Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Факультет доуниверситетской подготовки
и профессиональной ориентации

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО ФИЗИКЕ

ДЛЯ СЛУШАТЕЛЕЙ ЗАОЧНЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ КУРСОВ

3-е издание, стереотипное

Минск 2011

УДК 53 (075.8)
ББК 22.3 я 73
М 54

Составители:
Т.И. Стрелкова, Г.Ф. Смирнова

Методические указания и контрольные задания по физике
М 54 для слушателей заочных подготовительных курсов / сост. Т.И. Стрелкова, Г.Ф. Смирнова. – 3-е изд., стер. - Мн.: БГУИР, 2011. – 94 с.: ил.
ISBN 978-985-488-787 – 6.

Методические указания по физике предназначены для слушателей заочных подготовительных курсов при БГУИР. Они охватывают материал, входящий в программу вступительных испытаний по физике в высшие учебные заведения. Содержат 10 контрольных работ, снабженных методическими указаниями и примерами решения задач. Весь материал методических указаний адаптирован к проведению вступительных испытаний в форме тестирования.

УДК 53 (075.8)
ББК 22.3 я 73

ISBN 978-985-488-787 – 6

Содержание

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в нашей стране внедряется новая система принципов и методов оценивания уровня знаний - промежуточная и итоговая аттестация в форме централизованного тестирования. Новая система, основанная на использовании тестовых технологий, вызвана необходимостью получить независимую, объективную оценку уровня и качества знаний абитуриентов и обучающихся.

Система централизованного тестирования формируется под руководством Республиканского института контроля знаний, работу которого координирует Министерство образования Республики Беларусь.

В учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» вступительные испытания проводятся только в форме тестирования, это позволяют эффективно осуществлять оценку способности абитуриентов обучаться в высших учебных заведениях.

Для успешной сдачи вступительных испытаний абитуриенты должны обладать глубокими знаниями теоретического материала школьного курса физики и умением применять их на практике. Для этого необходима систематическая работа над курсом, помочь правильной организации которой — задача предлагаемого пособия.

Работа над каждым разделом должна начинаться с изучения теоретического материала по учебникам и учебным пособиям, составления конспекта с ответами на вопросы программы вступительных испытаний. Решение задач будет способствовать развитию логического мышления и практических навыков.

Работа на курсах организована таким образом, что каждой контрольной работе предшествует консультация преподавателя с указанием, на каких вопросах следует заострить внимание, какие моменты курса физики наиболее трудны для абитуриентов.

Перед самостоятельным решением задач необходимо подробно познакомиться с разобранными примерами.

Для тренировки можно пользоваться любыми сборниками задач для средних школ и средних специальных учебных заведений.

Контрольная работа должна быть выполнена в отдельной школьной тетради в клеточку. На обложке следует указать фамилию и инициалы слушателя, домашний адрес. К каждой работе даются задания в тестовой форме с выбором ответа (тип А) и в открытой форме (тип В). Независимо от типа тестового задания ответ должен сопровождаться подробным обоснованным решением. Решение каждой контрольной задачи нужно начинать на новой странице, написав полностью условие и выписав числовые данные с переводом их в СИ. Следует пояснить план решения задачи, привести формулировки физических законов, используемых при решении. Где возможно, решение следует иллюстрировать рисунком. Расчеты рекомендуется производить до конца в общем виде. Своевременное выполнение контрольных работ является обязательным для слушателей заочных подготовительных курсов.

Планомерная проработка материала и выполнение контрольных работ с последующим рецензированием является эффективной формой подготовки к вступительным испытаниям, позволяет преподавателю своевременно выявить «слабые звенья» и оказать необходимую помощь слушателю.

В конце пособия предлагаются два теста для самостоятельной проверки знаний.

При оформлении контрольных работ и письменных экзаменационных заданий необходимо руководствоваться следующими правилами:

При отсутствии специального указания в условии задачи, ответ следует приводить в СИ, числовые значения подставлять после решения задачи в общем виде.

Значения физических постоянных и иррациональных чисел, необходимых для расчетов:

а) ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2 ;
б) универсальная газовая постоянная R = 8,3 Дж/(моль·К);
в) коэффициент в законе Кулона $1/4\pi\varepsilon_0 = 9\cdot 10^9$ м/Ф;
г) скорость света в вакууме $c = 3\cdot 10^8$ м/с ;
д) число Авогадро $N_A = 6\cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$;
е) постоянная Планка h = $6{,}6\cdot 10^{-34}$ Дж·с ;
ж) элементарный электрический заряд $e = 1{,}610^{-19}$ Кл ;
з) молярная масса водорода 0,002 кг/моль;
и) молярная масса гелия 0,004 кг/моль;
к) число $\pi = 3{,}14$;
л) $\sqrt{2} = 1{,}41$ и $\sqrt{3} = 1{,}73$;
м) $\pi^2 = 10$.
н) постоянная Ридберга $1{,}1\cdot 10^7$ м$^{-1}$.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

