2 = 45 - 20 = 25м;$$

5. Путь, пройденный в течение второй секунды

$$h_2 = H_2 - H_1 = 15м;$$

6. Величина n:

$$n = \frac{h_3}{h_2} = 1{,}67;$$

---

386. Электровоз массой m = 300 т движется вниз по горе со скоростью v = 36 км/час. Уклон горы составляет 0,01, сила сопротивления движению составляет 3% веса электровоза. Какой величины ток протекает через электродвигатель транспортного средства если напряжение в сети U = 3000 В, а КПД электровоза η = 80%?

Решение

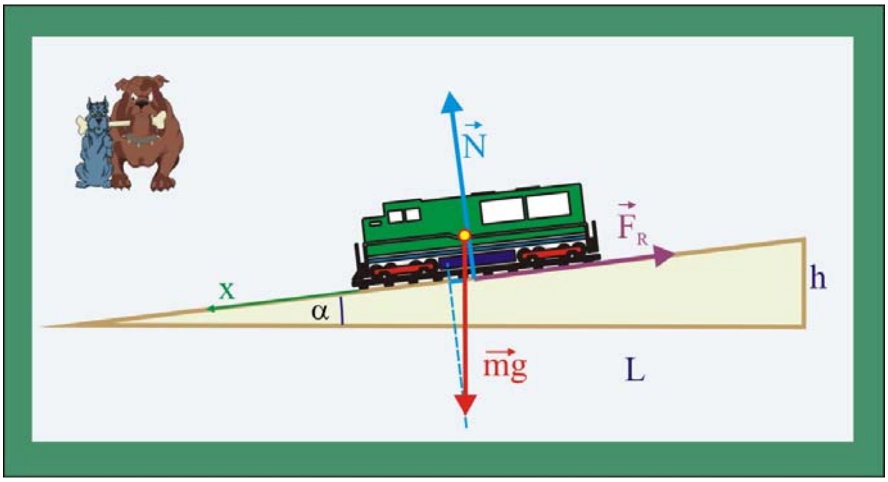


Рис. 386. Электровоз на спуске

1. Угол наклона спуска к горизонту:

$$\alpha = \mathrm{arctg}\frac{h}{L} = \mathrm{arctg}0{,}01 \approx 0{,}6^0;$$

2. Сумма проекций сил на направление движения электровоза:

$$\sum_{i=1}^{i=2} F_{i(x)} = mg_x - F_R = mg\sin\alpha - 0{,}03mg = 3\cdot 10^4 - 9\cdot 10^4 = -6\cdot 10^4 Н,$$

знак минус указывает на то, что суммарная сила способна вращать привод электродвигателя, превращая его в генератор электроэнергии.

3. Мощность развиваемая результирующей силой при заданной скорости:

$$N_М = \sum_{i=1}^{i=2} F_x \cdot v = 6\cdot 10^4 \cdot 10 = 0{,}6 \text{ МВт};$$

4. Процесс преобразования механической мощности в электрическую мощность:

$$N_Э = \eta IU = N_М; \quad \Rightarrow \quad I = \frac{N_М}{\eta U} \approx 250А;$$

---

387. Некто массой m = 70 кг находится на корме лодки длиной L = 5 м и массой M = 280 кг. Человек переходит с кормы на нос лодки. На какое расстояние передвинется лодка относительно воды? Может ли это перемещение быть больше длины лодки?

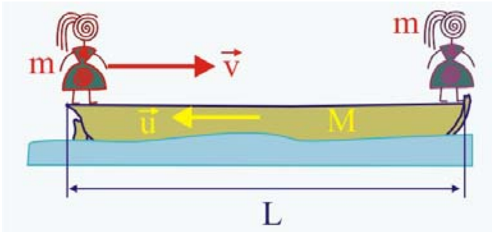


Рис. 387. Перемещение по лодке

Решение

1. Представим скорости перемещения человека и лодки в предположении равномерности движения

$$v = \frac{L}{\Delta t}; \quad u = \frac{s}{\Delta t},$$

где Δt – время движения человека, s – перемещение лодки в спокойной воде.

2. Запишем закон сохранения импульса системы «лодка – человек» в проекции на горизонтальную ось, направление которой совпадает с направлением движения человека

$$\frac{s(M+m)}{\Delta t} = \frac{mL}{\Delta t}; \quad s = \frac{mL}{M+m} = \frac{70 \cdot 5}{250} = 1\text{ м};$$

3. Перемещение лодки не может превосходить её длину, т.к. при горизонтальном перемещении человека центр масс системы сохраняет своё положение и не может находиться за пределами длины лодки.

---

388. Два бруска массой m = 3 кг каждый, лежащие на горизонтальной поверхности, соединены недеформированной пружиной с коэффициентом жёсткости $k = 10^{-2}$ Н/м. Коэффициент трения между брусками и поверхностью μ = 0,2. Какую минимальную скорость нужно сообщить одному из брусков, чтобы он, растянув пружину, смог сдвинуть второй брусок?

Решение

1. Определим расстояние, на которое нужно растянуть эту странную пружину:

$$\mu mg = kx; \quad \Rightarrow \quad x = \frac{\mu mg}{k} = \frac{0{,}2 \cdot 3 \cdot 10}{10^{-2}} = 600\text{м}(!?);$$

2. На основании закона сохранения энергии:

$$K = A(F_{Tp}) + \Pi,$$

где $A(F_{Tp})$ – работа против силы трения движущегося тела, П – потенциальная энергия растянутой пружины.

3. Работа против силы трения

$$A(F_{TP}) = \mu mg = 0{,}2 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 600 = 3{,}6 \cdot 10^3\text{Дж};$$

4. Потенциальная энергия растянутой на величину x пружины:

$$\Pi = \frac{kx^2}{2} = \frac{10^{-2} \cdot 3{,}6 \cdot 10^4}{2} = 1{,}8 \cdot 10^3\text{Дж};$$

5. Подставим значение работы силы трения и потенциальной энергии пружины в закон сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = A(F_{Tp}) + \Pi = E; \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = 60\frac{\text{м}}{\text{с}}\left(216\frac{\text{км}}{\text{час}}\right),$$

интересно, как себе авторы задачи представляют разгон бруска, полный егэизм!

---

389. Небольшое тело скользит по наклонной плоскости, с углом наклона к горизонту $\alpha = 30^0$ с высоты h = 1 м и продолжает движение по горизонтальной плоскости. Коэффициент трения при спуске и горизонтальном движении одинаков $\mu = 0{,}2$. Какое расстояние пройдёт тело по горизонтальной плоскости?

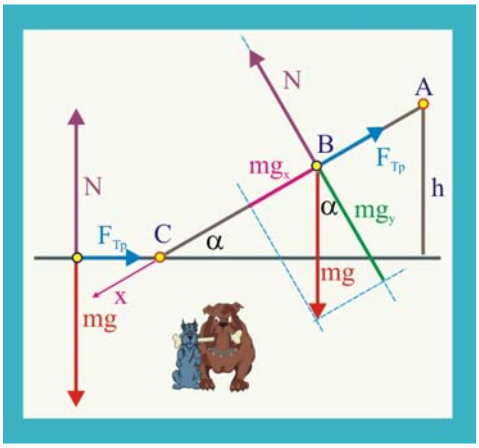


Рис. 389. Наклонная плоскость

Решение

1. Сумма проекций сил при движении по наклонной плоскости

$$\sum F_x = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha;$$

$$\sum F_x = mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha);$$

2. Протяжённость наклонной плоскости AC = L

$$\frac{h}{L} = tg\alpha; \quad \Rightarrow \quad L = \frac{h}{tg\alpha};$$

3. Работа результирующей силы на спуске с наклонной плоскости:

$$A(F) = \sum F_x L = mg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)L = \frac{mgh}{tg\alpha}(\sin\alpha - \mu\cos\alpha);$$

4. Кинетическая энергия тела в точке C:

$$K_C = mgh - \frac{mgh(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)}{tg\alpha} = mgh\left(1 - \frac{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}{tg\alpha}\right);$$

5. Закон сохранения энергии для горизонтального участка движения тела:

$$K_C = A(F_{Tp}) = \mu mgS; \quad mgh\left(1 - \frac{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}{tg\alpha}\right) = \mu mgS;$$

$$S = \frac{h}{\mu}\left(1 - \frac{\sin\alpha - \mu\cos\alpha}{tg\alpha}\right) \cong 2{,}17\text{м};$$

---

390. . Шайба массой m скользит со скоростью v_0 по гладкой горизонтальной плоскости, попадает на покоящийся клин массой 2m, скользит некоторое время по его поверхности без трения и отрыва и покидает клин, двигаясь в вертикальной плоскости. Не отрываясь от стола, клин приобретает скорость $v_0/4$. Определить угол наклона верхней поверхности клина к горизонту, если нижняя часть клина является плавным переходом к поверхности опорной плоскости. Изменением потенциальной энергии шайбы при движении по поверхности клина пренебречь

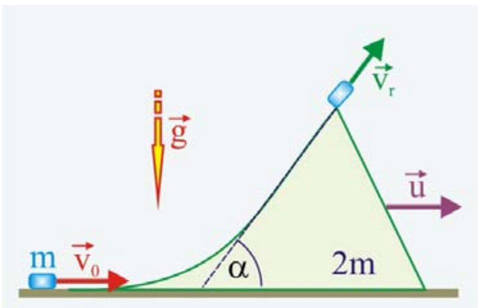


Рис. 390. Шайба на клине

Решение

1. Если через v_r обозначить скорость шайбы относительно клина, а через u –скорость клина, то для момента покидания шайбой клина закон сохранения импульса в проекции на горизонтальную ось запишется следующим образом:

$$mv_0 = 2mu + m(v_r\cos\alpha + u);$$

т.к. по условию задачи $u = v_0/4$,то

$$v_0 = \frac{v_0}{2} + v_r\cos\alpha + \frac{v_0}{4};\quad v_0 = 4v_r\cos\alpha;$$