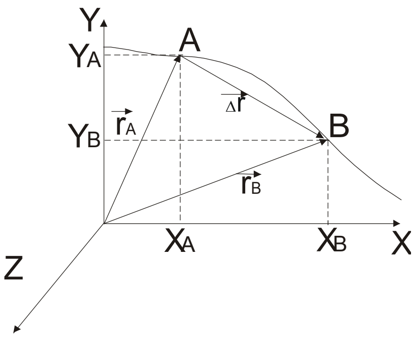


Рис.1.1

Положение материальной точки в пространстве, отнесенном к некоторой неподвижной (относительно наблюдателя) прямоугольной декартовой системе координат XYZ, определяется ее радиусом-вектором $\vec{r}$ (рис.1.1).

Перемещением материальной точки за некоторый промежуток времени называется вектор $\Delta\vec{r}$, направленный от положения точки в начальный момент времени к ее положению в конечный момент времени,
$\Delta\vec{r} = \vec{r}_B - \vec{r}_A$.

В декартовой системе координат

$$\Delta r_x = |x_B - x_A|; \quad \Delta r_y = |y_B - y_A|; \quad |\Delta\vec{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

Пройденный путь S представляет собой скалярную величину, равную расстоянию, пройденному материальной точкой по ее траектории. При движении тела по прямой в одном направлении пройденный путь и модуль вектора перемещения совпадают: $S = |\Delta\vec{r}|$.

Во всех других случаях модуль перемещения меньше длины пути.

Равномерное прямолинейное движение.

Скорость $\vec{v} = \dfrac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$.

Путь $S = vt$.

Координаты тела в момент времени t :

$$x = x_0 + S = x_0 + vt,$$

где x_0 - координата тела в начальный момент времени t = 0.

Перемещение $x - x_0 = S = vt$.

Равнопеременное прямолинейное движение.

Скорость тела в любой момент времени определяется уравнением
$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$,

где $\vec{v}_0$ - начальная скорость; $\vec{a}$ - ускорение.

Кинематическое уравнение равнопеременного движения

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}.$$

Координаты тела в любой момент времени t определяются уравнениями:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}; \qquad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2},$$

где x_0, y_0 - координаты в начальный момент времени.

Путь (координата), пройденный телом, начальное и конечное значения скоростей и ускорение движения связаны формулой

$$v^2 - v^2_0 = 2aS.$$

При переменном движении пользуются понятием средней скорости.

Средняя скорость перемещения - векторная величина

$$\vec{v}_{ср} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t},$$

где $\Delta\vec{r}$ - перемещение, которое было совершено за промежуток времени Δt.

.

Средняя скорость прохождения пути - скалярная величина

$$v_{ср} = \frac{S}{t},$$

где S – путь, пройденный телом за промежуток времени t.

Некоторые виды сложного движения

А. Равномерное прямолинейное движение, происходящее с постоянной скоростью $\vec{v}$ вдоль произвольной прямой АВ (рис.1.2).

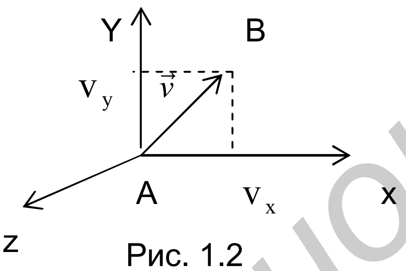


Рис. 1.2

Скорость тела в любой точке траектории

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

и направлена вдоль траектории движения.

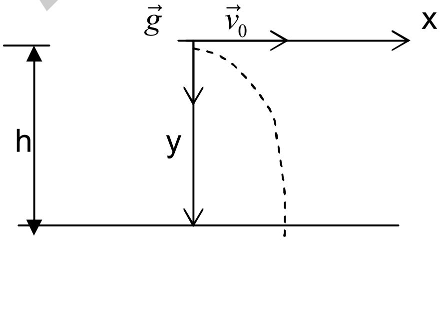
Координаты тела в любой момент времени определяются уравнениями:

$$x = x_0 + v_x t;$$

$$y = y_0 + v_y t,$$

где $v_x = v \cdot \cos\alpha$; $v_y = v \cdot \sin\alpha$.

Б. Движение тела, брошенного горизонтально с некоторой высоты, можно разложить на два независимых движения, одновременно совершаемых телом (рис.1.3) : равномерное и прямолинейное, происходящее в горизонтальном направлении со скоростью v_x, равной начальной скорости бросания $v_0 (v_x = v_0)$, и свободное падение с высоты, на которой находилось тело в момент бросания, со скоростью $v_y = gt$.



Тогда уравнения движения по осям Х и У имеют следующий вид:

$$x = x_0 + v_0 t; \; y = y_0 + \frac{gt^2}{2}.$$

Скорость тела в любой точке траектории

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2},$$

где $v_x = v_0$; $v_y = gt$.