2. Запишем далее закон сохранения энергии

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{2mu^2}{2} + \frac{mv^2}{2},$$

где v – скорость шайбы в момент соскальзывания с клина относительно стола, относительно ПСК, причём, вектор $\vec{v}$ представляет собой геометрическую сумму

$$v^2 = v_r^2 + 2v_r u\cos\alpha + u^2;$$

3. Подставим в уравнение закона сохранения энергии значения v и u

$$\frac{v_0^2}{2} = u^2 + \frac{v^2}{2};\quad v_0^2 = 2u^2 + v^2;\quad v_0^2 = \frac{v_0^2}{8} + v_r^2\frac{v_0}{4}\cos\alpha + \frac{v_0^2}{16};$$

$$13v_0^2 = 16v_r^2 + 8v_r v_0\cos\alpha;\quad 13v_0^2 - 16v_r^2 = 8v_r v_0\cos\alpha;\quad \cos\alpha = \frac{13v_0^2 - 16v_r^2}{8v_r v_0},$$

подставим далее, в полученное уравнение значения v_r

$$v_0 = 4v_r\cos\alpha;\quad v_r = \frac{v_0}{4\cos\alpha};$$

$$\cos\alpha = \frac{13v_0^2 - 16\left(\frac{v_0}{4\cos\alpha}\right)^2}{8v_0\frac{v_0}{4\cos\alpha}};\quad \Rightarrow\quad \cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{11}};\quad \alpha \cong 72^\circ;$$

---

391. В вертикально установленная U-образная трубка с площадью поперечного сечения S = 0,3 см^2 частично заполнена ртутью массой m = 484 г с плотностью ρ = 13,6$\cdot$10^3 кг/м^3. Каков период малых собственных колебаний ртути?

Решение

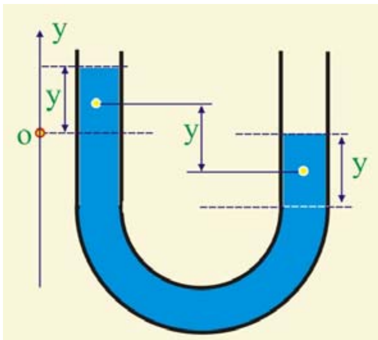


Рис. 391. Колебания жидкости

1. Колебания уровня жидкости возникнут в том случае, если в одном из колен сосуда жидкость поднимется на величину y, а во втором колене на такую же величину опустится, при этом разность давлений по отношению к уровню статического равновесия будет составлять

$$\Delta p = \rho g 2y.$$

2. Величина возвращающей силы

$$F = \Delta p s = \rho g 2ys;$$

3. Масса жидкости, находящейся в трубке и длина столба ртути

$$m = 2\rho sL;\quad \Rightarrow\quad L = \frac{m}{2\rho s};$$

4. Уравнение второго закона Ньютона

$$2\rho sLa_y = -2\rho gsy;\quad \ddot{y} + \frac{g}{L}y = 0;\quad \Rightarrow\quad \omega^2 = \frac{g}{L};$$

5. Период колебаний уровня жидкости

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2g\rho s}} = 6{,}28\sqrt{\frac{0{,}484}{20\cdot 13{,}6\cdot 10^3\cdot 3\cdot 10^{-5}}} \approx 1{,}52\ \text{с};$$

---

15. Молекулярная физика

392. Шар наполнен гелием при нормальном атмосферном давлении $p_0 = 10^5$ Па. Найти массу одного квадратного метра оболочка шара, если он способен поднять сам себя при радиусе r = 2,7 м. Температура гелия и окружающего воздуха $T_0 = 0\ ^0C$.

Решение

1. Плотность гелия и воздуха:

$$p_0V = \frac{m}{\mu}RT_0; \quad p_0 = \frac{m}{V}\frac{RT_0}{\mu}; \quad \rho_{He} = \frac{p_0\mu_{He}}{RT_0} = \frac{10^5\cdot 4\cdot 10^{-3}}{8{,}3\cdot 273} \cong 0{,}176\frac{кг}{м^3};$$

$$\rho_0 = \frac{p_0\mu_0}{RT_0} = \frac{10^5\cdot 29\cdot 10^{-3}}{8{,}3\cdot 273} \cong 1{,}28\frac{кг}{м^3};$$

2. Сила Архимеда, действующая на шар, наполненный гелием:

$$F_A = (\rho_0 - \rho_{He})g\frac{4}{3}\pi r^3 = m_s g,$$

где m_s – масса оболочки шара.

3. Масса единицы площади оболочки шара:

$$\zeta = \frac{m_s}{4\pi r^2} = \frac{1}{3}(\rho_0 - \rho_{He})r \approx 1\frac{кг}{м^3};$$

---

393. Горизонтальный сосуд разделён лёгкими подвижными поршнями на три равные части длиной L каждая . Левый поршень проницаем для He и H_2, правый – только для H_2. В начальный момент в левой части объёма находится H_2, в центре – He, в правой – N_2, причём давление гелия в три раза больше, чем давление водорода и азота. Найти расстояние x, на которое сместится правый поршень после установления равновесия.

Решение

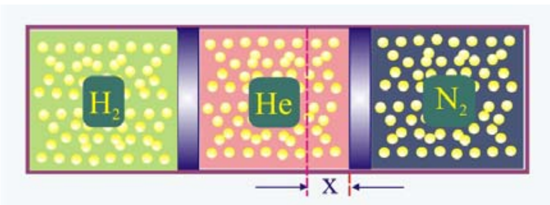


Рис. 393. Водород, гелий и азот

1. После наступления равновесия водород распространится по всему объём сосуда, т.к. по условию задачи его молекулы могут проникать через оба поршня.

2. Гелий распространится слева от правого поршня, азот – справа от правого поршня, который для азота является непроницаемой перегородкой.

3. Предположим, что после миграции молекул и установления равновесия правый поршень сместится на расстояние x. Запишем для такого положения поршней условие равновесия правого поршня

$$p_{He}s + p_{H_2}s = p_{N_2}s + p_{H_2}s; \quad \Rightarrow \quad p_{He} = p_{N_2};$$

4. Так как температура постоянна, то процесс изотермический, для которого справедлив закон Бойля-Мариотта. Запишем этот закон для гелия и азота

$$\left.\begin{aligned} p_{He(0)}sL &= p_{He}(2L + x)s; \\ p_{N_2(0)}sL &= p_{N_2}(L - x)s; \end{aligned}\right\} \quad \Rightarrow \quad \frac{p_{He(0)}}{p_{N_2(0)}} = \frac{p_{He}(2L + x)}{p_{N_2}(L - x)};$$

5. По условию задачи $p_{He(0)} = 3p_{N_2}$, следовательно, с учётом первого уравнения

$$\frac{2L + x}{L - x} = 3; \quad \Rightarrow \quad 2L + x = 3L - 3x; \quad x = \frac{L}{4};$$

---

394. Теплоизолированный сосуд объёмом V = 2 м^3 разделён перегородкой на две равные части. В одной части сосуда находится гелий массой m_1 = 1 кг, во второй части – аргон массой m_2 = 1 кг. Средняя квадратичная скорость молекул аргона и гелия одинакова $\langle v_1 \rangle = \langle v_2 \rangle$ = 500 м/с. Определить парциальное давление гелия после удаления перегородки.

Решение

1. Температуры газов, разделённых перегородкой:

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}; \quad T = \frac{\langle v \rangle^2 \mu}{3R}; \quad T_1 = \frac{\langle v \rangle^2 \mu_1}{3R} = \frac{500^2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 8{,}3} \cong 40\text{K};$$

$$T_2 = \frac{\langle v \rangle^2 \mu_2}{3R} = \frac{500^2 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 8{,}3} \cong 400\text{K};$$

2. Концентрация молекул газов, разделённых перегородкой:

$$\frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}; \quad N = \frac{mN_A}{\mu}; \quad n = \frac{2N}{V} = \frac{2mN_A}{\mu V};$$

$$n_1 = \frac{2m_1N_A}{\mu_1 V} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 2} = 1{,}5 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{м}^3};$$

$$n_2 = \frac{2m_2N_A}{\mu_2 V} = \frac{2 \cdot 1 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 2} = 1{,}5 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3};$$

3. Давления газов при наличии перегородки:

$$p_1 = n_1 k_B T_1 = 1{,}5 \cdot 10^{26} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 40 = 8{,}3 \cdot 10^4\,\text{Па};$$

$$p_2 = n_2 k_B T_2 = 1{,}5 \cdot 10^{25} \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 400 = 8{,}3 \cdot 10^4\,\text{Па};$$

4. Температура газов после удаления перегородки:

$$(p_1 + p_2)V = \left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}\right)RT; \quad T = \frac{(p_1 + p_2)V}{\left(\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}\right)R} \cong 73\text{ К};$$

5. Концентрация молекул гелия в общем объёме

$$n_1^* = \frac{n_1}{2} = 7{,}5 \cdot 10^{25} \frac{1}{\text{м}^3};$$

6. Парциальное давление гелия:

$$p_1^* = n_1^* k_B T \approx 7{,}55 \cdot 10^4\text{ Па}.$$

---

395. Почему нагретая медицинская банка «присасывается» к телу человека?

Решение

1. Перед тем как ставить медицинскую банку в неё на несколько секунд помещают горящий ватный тампон, смоченный спиртом, что приводит к нагрева-

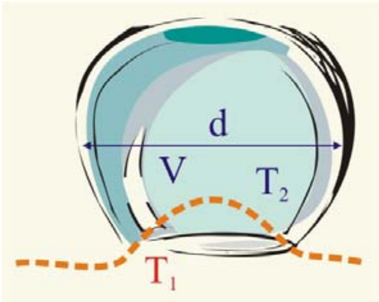


Рис. 8.191. Медицинская банка

нию воздуха внутри банки. При опрокидывании банки к телу, находящийся в ней воздух начинает охлаждаться, сокращая свой объём.

2. Оценим изменение объёма воздуха при изменении температуры. Будем считать, что медицинская банка представляет собой сферу диаметром d = 5 см. Таким образом, объём воздуха, заключённого в банке равен

$$V = \frac{4}{3}\pi\frac{d^3}{8} \cong \frac{d^3}{2} \cong 4\cdot 10^{-6}\,м^3.$$

3. Найдём количество вещества, заключённого в медицинской банке

$$\nu = \frac{\rho V}{\mu} \cong \frac{1{,}3\cdot 4\cdot 10^{-6}}{0{,}03} \cong 4{,}3\cdot 10^{-5}\,молей.$$

3. Определим изменение объёма, считая что начальная температура воздуха в банке составляет 400 ^{0}C, а конечная 40 ^{0}C, т.е. $\Delta T \cong 360$ К

$$p\Delta V = \nu R\Delta T, \Rightarrow \Delta V = \frac{\nu R\Delta T}{p} = \frac{4{,}3\cdot 10^{-5}\cdot 8{,}3\cdot 360}{10^5} \cong 1{,}3\cdot 10^{-6}\,м^3.$$

Таким образом, объём уменьшается на 1,3 см^3, что и повлечёт за собой вспучивание некоторой части тела человека внутрь банки, т.е. явление «присасывания».

---

396. Нагреватель электрического чайника состоит из двух спиралей. При включении одного из них вода закипает через τ_1 = 10 минут, при работе второго элемента – через τ_2 = 15 мин. Через какое время закипит вода при одновременной работе двух спиралей?

Решение

1. Электрические сопротивления нагревательных элементов при одинаковом количестве тепла, расходуемого на нагревание одинаковой массы воды:

$$Q = \frac{U^2}{R_1}\tau_1;\quad Q = \frac{U^2}{R_2};\quad R_1 = \frac{U^2\tau_1}{Q};\quad R_2 = \frac{U^2\tau_2}{Q};$$

2. При параллельном включении нагревательных элементов:

$$R_0 = \frac{R_1R_2}{R_1+R_2};\quad \Rightarrow Q = \frac{U^2(R_1+R_2)}{R_1R_2}\tau;$$

$$Q = \frac{U^2\left(\dfrac{U^2\tau_1}{Q} + \dfrac{U^2\tau_2}{Q}\right)}{\dfrac{U^4\tau_1\tau_2}{Q^2}}\tau;\quad \Rightarrow\quad \tau = \frac{\tau_1\tau_2}{\tau_1+\tau_2} = \frac{150}{25} = 6мин.$$

3. Упрощённый вариант решения:

$$\tau_i \approx \frac{QR_i}{U^2};\quad \frac{Q}{U^2} = const;\quad \tau_i \approx \zeta R_i;\quad \tau \approx \zeta R_0 = \zeta\frac{R_1R_2}{R_1+R_2} \approx \frac{\tau_1\tau_2}{\tau_1+\tau_2};$$

---

397. С какой скоростью влетает метеорит в атмосферу Земли, если при этом он нагревается, плавится и превращается в пар? Метеоритное вещество состоит из железа. Начальная температура метеорита T_1 = 273 К, температура плавления железа T_2 = 1808 К, температура кипения T_3 = 3323 К. Парообразование протекает при температуре кипения.

Решение

1. Закон сохранения энергии для испарения метеорита:

$$\frac{mv^2}{2} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4,$$

где Q_1 – теплота, необходимая для нагревания метеорита до температуры плавления T_2, Q_2 – теплота, необходимая для плавления метеорита, Q_3 – теплота, необходимая для нагревания жидкого железа до температуры кипения, Q_4 – теплота испарения железа при его превращении в пар.

2. Ураванебния тепловых энергетических затрат:

$$Q_1 = cm\Delta T_1; \quad Q_2 = m\lambda; \quad Q_3 = cm\Delta T_2; \quad Q_4 = mr,$$

где $c \cong 444$ Дж/кг·К – удельная теплоёмкость железа, $\Delta T_1 = 1535$ – разность между начальной температурой метеорита и температурой плавления, $\Delta T_2 =$ 1515 К – разность температур плавления и испарения, $\lambda \cong 2{,}77\cdot 10^5$ Дж/кг, $r \approx 6{,}3\cdot 10^6$ Дж/кг – удельная теплота испарения жидкого железа.

3. Скорость метеорита из закона сохранения энергии:

$$v = \sqrt{2[c(\Delta T_1 + \Delta T_2) + \lambda + r} \approx \sqrt{2[444\cdot 3050 + 2{,}77\cdot 10^5 + 6{,}3\cdot 10^6]} \approx 4\,\frac{\text{км}}{\text{с}};$$

---

398. В сосуде находится гелий. В начале давление в сосуде было $p_1 = 4\cdot 10^5$ Па, при температуре $T_1 = 400$ К. После охлаждения газа давление понизилось до величины $p_2 = 2\cdot 10^5$ Па. Какова масса газа, если отданное им количество тепла $\Delta Q = 7{,}5$ кДж?

Решение

1. Конечная температура гелия

$$\left.\begin{aligned} p_1V = \nu RT_1; \\ p_2V = \nu RT_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad T_2 = \frac{T_1}{2} = 200\text{K};$$

2. Процесс изменения состояния газа протекает при постоянном давлении, поэтому работа не производится:

$$\Delta Q = \Delta U = \frac{3}{2}\frac{m}{\mu}R\Delta T; \quad \Rightarrow \quad m = \frac{2\Delta Q\mu}{3R\Delta T} \approx \frac{15\cdot 10^3\cdot 4\cdot 10^{-3}}{3\cdot 8{,}3\cdot 200} \approx 0{,}012\text{кг}.$$

---

399. Вертикальный цилиндр закрыт подвижным поршнем массой M = 2 кг, под которым находится идеальный газ при температуре $T_1 = 300$ °К. На поршень помещают тело массой m = 0,1 кг и нагревают газ, до температуры T_2, обеспечивающей первоначальное положение поршня. Без учёта атмосферного давления определить значение температуры T_2.

Решение

1. Запишем уравнения Клапейрона – Менделеева для двух состояний газа

$$\left.\begin{aligned} p_1V = \nu RT_1; \\ p_2V = \nu RT_2; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2};$$

2. Величины давлений при двух положениях поршня определятся как:

$$p_1 = \frac{Mg}{s}; \quad p_2 = \frac{(M+m)g}{s};$$

3. Перепишем отношение температур

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{M+m}{m}; \quad \Rightarrow \quad T_2 = T_1\left(1 + \frac{m}{M}\right) \cong 300\left(1 + \frac{0{,}1}{2}\right) \cong 315\text{ K};$$

---

16. Основы электродинамики

400. По гладкой закреплённой диэлектрической наклонной плоскости, составляющей угол α = 30^0 с горизонтом с высоты h = 1 м, без начальной скорости соскальзывает тело небольших размеров массой m = 0,423 кг, несущее на себе отрицательный электрический заряд q = – 1,49$\cdot$10^{-5} Кл. В точке пересечения вертикали, проведенной через начальное положение тела, с основанием плоскости находится положительный заряд q = + 1,49$\cdot$10^{-5} Кл. Найти скорость тела у основания плоскости.

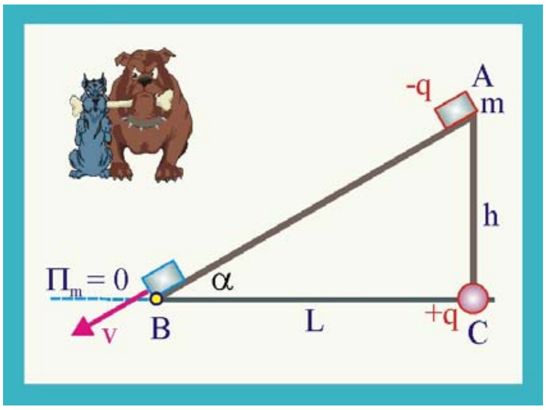


Рис. 400. Заряженное тело

Решение

1. В данном случае проявляется действие сил гравитации и электростатических сил, которые относятся к консервативным силам (работа по замкнутой траектории равна нулю), поэтому применим закон сохранения энергии.

2. В точке А:

$$\Pi_m = mgh; \quad \Pi_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{h};$$

3. В точке В:

$$\Pi_m = 0; \quad \Pi_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{L} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{h\,ctg\alpha}; \quad K = \frac{mv_B^2}{2};$$

4. Закон сохранения энергии:

$$\frac{mv_B^2}{2} = mgh + \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{h} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{h\,ctg\alpha}\right);$$

5. Скорость тела в точке В:

$$v_B = \sqrt{2\left[gh + \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 hm}\left(1 - \frac{1}{ctg\alpha}\right)\right]} \cong \sqrt{2\left[10 + \frac{9\cdot 10^9\cdot 2{,}2\cdot 10^{-10}}{0{,}423\cdot 1}(1 - 0{,}58)\right]} \approx 4{,}9\frac{м}{с};$$

---

401. Полый металлический шарик массой m = 3$\cdot$10^{-3} кг несёт на себе положительный заряд q = 10,8 нКл. Будучи подвешен на шёлковой нити в однородном электрическом поле напряжённостью E = 10^6 В/м, направленном вертикально вниз. Шарик совершает малые колебания, делая N = 13 полных колебаний за τ = 15 с. Какова длина нити?