Время падения $t = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$ (y = h); дальность полета $l = v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$ $(l = x)$.

В. <u>Движение тела, брошенного под углом к горизонту,</u> можно разложить на два независимых движения, одновременно совершаемых телом (рис.1.4): равномерное и прямолинейное, происходящее в горизонтальном направлении с начальной скоростью $v_{0x} = v_0 \cos\alpha$, и свободное падение с начальной скоростью $v_{0y} = v_0 \sin\alpha$, где α - угол между направлениями вектора скорости $\vec{v}_0$ и осью X. Тогда уравнения движений по осям X и У имеют следующий вид:

$$x = v_0 \cos\alpha \cdot t;\quad y = v_0 \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

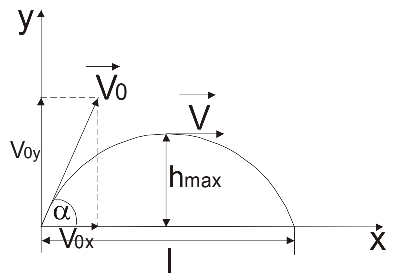


Рис. 1.4

Время падения

$$t_1 = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g} \quad (t = t_1;\ y=0);$$

время подъема

$$t_2 = \frac{v_0 \sin\alpha}{g} \quad (t = t_2;\ v_y = 0);$$

дальность полета $l = \dfrac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ $(t = t_1;\ x = l)$;

максимальная высота подъема

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g} \quad (t = t_2).$$

Г. <u>Равномерное движение материальной точки по окружности</u>

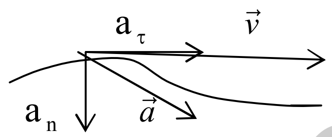


Рис. 1.5.

Если траектория материальной точки является плоской кривой, то ускорение в любой точке траектории (рис.1.5) может быть представлено в виде $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$, где $\vec{a}_\tau$ - тангенциальное ускорение, характеризующее изменение линейной скорости по величине, $\vec{a}_n$ - нормальное ускорение, характеризующее изменение скорости по направлению:

$$|\vec{a}| = \sqrt{|\vec{a}_n|^2 + |\vec{a}_\tau|^2};\quad a_n = \frac{v^2}{R};\quad a_\tau = \frac{dv}{dt}.$$

При равномерном движении скорость не изменяется по величине $\vec{a}_\tau = 0$ и $\vec{a} = \vec{a}_n$. Постоянство по величине $\vec{a}_n$ означает, что $\dfrac{v^2}{R} = const$.

Отсюда можно заключить, что R = const (v = const вследствие равномерности движения), а значит, траекторией материальной частицы является окружность.

В любой точке траектории линейная скорость тела $\vec{v}$ направлена по касательной к окружности, а центростремительное (нормальное) ускорение $\vec{a}_n$ всегда направлено по радиусу к центру окружности:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu = \omega R\,;$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R\,,$$

где T – период обращения; ν - частота вращения (число оборотов в 1с), Гц; - угловая скорость, рад/с.

Относительность движения.

Закон сложения скоростей: $\vec{v} = \vec{v}\,' + \vec{u}$; ($\vec{r} = \vec{r}\,' + \vec{R}$),

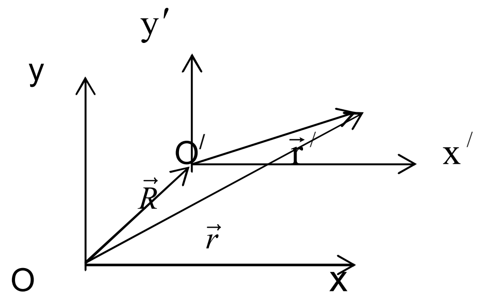


Рис. 1.6

где $\vec{v}$ - скорость материальной точки А относительно неподвижной системы отсчета (ХоУ);

$\vec{v}\,'$- скорость этой же точки относительно движущейся системы отсчета (X'o'Y');

$\vec{u}$ - скорость движущейся системы отсчета относительно неподвижной (рис.1.6).

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Первую треть пути велосипедист проехал со скоростью 15 км/ч. Средняя скорость велосипедиста на всем пути оказалась равной 20 км/ч. С какой скоростью велосипедист двигался оставшуюся часть пути? Ответ дайте в км/ч.

Дано:
$S_1 = 1/3\ S$
v_1=15 км/ч
S_2=2/3 S
$v_{ср}$=20 км/ч
____
v_2 - ?

Решение

Обозначив весь пройденный путь S , из определения средней путевой скорости имеем:

$$v_{ср} = \frac{S}{t} = \frac{S}{t_1 + t_2} = \frac{S}{\frac{S}{3v_1} + \frac{2S}{3v_2}} = \frac{3v_1v_2}{v_2 + 2v_1}.$$

С помощью стандартных алгебраических преобразований найдем искомую скорость на второй части пути:

$$v_2 = \frac{2v_1 v_{ср}}{3v_1 - v_{ср}}.$$

Подставляя числовые значения, получаем: $v_2 = \frac{2\cdot 15\cdot 20}{25} = 24$ (км/ч).