Решение

1. Свободные колебания заряженного шарика протекают при действии двух сил: силы тяжести и силы кулона, которая будет сообщать шарику дополнительное ускорение, поэтому период колебаний определится как:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g + a}};$$

2. Ускорение, обусловленное действием силы Кулона:

$$a = \frac{F_K}{m} = \frac{qE}{m};$$

3. Длина нити подвеса определится из уравнения периода колебаний:

$$\frac{T^2}{4\pi^2} = \frac{\ell}{g + \frac{qE}{m}}; \quad \frac{\tau^2}{N^2}\left(g + \frac{qE}{m}\right) = 4\pi^2\ell; \quad \ell = \frac{\tau^2}{4\pi^2 N^2}\left(g + \frac{qE}{m}\right);$$

$$\ell \cong \frac{225}{169 \cdot 40}\left(10 + \frac{11 \cdot 10^{-9} \cdot 10^6}{3 \cdot 10^{-3}}\right) \cong 0{,}46\text{м};$$

---

402. Какую работу необходимо совершить, чтобы три одинаковых точечных положительных заряда q, находящихся на расстоянии r друг от друга вдоль одной прямой, расположить в вершинах равностороннего треугольника со стороной r/2?

Решение

1. Работа по перемещению зарядов численно будет равна разности потенциальных энергий двух систем точечных зарядов:

$$\delta A = \Delta\Pi = \Pi_2 - \Pi_1;$$

$$\Pi_1 = k\frac{q^2}{r} + k\frac{q^2}{r} + k\frac{q^2}{2r} = \frac{5}{2}k\frac{q^2}{r}; \quad \Pi_2 = 3k\frac{2q^2}{r};$$

$$\delta A = 6k\frac{q^2}{r} - \frac{5}{2}k\frac{q^2}{r} = \frac{7}{2}k\frac{q^2}{r};$$

---

403. Тонкое закреплённое кольцо радиусом R равномерно заряжено так, что на единицу длины кольца приходится заряд +dq. В вакууме на оси кольца на расстоянии ℓ от центра кольца помещён маленький шарик, несущий заряд +Q. Какую максимальную кинетическую энергию приобретёт шарик, если его освободить?

Решение

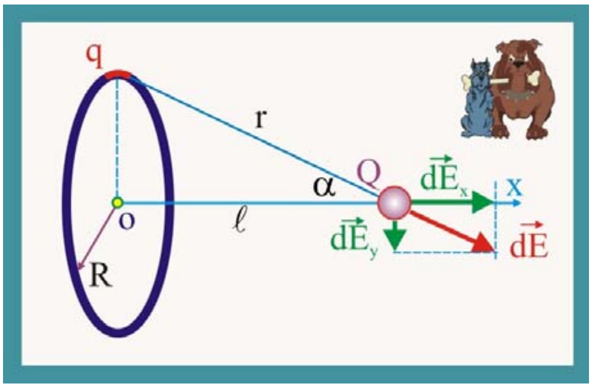


Рис. 403. Электрическое поле кольца

1. Заряженный шарик находится в электростатическом поле кольца, поэтому обладает потенциальной энергией поля, если его освободить, то потенциальная энергия станет трансформировать в кинетическую энергию.

2. Каждый бесконечно малый элемент кольца обладающий зарядом q будет создавать напряжённость на оси $d\vec{E}$. Учитывать нужно только горизонтальные составляющие, потому что вертикальные составляющие взаимно уничтожаются:

$$dE_x = dE\cos\alpha = dE\frac{R}{\ell};$$

3. Заряд кольца:

$$Q_K = 2\pi R dq;$$

4. Расстояние от элемента заряда до точки расположения шарика r

$$r = \sqrt{R^2 + \ell^2};$$

5. Напряжённость от элемента заряда q:

$$dE_x = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{dq\ell}{(\sqrt{R^2 + \ell^2})R};$$

6. Напряжённость всего кольца:

$$E_x = \frac{dq2\pi R}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{R^2 + \ell^2}};$$

Закон сохранения энергии:

$$\Pi_E = K; \quad \left(K = \frac{mv^2}{2}\right); \quad \Rightarrow \quad K = k\frac{2\pi RdqQ}{\sqrt{R^2 + \ell^2}};$$

---

404. В однородном электрическом поле, образованном двумя разноимённо заряженными пластинами, расположенными на расстоянии d = 9 см друг от друга, посередине находится частица массой m = 1 г, несущая положительный заряд q = 2 мкКл. Пластины создают поле напряжённостью E = 10^4 В/м. С какой скоростью частица достигнет одной из пластин?

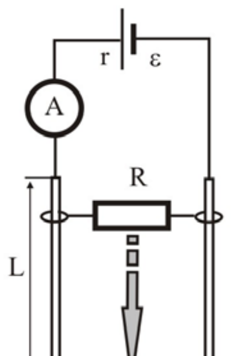
Решение

1. Разность потенциалов между пластиной и точкой первоначального расположения частицы:

$$E = \frac{U}{d}; \quad \Rightarrow U = Ed; \quad U_q = E\frac{d}{2};$$

2. В соответствии с законом сохранения энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = qU_q = \frac{dEq}{2}; \quad \Rightarrow v = \sqrt{\frac{dEq}{m}} \cong \sqrt{\frac{9\cdot 10^{-2}\cdot 10^4\cdot 2\cdot 10^{-6}}{1\cdot 10^{-3}}} \approx 1{,}34\frac{м}{с};$$



405. Два вертикально расположенных стержня, имеющие длину L = 1 м и диаметр d = 1 см сопротивление на единицу длины ρ = 1·10 $^{-5}$ Ом·м, подсоединены через идеальный амперметр к источнику ЭДС ε = 1,5 В и внутренним сопротивлением r_0 = 0,05 Ом. Скользящие контакты соединены с сопротивлением R = 0,1 Ом, которое в поле тяжести g начинает соскальзывать вдоль них из верхней точки вниз без нарушения контакта, как показано на рисунке. В пренебрежении эффектами, связанными с магнитным полем, определить какое значение тока I покажет амперметр через время τ = 0,5 с после начала движения? Силу трения не учитывать

Решение

1. Запишем кинематические уравнения движения сопротивления, считая, что на него действует только сила тяжести и движение происходит по вертикальной оси с нулевой начальной скоростью

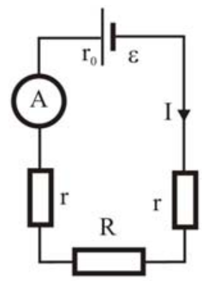
$$y = \frac{gt^2}{2},$$

и определим расстояние, которое пройдёт сопротивление за время τ

$$\ell = \frac{5 \cdot 0{,}5^2}{2} = 0{,}625\,\text{м}\,.$$

2. Определим электрическое сопротивление одного отрезка стержня длиной ℓ

$$r = \rho\frac{4\ell}{\pi d^2} = 1 \cdot 10^{-5}\,\frac{4 \cdot 0{,}625}{3{,}14 \cdot 10^{-4}} \cong 0{,}08\,\text{Ом}\,.$$



3. Электрическая схема установки, таким образом, представит собой три последовательно включенных внешних сопротивления: $R_0 = R + 2r$ и внутреннее сопротивление источника r_0. Закон Ома для полной цепи в этом случае запишется так

$$I = \frac{\varepsilon}{R + 3r + r_0} = \frac{1{,}5}{0{,}1 + 0{,}16 + 0{,}05} \cong 4{,}8\,\text{А}\,.$$

---

406. . Электрический нагревательный элемент сопротивлением R_2 = 10 Ом включается параллельно с индикатором в виде лампочки накаливания с сопротивлением нити накала R_1 = 300 Ом и мощностью W_1 = 10 Вт. Нагревательный элемент соединён с идеальным источником постоянного тока медной двухпроводной линией длиной L = 10 м. Определить электрическую мощность нагревателя и потери мощности в проводах, если их диаметр равен d = 3 мм.

Решение

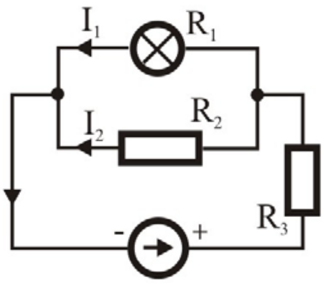


Рис. 406. Нагреватель с индикатором

1. Составим эквивалентную схему цепи, в которую введём сопротивление соединительных проводов R_3 и определим силу тока I_1, протекающего через лампочку

$$W_1 = I_1^2 R_1, \Rightarrow I_1 = \sqrt{\frac{W_1}{R_1}} \cong 0{,}18\,\text{А}\,.$$

2. Нагревательный элемент и лампочка соединены параллельно, из этого следует, что

$$I_1 R_1 = I_2 R_2, \Rightarrow I_2 = I_1\frac{R_1}{R_2} = 0{,}18\frac{300}{10} \cong 5{,}4\,\text{А}\,.$$

3. Определим далее мощность нагревательного элемента

$$W_2 = I_2^2 R_2 = 5{,}4^2 \cdot 10 = 292\,\text{Вт}\,.$$

4. Сила тока через источник определится в виде суммы

$$I_0 = I_1 + I_2 \cong 5{,}6\,\text{А}\,.$$

5. Мощность, выделяемая на соединительных проводах

$$\Delta W = R_3 I_0^2 = \rho\frac{2L}{s} I_0^2,$$

где $\rho = 1{,}6 \cdot 10^{-8}$ Ом·м – удельное электрическое сопротивление меди, $s = \pi d^2/4 = 6{,}7 \cdot 10^{-7}$ м – площадь поперечного сечения проводника

$$\Delta W = 1{,}6 \cdot 10^{-8}\,\frac{20}{6{,}7 \cdot 10^{-7}}\,5{,}6^2 \cong 15\,\text{Вт}\,.$$

---

407. К источнику постоянного тока с внутренним сопротивлением r = 2 Ом подключён резистор с сопротивлением R = 6 Ом. Напряжение на полюсах источника равно U = 12 В. Какое количество теплоты выделится во всей цепи в единицу времени?