Ответ: 24.

2. Найдите графическим способом перемещение и путь, пройденный за 5 с материальной точкой, движение которой вдоль оси X описывается уравнением $x = 6 - 4t + t^2$, где все величины выражены в единицах СИ.

Дано:	Решение
$x=(6-4t+t^2)$ м	Найдем проекцию скорости на ось OX, взяв
$t=5$ с	производную координаты X по времени t :
	$v_x = \dfrac{dx}{dt} = -4+2t$.
$\lvert\vec{S}\rvert$ - ?	

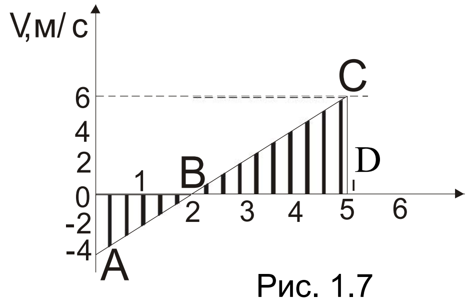


Рис. 1.7

Соответственно этому выражению построим график скорости (рис.1.7). Проекция перемещения на ось OX равна алгебраической сумме площадей треугольников AOB и BCD, причем площадь первого из них берется со знаком минус, а второго – со знаком плюс:

$$\lvert\vec{S}\rvert = S_x = -\frac{1}{2}\cdot 4\cdot 2+\frac{1}{2}\cdot(5-2)\cdot 6 = 5\ (\text{м}).$$

Для нахождения пути сложим площади треугольников АОВ и ВСД, считая их положительными:

$$S=\frac{1}{2}\cdot 4\cdot 2+\frac{1}{2}\cdot(5-2)\cdot 6 = 13\ (\text{м}).$$

Ответ: 5; 13.

3. Моторная лодка движется относительно воды в реке со скоростью 5 м/с под углом 60° к течению, скорость которого равна 3 м/с. Определите модуль скорости лодки относительно берега реки.

Дано:	
$\alpha=60^0$	
v'=5 м/с	
u =3 м/с	
$\lvert\vec{v}\rvert$ - ?	

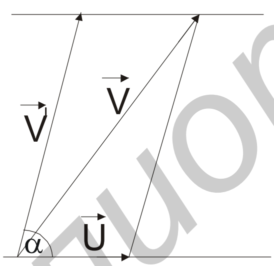


Рис.1.8

Решение

По закону сложения скоростей

$$\vec{v}=\vec{v}\,'+\vec{u}\,.$$

Модуль скорости лодки относительно берега реки, как видно из рис.1.8, равен

$$\lvert\vec{v}\rvert=\sqrt{v'^2+u^2+2uv'\cos\alpha}=\sqrt{2,5+9+2\cdot 5\cdot 3\cdot\frac{1}{2}}=7\ (\text{м/с}).$$

Ответ: 7.

4. Тело, имея начальную скорость $v_0 = 4$ м/с, прошло за шестую секунду равнопеременного движения путь S=2,9 м. Определите модуль ускорения тела.

Дано:	Решение
V_o = 4 м/с	Путь, пройденный телом за шестую секунду движения, равен
ΔS = 2,9 м	разности путей, пройденных телом за 6 и 5 с, т.е.
t = 1c	
$\lvert\vec{a}\rvert-?$	

$$\Delta S = S_6 - S_5 = (v_0t_6+\frac{at_6^{\,2}}{2}) - (v_0t_5+\frac{at_6^{\,2}}{2}),$$

откуда

$$a = 2\frac{v_0t-\Delta S}{t_5^{\,2}-t_6^{\,2}};\qquad a=-0,2\ (\text{м/с}^2).$$

Знак “ минус “ показывает, что тело двигалось замедленно с ускорением а = 0,2 м/с^2 , направленным противоположно скорости.

Ответ: 0,2.

5. Тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью 20 м/с. Определите время между моментами прохождения телом половины максимальной высоты подъема. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:
v_0 = 20 м/с

τ - ?

Решение

Направляем ось x координатной системы вверх. В верхней точке траектории скорость тела обращается в нуль. Отсюда

$$h_{\max} = \frac{v_0^{\ 2}}{2g}.$$

Время прохождения телом координаты $x = \frac{h_{\max}}{2}$ определяется из уравнения

$$\frac{h_{\max}}{2} = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

и имеет два значения

$$t_{1,2} = \frac{v_0 \pm \sqrt{v_0^{\ 2} - gh_{\max}}}{g} = \frac{v_0}{g}\left(1 \pm \frac{\sqrt{2}}{2}\right),$$

что соответствует двум моментам прохождения телом этой координаты при движении вверх и вниз. Следовательно,

$$\tau = t_2 - t_1 = \frac{v_0}{g}\sqrt{2}\ ; \quad \tau = 2{,}82\ \ (\mathrm{c}).$$

Ответ: 2,82.

6. Тело брошено с поверхности земли с начальной скоростью 10 м/с. Спустя 0,5 с после бросания квадрат скорости тела равен 65 м^2/с^2 . На какую максимальную высоту относительно Земли поднимется тело в процессе движения? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано
v_0 = 10 м/с
t = 0,5 м/с
v^2 = 65 м^2/с^2

h_{max} – ?

Решение

Зависимости проекций скоростей от времени выражаются уравнениями:

$$\mathrm{v_x} = \mathrm{v_0}\cos\alpha,$$

$$\mathrm{v_y} = \mathrm{v_0}\sin\alpha - \mathrm{gt}.$$

Модуль скорости в момент времени t равен

$$|\vec{v}| = \sqrt{v_x^{\ 2} + v_y^{\ 2}} = \sqrt{v_0^{\ 2} - 2v_0 gt\ \ \sin\alpha + g^2 t^2}\ .$$

После подстановки числовых значений в последнее выражение получаем, что $\sin\alpha$ = 0,6.

Максимальная высота подъема тела относительно земли определяется по формуле

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

После подстановки числовых значений получаем

$$h_{\max} = \frac{10^2 \cdot 0,6^2}{2 \cdot 10} = 1,8\ (\text{м}).$$

Ответ: 1,8.

7.При равномерном движении по окружности тело проходит 5 м за 2 с. Определите модуль центростремительного ускорения тела, если период обращения равен 5 с.

Дано:
$S = 5$м
$t = 2$с
$T = 5$с

$|\vec{a}_n| - ?$

Решение

Центростремительное ускорение тела определяем по формуле

$$a_n = \omega^2 R = \frac{2\pi}{T} v.$$

Учитывая, что $v = \frac{S}{t}$, получаем

$$a_n = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{S}{t}.$$

После подстановки числовых значений

$$a_n = \frac{3,14 \cdot 2}{5} \cdot \frac{5}{2} = 3,14\ (\text{м/с}^2).$$

Ответ: 3,14.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

Выберите правильный ответ:

А1. Модуль перемещения материальной точки, начавшей двигаться по окружности из точки А (рис. 1.9) и совершившей за 2,5 секунды 2,5 полных оборота, равен:

1) $5\pi R$; 2) $2R$; 3) 0; 4) R; 5) $2,5\pi R$

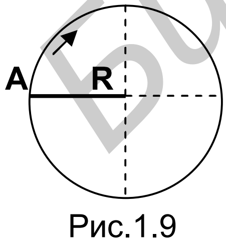


Рис.1.9

А 2.Если тело движется по окружности по часовой стрелке с возрастающей по величине линейной скоростью, то вектор ускорения тела в точке А (рис.1.10) имеет направление:

1) 1; 2) 2; 3) 3; 4) 4; 5) 5.

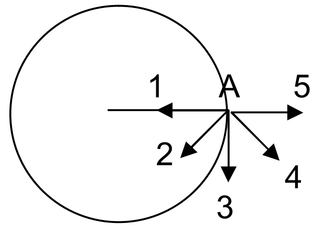


Рис.1.10

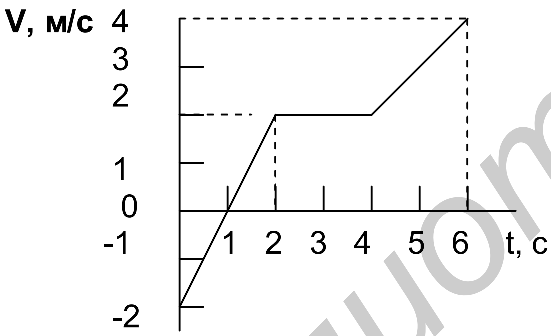
А 3. Тело брошено под углом к горизонту. Скорость тела в высшей точке траектории направлена:

1) вертикально вверх;
2) вертикально вниз;
3) горизонтально;
4) под тем же углом к горизонту;
5) равна нулю.

А 4. Изменение модуля скорости тела, двигающегося по окружности со скоростью, численно равной 5 м/с, при прохождении четверти окружности равно:

1) $\frac{5}{\sqrt{2}}$ м/с; 2) 10 м/с; 3) 0; 4) $5\sqrt{2}$ м/с; 5) 2,5 м/с.

А 5. Путь, пройденный телом, скорость которого изменяется с течением времени, как показано на графике (рис. 1.11), за 6 секунд, равен:



1) 12 м; 2) 10 м; 3) 20 м; 4) 24 м; 5) 8 м.

Рис.1.11

А 6. Если тело, начавшее двигаться равноускоренно из состояния покоя, за первую секунду движения проходит путь S, то за четвертую секунду оно пройдет путь:

1) 4S; 2) 8S; 3) 7S; 4) 5S; 5) 3S.