Решение

1. Закон Ома для замкнутой цепи

$$I = \frac{U + Ir}{R + r}; \quad I = \frac{U}{R} = 2A;$$

2. Количество теплоты в единицу времени:

$$\frac{Q}{\Delta t} = N = (U + Ir)I = 32 \text{Вт}.$$

---

408. Определить силу тока, протекающего через идеальный диод, если он включен в диагональ симметричного моста, составленного из сопротивлений R_1 = 10 кОм, R_2 = 15 кОм, R_3 = 30 кОм R_4 = 25 кОм. Мостик подключен к идеальному источнику тока с ε = 200 В.

Решение

1. Предположим, что диод заперт, т.е. между точками a и b бесконечно большое сопротивление. В этом случае общее сопротивление схемы определится уравнением

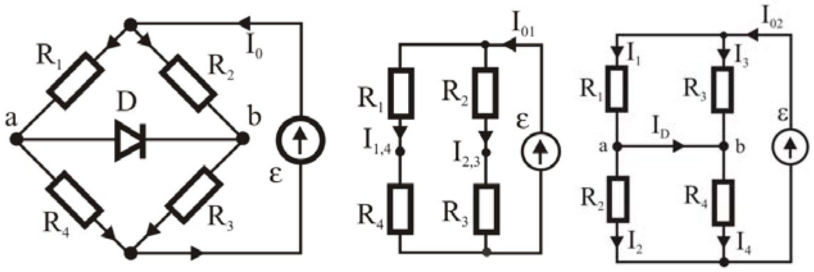


Рис. 408. Диод в мостовой схеме

$$R_{01} = \frac{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = 17{,}5 \text{кОм}.$$

2. Сила тока через источник определится как

$$I_{01} = \frac{\varepsilon}{R_{01}} = \frac{200}{17{,}5 \cdot 10^3} \cong 0{,}01 \text{A}.$$

3. Эквивалентная схема цепи в этом случае может быть представлена в виде последовательного соединения сопротивлений $R_{1,4}$ и $R_{2,3}$, которые, в свою очередь, включены параллельно источнику тока

$$I_{1,4} = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_4} = \frac{200}{35 \cdot 10^3} \cong 0{,}0057 \text{A},$$

$$I_{2,3} = \frac{\varepsilon}{R_2 + R_3} = \frac{200}{45 \cdot 10^3} \cong 0{,}0044.$$

4. Падение напряжения на элементах эквивалентной схемы

$$U_1 = I_{1,4} \cdot R_1 = 0{,}0056 \cdot 10^4 = 56 \text{B},$$

$$U_4 = I_{1,4} \cdot R_4 = 0{,}0057 \cdot 25 \cdot 10^3 \cong 144 \text{B},$$

$$U_2 = I_{2,3} \cdot R_2 = 0{,}0044 \cdot 1{,}5 \cdot 10^4 \cong 68 \text{B},$$

$$U_3 = I_{2,3} \cdot R_3 = 0{,}0044 \cdot 3 \cdot 10^4 = 132\,\text{В}.$$

5. Разность потенциалов между точками включения диода составляет ΔU = 12 В, при такой полярности в узловых точках диод должен быть открыт и должен представлять собой весьма малое сопротивление. Другими словами эквивалентная схема цепи будет представлять собой параллельное включение сопротивлений R_1, R_2 и R_3,R_4, которые образуют последовательную цепь. Общее сопротивление цепи в этом случае определится как

$$R_{02} = \left(\frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3}\right) + \left(\frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_4}\right) = $$
$$= \left(\frac{10 \cdot 30}{10 + 30}\right) + \left(\frac{15 \cdot 25}{15 + 25}\right) \cong 16{,}9\,\text{кОм}.$$

6. Сила тока через источник

$$I_{02} = \frac{\varepsilon}{R_{02}} = \frac{200}{16{,}9 \cdot 10^3} \cong 0{,}012\,\text{А}.$$

7. Составим систему уравнений Кирхгофа для баланса токов в узлах a и b, дополнив их двумя уравнениями закона Ома для участка цепи

$$\left.\begin{aligned}
&I_{02} = I_1 + I_3, \quad (1)\\
&I_D + I_3 = I_4, \quad (2)\\
&I_4 + I_2 = I_{02}, \quad (3)\\
&I_1 = I_D + I_2, \quad (4)\\
&I_1R_1 = I_3R_3, \quad (5)\\
&I_2R_2 = I_4R_4. \quad (6)
\end{aligned}\right\}$$

8. Подставив в уравнения (5) и (6) заданные значения сопротивлений, преобразуем их к виду

$$I_1 = I_3\frac{R_3}{R_1} = 3I_3, \quad I_2 = I_4\frac{R_4}{R_2} = 1{,}7I_4.$$

9. Подставим значение силы тока I_1 из уравнения системы

$$I_{02} = 3I_3 + I_3, \Rightarrow I_3 = \frac{I_{02}}{4} \cong 0{,}003\,\text{А} = 3\,\text{мА}.$$

10. Сила тока I_1 из уравнений системы определится как

$$I_1 = 3I_3 = 0{,}009\,\text{А} = 9\,\text{мА}.$$

11. Далее подставим значение силы тока I_2

$$I_4 + 1{,}7I_4 = I_{02}, \Rightarrow I_4 = \frac{I_{02}}{2{,}7} \cong 4{,}4\,\text{мА}.$$

12. Определим далее силу тока I_2

$$I_2 = 1{,}7I_4 = 7{,}5\,\text{мА}.$$

13. Найдём далее искомую величину силы тока через диод

$$I_D = I_1 - I_2 = 1{,}5\,\text{мА}.$$

17. Оптика

409. Расстояние между предметом и линзой L = 0,75 м. Линза, помещённая между ними, даёт чёткое изображение при двух её положениях: один раз – уменьшенное, другой раз – увеличенное. Увеличенное изображение предмета в два раза больше самого предмета. Чему равна оптическая сила линзы?

Решение

1. Уменьшение и увеличенные изображения может давать собирающая линза: если предмет поместить между линзой и фокусом (фрагмент *е* рис 409), то изображение будет увеличенным, а если за двойным фокусным расстоянием – то уменьшенным (фрагмент *б* рис. 409)

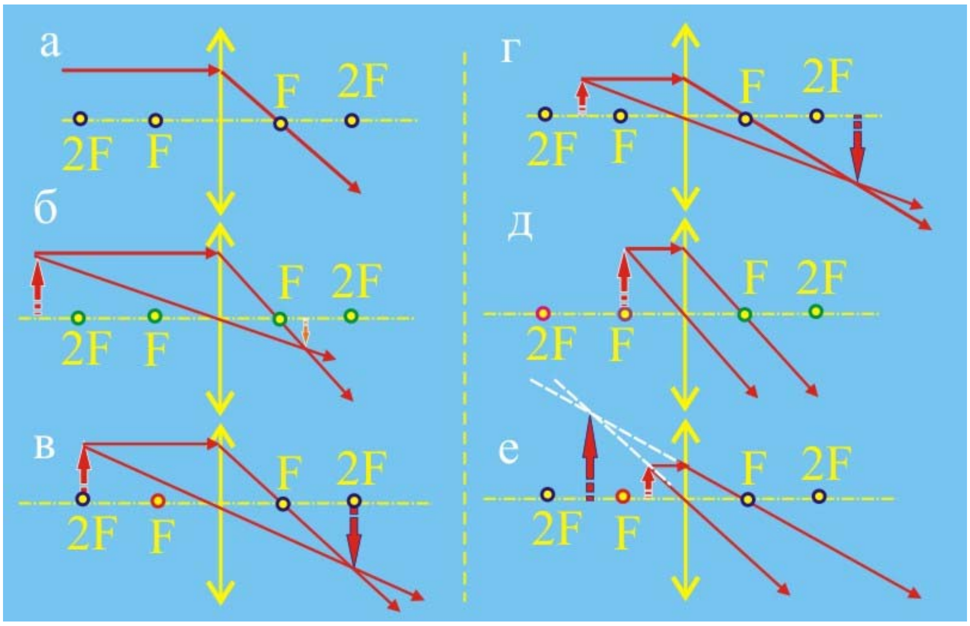


Рис. 409. Построение изображений в тонкой собирающей линзе

2. Заданное увеличение позволяет определить величину d – расстояние от предмета до линзы и f – расстояние от линзы до изображения

$$\Gamma = \frac{h}{H} = \left|\frac{f}{d}\right|; \quad \Rightarrow \quad \Gamma = \frac{L-d}{d}; \quad d = \frac{L}{\Gamma+1} = 0{,}25\text{м}; \quad f = L - d = 0{,}5\ \text{м};$$

3. Фокусное расстояние линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \quad F = \frac{df}{d+f} \cong 0{,}167\text{м};$$

4. Оптическая сила линзы:

$$D = \frac{1}{F} \cong 6\ \text{дптр};$$

410. Плоское зеркало, расположенное в вертикальной плоскости, может вращаться вокруг горизонтальной оси. На расстоянии r от оси находится светящаяся точка А. Какое расстояние x будет между изображением точки и изображением, которое образуется после поворота зеркала на угол α?