Дополните:

В 1. Один бегун пробегает первую половину дистанции со скоростью 4 м/с, а вторую – со скоростью 6 м/с. Другой бегун первую половину времени, затраченного на всю дистанцию, пробегает со скоростью 4 м/с, а другую – со скоростью 6 м/с. Средняя скорость второго бегуна больше средней скорости первого на _________ м/с?

В 2. При движении материальной точки вдоль прямой проекция вектора скорости на направление движения меняется по закону v = (4-2t) м/с, где t – время в секундах. Путь, пройденный точкой в интервале времени от t = 1 с до t = 3 с, равен ________м.

В 3. С высокой башни одновременно бросают два тела. Начальная скорость первого тела равна 20 м/с и направлена вертикально вверх. Второе тело бросают вертикально вниз. Если спустя 2 с, расстояние между телами равно 50 м, то модуль начальной скорости второго тела равен_________м/с.

В 4. График X-координаты первого тела изображается прямой, проходящей через точки (0,0) и (5,5), а второго – через точки (0,3) и (4,5) (время в секундах, X в метрах). Отношение модулей скоростей первого и второго тела равно _________.

В 5. Теплоход движется со скоростью 10 м/с вдоль берега озера, а моторная лодка движется перпендикулярно берегу. Если скорость лодки относительно теплохода равна 20 м/с, то ее скорость относительно воды__________м/с.

В 6. Тело брошено с обрыва в горизонтальном направлении со скоростью 10 м/с. Высота обрыва равна 20 м. Модуль вектора перемещения тела за время падения равен _________м. Сопротивлением воздуха пренебречь.

В 7. Тонкий обруч катится без проскальзывания по горизонтальной поверхности. Скорость центра обруча относительно земли равна 3 м/с. Модуль скорости точки обруча, для которой радиус составляет с горизонтом угол 30^o, относительно земли равен ___________м/с.

В 8. Баскетболист бросает в прыжке мяч в кольцо. Скорость мяча сразу после броска равна 10 м/с и направлена под углом 30^o к горизонту. Если мяч долетел до кольца за 1 с, то модуль скорости, с которой он попал в кольцо, равен__________м/с. Сопротивлением воздуха пренебречь.

В 9. Линейная скорость точек на окружности колеса 10 м/с, а точек, находящихся на 20 см ближе к центру – 5 м/с. За время, равное 6,28 с, колесо сделает __________оборотов.

В 10. Самолет летит по окружности с постоянной угловой скоростью 0,1 рад/с, пролетая 18 км за 1 мин. Модуль центростремительного ускорения самолета равен __________м/с^2.

ТЕМА 2. ДИНАМИКА

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Первый закон Ньютона: тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела.

Первый закон Ньютона устанавливает: а) равноправие состояния покоя и равномерного прямолинейного движения; б) факт существования инерциальных систем отсчета.

Второй закон Ньютона: ускорение тела прямо пропорционально равнодействующей всех сил, действующих на тело, обратно пропорционально массе тела и направлено вдоль равнодействующей сил:

$$\vec{a} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} \vec{F}_i}{m}.$$

Второй закон Ньютона выполняется только в инерциальных системах отсчета.

Импульс тела $\vec{p} = m\vec{v}$.

Приращение импульса тела равно силе, действующей на тело, умноженной на время ее действия (формулировка второго закона Ньютона):

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

Если на систему взаимодействующих тел действуют кроме внутренних и внешние силы (например, силы трения, электрические или магнитные силы), то в этом случае справедливо соотношение

$$\sum_{i=1}^{k} \Delta\vec{p}_i = \sum_{i=1}^{k} \vec{F}_i\Delta t.$$

Третий закон Ньютона: силы F_1 и F_2, с которыми тела действуют друг на друга, равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны (рис .2.1).

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

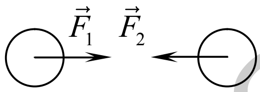


Рис .2.1

Особенности сил взаимодействия: 1) силы приложены к разным телам и поэтому не могут уравновешивать друг друга; 2) они всегда возникают попарно и имеют одну и ту же природу. Никакие внутренние взаимодействия не могут сообщить ускорение системе как целому. Пример нарушения третьего закона Ньютона:1) система из двух удаляющихся друг от друга заряженных частиц, скорости которых взаимно перпендикулярны; 2) система двух электрически нейтральных частиц массой m_1 и m_2, удаленных друг от друга на расстояние r и движущихся со скоростью, близкой к скорости света.

Закон всемирного тяготения: две материальные точки притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

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

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

Сила тяжести: $\vec{F}_\text{т}$ - сила, действующая со стороны Земли на тело и сообщающая телу ускорение $\vec{g}$.

В системе отсчета, связанной с Землей (неинерциальная система отсчета), существует небольшое различие между силой тяжести и гравитационной силой (гравитационная сила является равнодействующей силы тяжести и центробежной силы инерции).