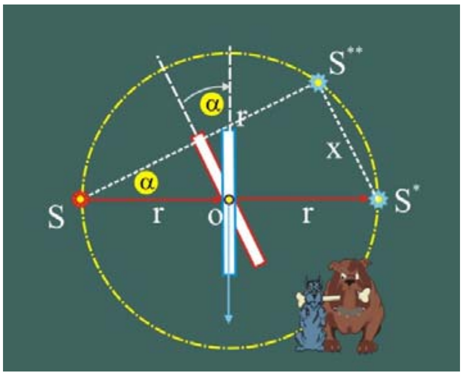


Рис. 410. Поворот зеркала на угол α

Решение

1. Используя правила построения изображения в зеркале, после его поворота вокруг оси, проходящей через точку o получаем прямоугольный треугольник SS^*S^{**} из которого следует что:

$$x = 2r\sin\alpha;$$

---

411. На поверхности воды плавает надувной плот размерами $a \times b = 4 \times 6$ м. Небо затянуто сплошными облаками, полностью рассеивающими солнечный свет. На какой минимальной глубине под плотом может плавать маленькая рыбка, чтобы её не могли увидеть плавающие вокруг плота хищники?

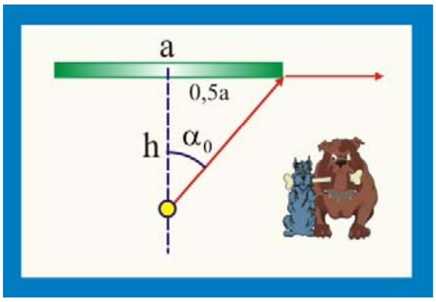


Рис. 411. Угол полного внутреннего отражения в воде

Решение

1. Угол предельного полного отражения

$$\sin\alpha_0 = \frac{1}{n}; \quad \alpha_0 = \arcsin\frac{1}{n} = \arcsin\frac{1}{1{,}33} \cong 48{,}8^0;$$

2. Из прямоугольного треугольника, полученного на основе построений:

$$tg\alpha_0 = \frac{a}{2h}; \quad \Rightarrow h_{min} \cong \frac{0{,}5a}{tg\alpha_0} \cong \frac{2}{1{,}15} \cong 1{,}74\text{м}$$

---

412. Предмет в виде отрезка длиной H = 6 см расположен вдоль главной оптической оси собирающей тонкой линзы с фокусным расстоянием F = 10 см. Середина отрезка расположена на расстоянии X = 15 см от линзы. Определить продольное увеличение предмета.

Решение

1. Лежащий на оптической оси предмет, допустим тонкий стержень, расположен за фокусным расстоянием, т.е. собирающая линза даст действительное изображение, для которого справедлива формула тонкой линзы:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}; \quad \Rightarrow \quad f = \frac{dF}{d - F};$$

2. Если предмер расположен слева от линзы, то для изображения его левого конца имеем:

$$d_1 = 12\text{см}; \quad f_1 = 60\text{см};$$

Для правого конца стержня:

$$d_2 = 18\text{см}; \quad f_2 = 22{,}5\text{см};$$

3. Длина изображения предмета:

$$h = f_1 - f_2 = 37{,}5\text{см};$$

4. Увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{h}{H} = 6{,}26;$$

---

413. На боковую грань равнобедренной призмы падает луч, параллельный основанию призмы. При каком условии, луч, пройдя призму, не изменит своего направления?

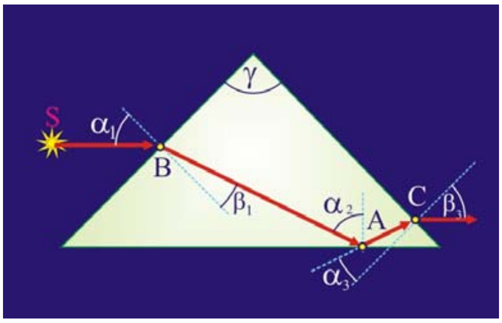


Рис. 413.1. Полное отражение

Решение

1. Луч при заданных условиях не именит своего первоначального направления, если, помимо двух преломлений на гранях призмы, он испытает полное внутреннее отражение от основания призмы, куда он должен попасть под углом, превышающим значение угла предельного отражения.

2. Закон отражения позволяет записать:

$$\beta_1 = \alpha_3; \quad \Rightarrow \quad \alpha_1 = \beta_3;$$

3. Если точка отражения от основания будет расположена на его середине, то вышедший луч не только сохранит направление вошедшего луча, но и будет лежать на его продолжении.

4. Определим, при каких значениях показателя преломления материала призмы такое явление будет возможным. Полное внутреннее отражение происходит при

$$\alpha_2 \geq \arcsin\frac{1}{n};$$

5. Запишем соотношения между углами

$$90^{\circ} + \beta_1 = \frac{\gamma}{2} + \alpha_2; \quad \alpha_1 = \frac{\gamma}{2}; \quad \sin\beta_1 = \frac{\sin\alpha_1}{n}; \quad \Rightarrow \quad \beta_1 \geq \frac{\gamma}{2} + \arcsin\frac{1}{n} - 90^{\circ};$$

$$\sin\frac{\gamma}{2} \geq -n\cos\left(\frac{\gamma}{2} + \arcsin\frac{1}{n}\right);$$

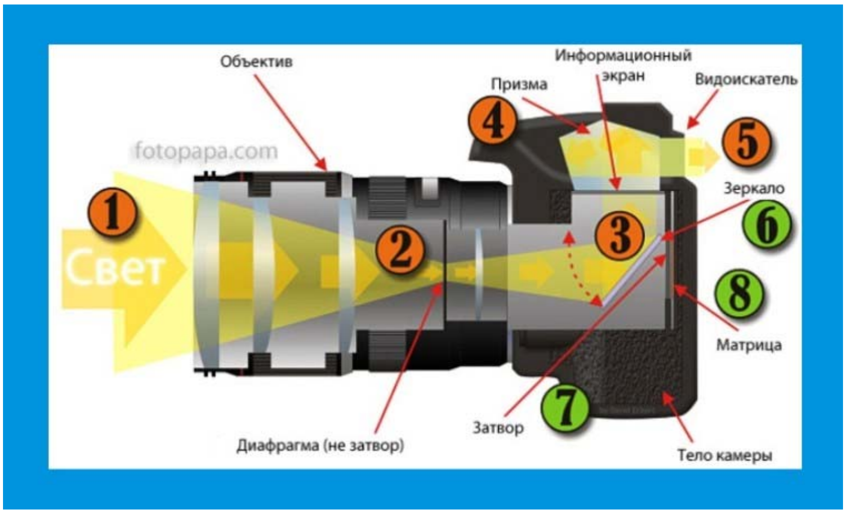


Рис. 413.2. Зеркальная фотокамера

6. Чтобы последнее соотношение выполнялось необходимо, чтобы:

$$\frac{\gamma}{2} + \arcsin\frac{1}{n} \le 90^o; \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{n} \le \cos\frac{\gamma}{2};$$

7. Если использовать призму с $\gamma = 90^o$, что чаще всего и делается на практике, то:

$$n \ge \frac{1}{\cos 45^o} = \sqrt{2};$$

Последнее условие выполняется практически для всех сортов стекла. Поворотные призмы, они именно так называются, широко применяются в оптических устройствах, где необходимо переворачивать изображение, например в зеркальных фотокамерах и биноклях.

---

414. Расстояние между предметом и экраном равно 1 м. Между ними находится собирающая линза, которая даёт на экране уменьшенное изображение. Если линзу придвинуть на 60 см к предмету, то на экране появится его увеличенное изображение. Найти фокусное расстояние линзы.

Решение

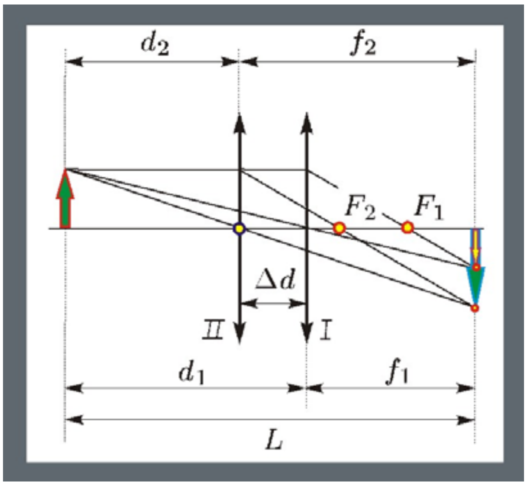


Рис. 414. Перемещение линзы

1. Изображение в обоих случаях по условию задачи воспроизводится на экране, значит оно действительное

2. Запишем формулу линзы для заданных положений линзы

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{F} &= \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}; \\ \frac{1}{F} &= \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}; \end{aligned}\right\}$$

3. В системе уравнений все величины неизвестны, поэтому необходимо дополнительно записать соотношение между величинами в соответствие с принятыми на рис. 414 обозначениями

$$\left.\begin{aligned} d_1 + f_1 &= L; \\ d_2 + f_2 &= L; \\ d_2 + \Delta d &= d_1; \end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad f_1 = L - d_1; \quad d_2 = d_1 - \Delta d; \quad f_2 = L - d_2 = L - d_1 + \Delta d;$$

4. При подстановке f_1, d_2 и f_2 из трёх последних уравнений в формулы линзы придём к двум уравнениям с двумя неизвестными d_1 и F. Равенство правых частей исходных уравнений даёт основание приравнять их левые части

$$\frac{1}{d_1} + \frac{1}{L - d_1} = \frac{1}{d_1 - \Delta d} + \frac{1}{L - d_1 + \Delta d};$$

5. Приведя последнее равенство к общему знаменателю, получим

$$d_1 = \frac{L + \Delta d}{2} = 0{,}8\ м;$$

6. Определим далее величину f_1

$$f_1 = L - d_1 = 0{,}2\ м;$$

7. Из первого уравнения исходной системы найдём фокусное расстояние

$$F = \frac{d_1 f_1}{d_1 + f_1} = 0{,}16\ м;$$

---

415. Две тонкие собирающие линзы с фокусными расстояниями 20 и 15 см, плотно прижатые друг к другу, дают резкое изображение предмета на экране, если предмет расположен на расстоянии 15 см от первой линзы. На сколько необходимо отодвинуть экран для получения чёткого изображения, если вторую линзу удалить от первой линзы на расстояние 5 см?

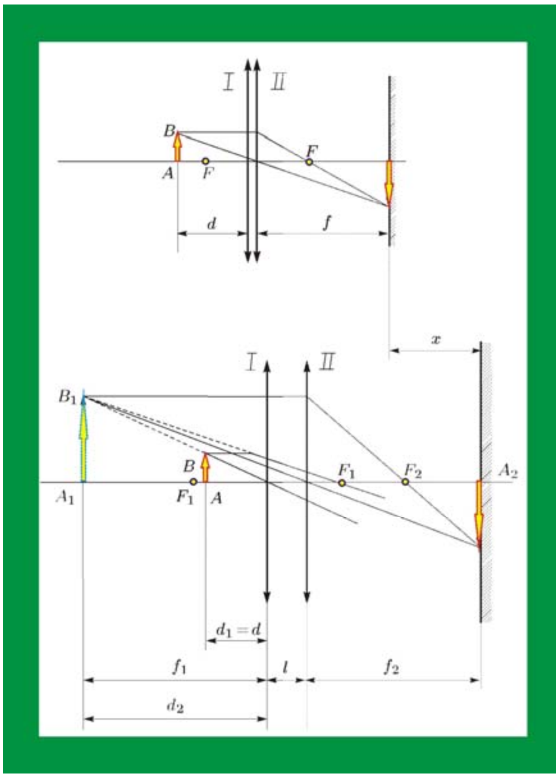


Рис.415. Сдвоенные линзы

Решение

1. Запишем уравнение оптической силы сдвоенной линзы

$$D = D_1 + D_2,$$

или

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2};$$

2. Поскольку фокусные расстояния линз F_1, F_2 заданы, то можно найти F

$$F = \frac{F_1F_2}{F_1 + F_2} \cong 8{,}6\text{ см}.$$

3. Определим положение экрана при действии одновременно двух линз

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f};$$

$$f = \frac{Fd}{d - F};$$

$$f = \frac{F_1F_2d}{(F_1 + F_2)d - F_1F_2} \cong 20\text{ см};$$

4. Когда вторую линзу отодвигают, то изменяется фокусное расстояние данной оптической системы. Определим расстояние, на котором находится изображение A_1B_1, даваемое только первой линзой ($d_1 = d$):

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}; \quad \Rightarrow \quad f_1 = \frac{F_1d_1}{d_1 - F} = -60\text{ см};$$

Знак «–» указывает на то, что изображение будет мнимым: $d_1 < F_1$.

5. Мнимое изображение A_1B_1 для второй линзы является предметом, который расположен на расстоянии $d_2 = f_1 + \ell = 65\text{ см}$ от второй линзы (рис. 15.176)

6. Определим расстояние f_2 от второй линзы до изображения A_2B_2

$$f_2 = \frac{F_2d_2}{d_2 - F_2} = 19{,}5\text{ см};$$

7. Из построений можно видеть, что

$$f + x = \ell + f_2; \quad \Rightarrow \quad x = \ell + f_2 - f = 4{,}5\text{ см}.$$

---

416. Источник монохроматического света испускает ежесекундно $N = 2 \cdot 10^{20}$ фотонов, вызывающих фотоэффект на металлической пластине с работой выхода $A = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж. При длительном освещении пластина заряжается до потенциала $\Delta\varphi = 0{,}9$ В. Определить мощность источника света.

Решение

1. Энергия фотона, испускаемого источником света

$$\varepsilon_f = e\Delta\varphi + A = 1{,}6\cdot10^{-19}\cdot0{,}9 + 1{,}6\cdot10^{-19} \approx 3\cdot10^{-19}\,\text{Дж};$$

2. Мощность источника света:

$$P = \varepsilon_f N \cong 60\ \text{Вт};$$

---

417. . На рассеивающую линзу с главным фокусным расстоянием F_1 падает пучок лучей, параллельных главной оптической оси. На каком расстоянии от центра рассеивающей линзы нужно поместить собирающую линзу, чтобы выходящие лучи снова пошли параллельно главной оптической оси? Фокусное расстояние F_2 собирающей линзы в два раза больше, чем рассеивающей линзы.

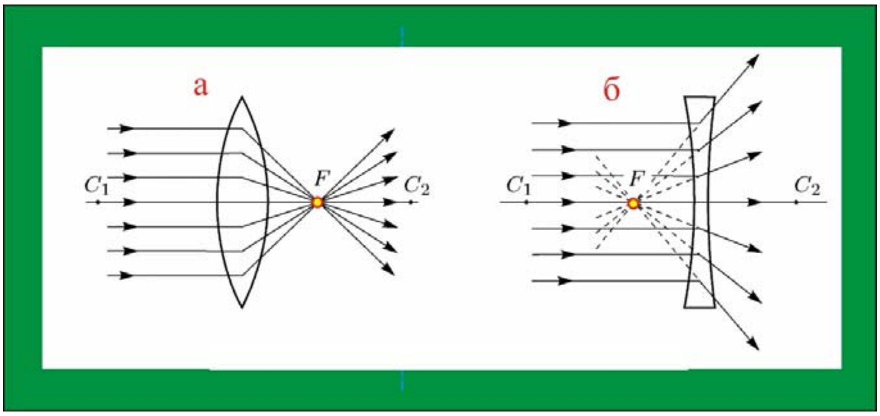


Рис.417.1. Схема хода лучей в собирающей и рассеивающей линзах

Решение

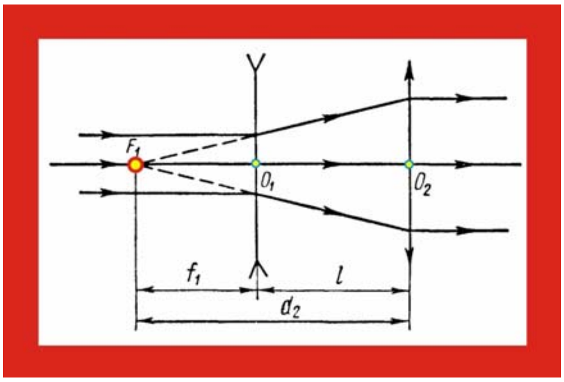


Рис. 417.2. Рассеивающая и собирающая линза

1. Формула для рассеивающей линзы

$$-\frac{1}{F_1} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f_1};$$

2. Будем считать, что источник параллельных световых лучей находится на бесконечном удалении от линзы, т.е.

$$\frac{1}{d}\to 0;\quad \Rightarrow\quad \frac{1}{F_1} = \frac{1}{f_1};\quad F_1 = f_1;$$

3. Мнимое изображение в рассеивающей линзе находится в её мнимом фокусе и является источником для собирающей линзы, формула которой будет иметь вид:

$$\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d_1} = \frac{1}{f_1};$$

4. Из построения хода лучей следует, что

$$d_2 = F_1 + \ell;$$

5. Условие параллельности выходящих лучей можно представить как:

$$\frac{1}{f_2}\to 0;$$

6. Подставляя значения F_2, d_2 и f_2 в формулу собирающей линзы, получим

$$\frac{1}{2F_1} = \frac{1}{F_1 + \ell}; \quad \Rightarrow \quad \ell = F_1;$$

---

418. Круглый бассейн радиусом r = 5 м залит до краёв водой. Над центром бассейна на высоте H = 3 м от поверхности воды висит лампа. На какое расстояние от края бассейна может отойти человек ростом h = 1,8 м, чтобы всё ещё видеть отражение лампы в воде?

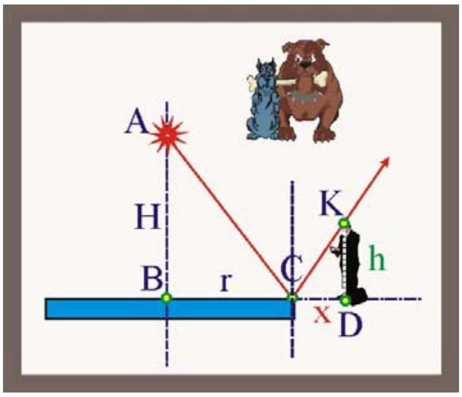


Рис. 418. Отражение лампочки

Решение

1. Рассматривая кромку бассейна с позиций закона отражения света, можно получить построением два подобных треугольника

$$\Delta ABC \sim CDK,$$

из чего следует, что:

$$\frac{H}{r} = \frac{h}{x}; \quad \Rightarrow \quad x = \frac{hr}{H} = 3м;$$

---

419. У плоскопараллельной пластинки, имеющей толщину h = 5 см, нижняя поверхность посеребрена. Луч света, падающий на пластинку под углом α = 30°, частично отражается от поверхности, частично проникает внутрь пластинки, отразившись от нижней зеркальной поверхности этот луч преломляется и выходит в воздух параллельно первому отражённому лучу. Найти показатель преломления материала из которого изготовлена пластинка, если расстояние между падающим и выходящим лучами a = 2,5 см.