Различие мало, поэтому в первом приближении силу тяжести можно считать равной силе, с которой тело притягивается к Земле.

<u>Ускорение свободного падения</u> у поверхности Земли

$$g_0 = \frac{GM}{R^2},$$

где M - масса Земли; R -ее радиус. На высоте h над поверхностью Земли

$$g_h = \frac{GM}{(R+h)^2} = g_0\left(\frac{R}{R+h}\right)^2.$$

Первая космическая скорость :

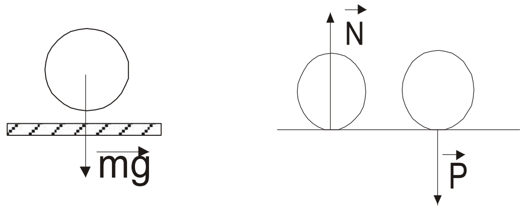
а) Земли: $v_I = \sqrt{g_з R_з}$ $(R_з \approx R_{орб})$,

где $R_з$ - радиус Земли, $g_з = \frac{GM_з}{R_з{}^2}$;

б) планеты:

$$v_{I\,пл} = \sqrt{G\frac{M_{пл}}{R_{орб}}};\; g_{пл} = G\frac{M_{пл}}{R^2{}_{орб}};\; (R_з \neq R_{орб}).$$

<u>Вес тела</u> - это сила, с которой тело действует на подвес или опору вследствие гравитационного притяжения к Земле.



$\vec{P} = -\vec{N}$; $|\vec{P}| = |\vec{N}|$ всегда;

$\vec{F}_т$ и $\vec{N}$ приложены к телу,

вес $\vec{P}$ - к опоре (рис.2.2,а,б).

Рис.2.2

Вес тела $\vec{P}$ и сила тяжести $\vec{F}_т$ равны друг другу, но приложены к разным телам: вес - к опоре (подвесу), сила тяжести - к самому телу (см. рис .2.2). Когда подвес или опора (следовательно и тело) покоится относительно Земли (или движется без ускорения), то справедливо равенство $\vec{P} = \vec{F}_т = m\vec{g}$.

Если же подвес (опора) движется с ускорением, то $\vec{P} = m(\vec{g} \pm \vec{a})$.

Состояние невесомости - это состояние тела, когда его вес равен нулю (a=g).

Различия между $\vec{F}_т$ и $\vec{P}$: 1) приложены к разным телам; 2) различна природа сил: $\vec{F}_т$ - гравитационная, $\vec{P}$ - электромагнитная; 3) $\vec{F}_т$ не зависит от характера движения; $\vec{P}$ - зависит.

<u>Сила трения покоя</u> имеет максимальное значение

$$\vec{F}_{тр\,max} = \mu\vec{N},$$

где μ - коэффициент трения; $\vec{N}$ - сила нормальной реакции опоры.

Рис. 2.3

<u>Сила трения скольжения</u>

До тех пор пока модуль горизонтальной внешней силы $\vec{F}_{внеш}$ не превзойдет значения μN (рис. 2.3), скольжения тела по поверхности не возникает – сила $\vec{F}_{внеш}$ уравновешивается силой трения покоя, которая автоматически принимает значение, равное по модулю $|\vec{F}_{внеш}|$. При достижении значения, равного μN, возникает скольжение и сила трения покоя переходит в силу трения скольжения. Итак, сила трения покоя принимает значения от 0 до μN .

Силы сопротивления при движении твердых тел в жидкостях и газах: 1) отсутствует сила трения покоя, $F_c = 0$; 2) $F_c = \alpha v$ и $F_c = \beta v^2$, где v - скорость движения тела; α и β - коэффициенты, которые зависят от свойств жидкости или газа и от формы и размеров движущегося тела.

Закон Гука

При упругой деформации растяжения (сжатия) сила упругости пропорциональна вектору удлинения (сжатия) и противоположна ему по направлению.

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

где k - коэффициент упругости. Когда говорят о пружине или резиновом жгуте, то k называют жесткостью.

Если $\vec{F}$ - приложенная сила, l_0 - начальная длина тела; S - площадь его поперечного сечения, то

$$F = \frac{ES}{l_0}\Delta l ; \quad \mathrm{k} = \frac{\mathrm{ES}}{\mathrm{l_0}} ,$$

где E - модуль Юнга.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. К покоящемуся на горизонтальной поверхности телу приложена равномерно возрастающая сила, направленная под углом 30° к горизонту. Определите модуль ускорения тела в момент отрыва от поверхности.