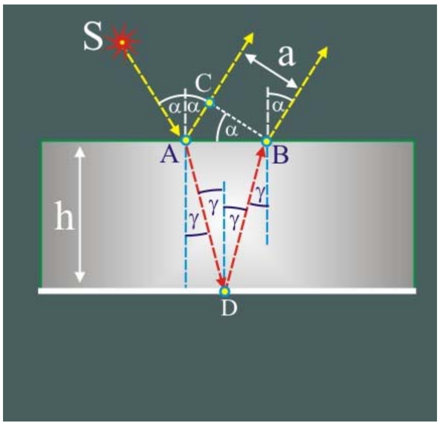


Рис. 419. Смещение лучей

Решение

1. Определим из ΔABC величину AB

$$AB = \frac{a}{\cos\alpha};$$

2. Эту же величину можно выразить из треугольника ΔADB, который состоит из двух равновеликих прямоугольных треугольников

$$AB = h\,tg\gamma + h\,tg\gamma = 2h\,tg\gamma;$$

4. Углы α и γ связаны законом преломления

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n;$$

7. Решим совместно полученные уравнения

$$\frac{a}{\cos\alpha} = 2h\frac{\sin\gamma}{\cos\gamma} = \frac{\sin\alpha}{n\sqrt{1 - \frac{\sin^2\alpha}{n^2}}}; \quad \Rightarrow \quad n = \sin\alpha\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{a}\cos\alpha\right)^2};$$

$$n = 0{,}5\sqrt{1 + \left[\frac{10}{2{,}5}0{,}87\right]^2} \cong 1{,}81;$$

---

19. Атом и атомное ядро

420. Препарат массой $m_1 = 1\cdot 10^{-3}$ кг, содержащий радий, за $\tau = 1$ с испускает $N_\alpha = 3{,}7\cdot 10^{10}$ α-частиц, обладающих скоростью 15 Мм/с. Чему равна масса образца с такой же концентрацией радия, в котором за полчаса выделяется энергия $E_2 = 500$ Дж? Энергию отдачи ядер и релятивистские эффекты не учитывать.

Решение

1. Кинетическая энергия одной α-частицы ($m_\alpha \approx 4$ а.е.м. $\approx 6{,}6\cdot 10^{-27}$ кг)

$$\varepsilon_\alpha = \frac{m_\alpha v^2}{2} \approx 7{,}4\cdot 10^{-13}\,\text{Дж};$$

2. Энергия α-частиц, выделяемых первым образцом в течение $\tau = 1$ секунды

$$E_{\alpha(1)} = \varepsilon_\alpha N_\alpha \approx 2{,}7\cdot 10^{-2}\,\text{Дж};$$

3. Энергия, выделяемая вторым образцом в секунду:

$$E_{\alpha(2)} = \frac{E_2}{\Delta\tau} = \frac{500}{1800} = 0{,}27\,\text{Дж};$$

4. Масса второго образца:

$$\frac{E_{\alpha(1)}}{E_{\alpha(2)}} = \frac{m_1}{m_2}; \quad \Rightarrow \quad m_2 = \frac{E_{\alpha(2)} m_1}{E_{\alpha(1)}} \approx 1\cdot 10^{-2}\,\text{кг};$$

---

421. Оценить энергию электрона в атоме водорода на первой стационарной орбите.

Решение

1. Энергия электрона на первой ($n = 1$) стационарной орбите исходя из равенства силы Кулона и силы, вызванной нормальным ускорением при орбитальном движении электрона по круговой орбите:

$$\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1} = m_e v_1^2; \quad \Rightarrow \quad \frac{m_e v_1^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1};$$

2. Радиус орбиты и энергию электрона определим, воспользовавшись первым постулатом Бора:

$$m_e v_1 r_1 = \frac{h}{2\pi}; \quad r_1 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}; \quad E_1 = -\frac{m_e e^4}{8h^2\varepsilon_0^2} \approx -2{,}3\cdot 10^{-18}\,\text{Дж}\,(-13{,}6\ \text{В}),$$

3. Величина E_1 равна энергии ионизации атома водорода, т.е. энергии, которая необходима для удаления электрона с первой орбиты на ∞.

---

422. Какая минимальная длина волны наблюдается при излучении серии Бальмера?

Решение

1. Обобщённая формула Бальмера с учётом того обстоятельства, что серия Бальмера возникает при перескоке электрона на второй энергетический уровень ($n = 2$) позволяет определить максимальную частоту излучения:

$$\nu = R\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right); \quad \nu_{max} = R\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{\infty}\right); \quad R = 3{,}29 \cdot 10^{15} c^{-1};$$

$$\nu_{max} = 0{,}25R \cong 8{,}225 \cdot 10^{14} \text{Гц};$$

2. Минимальная длина волны:

$$\lambda_{max} = \frac{c}{\nu_{max}} \approx 364{,}7 \text{нм};$$

---

423. Препарат активностью N = $3{,}4 \cdot 10^{11}$ α-частиц в секунду помещён в калориметр, заполненный водой при температуре T_0 = 293 К. Какую массу воды можно довести до кипения за время τ = 3 часа, если энергия α-частицы ε_α = 5,3 МэВ? Считать, что вся энергия α-частиц поглощается водой, а теплоёмкостью аппарата и изменением активности препарата можно пренебречь.

Решение

1. Энергия α-частиц за время τ

$$E_\alpha = \varepsilon_\alpha \cdot N \cdot \tau = 5{,}3 \cdot 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 3{,}4 \cdot 10^{11} \cdot 10800 \cong 3114 \text{Дж}.$$

2. Энергия, необходимая для доведения воды массой m до температуры кипения T_K = 373 К

$$Q = cm\Delta T; \quad \Rightarrow \quad m = \frac{Q}{c\Delta T} = \frac{E_\alpha}{c\Delta T} \approx \frac{3114}{4200 \cdot 80} \cong 9{,}310^{-3} \text{кг};$$

---

424. Предполагая, что нуклоны плотно упакованы в ядре с массовым числом A, можно оценить его радиус R: $R \approx r_0\sqrt[3]{A}$, где $r_0 \approx 1{,}2 \cdot 10^{-15}$ м. Оценить радиус атомов серебра $^{108}_{47}Ag$.

Решение

$$R \approx 1{,}2 \cdot 10^{-15} \cdot \sqrt[3]{108} \approx 5{,}71 \cdot 10^{-15} \text{м};$$

---

425. Мощность атомной силовой установки стратегического подводного ракетоносца P = 190 МВт. Ядерным топливом служит слабо обогащённая двуокись урана (25% $^{235}_{92}U$). Определить запас топлива, необходимого для автономного плавания АПЛ проекта «Акула» в течение 180 суток, если при делении одного ядра урана выделяется q ≈ 200 МэВ энергии.

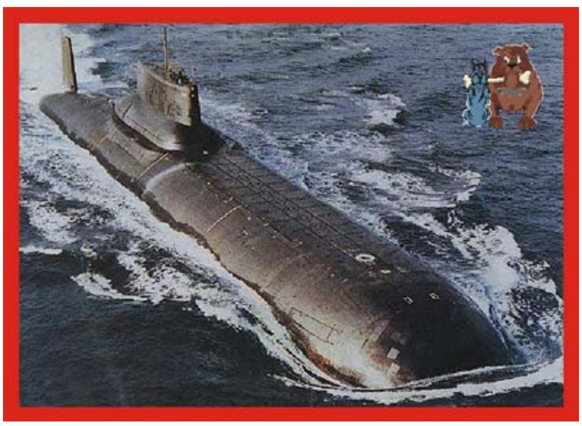


Рис. 425. АПЛ проекта 941

Решение

1. Энергия, выделяющаяся при делении всех ядер, содержащихся в m = 1 кг топлива

$$E = qN = q\frac{m}{\mu}N_A;$$

2. Требуемое для автономного плавания количество уранового топлива

$$\Delta m = \frac{P\tau}{E} = \frac{P\tau\mu}{qmN_A};$$

$$m_x \approx \frac{1{,}9\cdot 10^8\cdot 1{,}6\cdot 10^7\cdot 235\cdot 10^{-3}}{2\cdot 10^8\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 1\cdot 6\cdot 10^{23}} \approx 37\text{кг},$$

с учётом 25% содержания в двуокиси ${}^{235}_{92}U$:

$$\Delta m = 4m_x \approx 149\text{кг};$$

---

426. Какую минимальную энергию необходимо затратить для расщепления материнского ядра изотопа углерода ${}^{12}_{6}C$ на три равных дочерних осколка?

Решение

1. Если ядро заданного изотопа разделить на три равнозначные части, то получатся три ядра:

$${}^{12}_{6}C \to 3{}^{4}_{2}X; \quad {}^{4}_{2}X \equiv {}^{4}_{2}He,$$

то образуются три ядра гелия, т.е три α-частицы.

2. Необходимая энергия

$$\Delta E = 931{,}1\Delta m = 931{,}1(m_C - 3m_{He}) \approx 7{,}3\text{МэВ} \approx 11{,}7\cdot 10^{-13}\text{Дж};$$

---

427. Определить энергию, освобождающуюся в водородной бомбе при синтезе m = 1 кг гелия.

Решение

1. Уравнение синтеза гелия

$${}^{2}_{1}D + {}^{3}_{1}T \to {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n;$$

2. Энергия, освобождающаяся при синтезе одного ядра гелия

$$\Delta E_1 = 931{,}1\cdot\Delta m = 931{,}1(m_D + m_T - m_{He} - m_n) \approx 2{,}8\cdot 10^{-12}\text{Дж};$$

3. Число ядер в 1 кг гелия

$$N = \frac{m}{\mu}N_A;$$

4. Энергия, выделяющаяся при синтезе 1 кг гелия

$$E = \Delta E_1\cdot N = \frac{\Delta E_1 m N_a}{\mu} \approx 4{,}2\cdot 10^4\text{Дж};$$