Дано :

$\alpha = 30^0$

$|\vec{a}| - ?$

Решение

Вектор ускорения тела при движении по горизонтальной поверхности вплоть до точки отрыва тела от поверхности направлен горизонтально. В процессе движения тела на него действуют следующие силы:

равномерно возрастающая сила $\vec{F}$, сила тяжести $m\vec{g}$, сила нормальной реакции опоры $\vec{N}$ и сила трения скольжения $\vec{F}_{\text{тр}}$ (рис. 2 .4). Тогда второй закон Ньютона запишется:

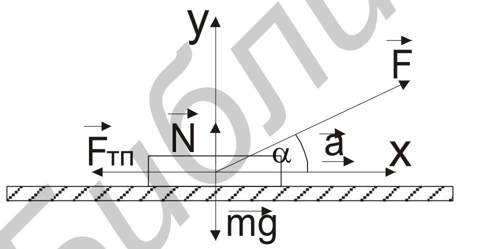


Рис. 2.4

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F} + \vec{N} + F_{\text{тр}} . \quad (1)$$

Спроектируем векторное уравнение на оси X,У:

$$\text{для } x : ma = F\cos\alpha - F_{\text{тр}} . \quad (2)$$

$$\text{для } y : 0 = F\sin\alpha - mg + N. \quad (3)$$

Из уравнения (3) модуль силы нормальной реакции опоры N:

$$N = mg - F\sin\alpha \ . \quad (4)$$

Отсюда видно, что с ростом F сила нормальной реакции опоры и, следовательно, сила трения скольжения ($F_{\text{тр}} = \mu N$) уменьшаются. В момент отрыва тела от поверхности N =0 и $F_{\text{тр}} = 0$. Таким образом, в точке отрыва уравнения (2) и (3) будут иметь следующий вид:

$$\left.\begin{array}{r} ma = F\cos\alpha \\ 0 = F\sin\alpha - mg \end{array}\right\},$$

где α - модуль ускорения тела в момент отрыва от поверхности.

Тогда получаем: $F = \dfrac{mg}{\sin\alpha}$ и $a = g \cdot ctg\,\alpha$; $a = 10\sqrt{3} = 17{,}3$ (м/с^2).

Ответ: 17,3.

2. На какую максимальную высоту подпрыгнет мяч после абсолютно упругого удара о горизонтальный пол, если модуль средней силы, действующей на мяч со стороны пола, равен 14 Н? Время контакта мяча с полом составляет 0,8 с. Масса мяча равна 0,4 кг. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:
$N_{cp} = 14H$
$\Delta t = 0{,}8\,c$
$m = 0{,}4$ кг
$h - ?$

Решение

За время контакта мяча с горизонтальным полом (рис .2.5) происходит изменение импульса мяча под действием силы тяжести $m\vec{g}$ и средней силы $\vec{N}_{\text{ср}}$, действующей на мяч со стороны пола,

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}\,' - \vec{p} = (m\vec{g} + \vec{N}_{\text{ср}})\Delta t, \qquad (1)$$

где $\vec{p}\,'$ - импульс мяча в момент отрыва от пола; $\vec{p}$ - импульс мяча к моменту начала контакта с полом. Направление векторов импульсов и действующих сил показано на рис. 2.5.

Спроектировав уравнение (1) на вертикальное направление (ось У), получаем:

$$p' + p = (N_{\text{ср}} - mg)\Delta t\,. \qquad (2)$$

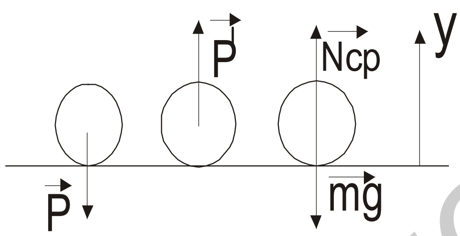


Рис.2.5

По условию задачи удар мяча о поверхность является упругим, т.е. $p' = p$. Используя это условие, можно определить скорость мяча в момент отрыва от пола:

$$v' = \frac{(N_{cp} - mg)\Delta t}{2m}\,. \qquad (3)$$

Ускорение мяча после отрыва от пола равняется ускорению свободного падения, т. к. по условию задачи сопротивление воздуха не учитывается. Зная начальную скорость мяча v', находим максимальную высоту подъема:

$$h = \frac{v'^2}{2g} = \frac{(N_{cp} - mg)^2\Delta t}{8m^2 g}\,. \qquad (4)$$

После подстановки числовых значений в уравнение (4) получаем: h =5 (м).

Ответ: 5.

3. Тело массой 2 кг движется по горизонтальной поверхности под действием силы, направленной горизонтально. Определите модуль силы взаимодействия тела с поверхностью, если коэффициент трения скольжения равен 1.

Дано:
$m = 2$ кг
$\mu = 1$

$\left|\vec{F}_{вз}\right|$ - ?

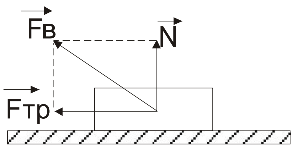


Рис. 2.6

Решение

Сила взаимодействия тела с поверхностью имеет две составляющие: нормальную (сила нормальной реакции опоры $\vec{N}$) и касательную к поверхности (сила трения $\vec{F}_{тр}$) (рис .2.6), т.е.

$$\vec{F}_{вз} = \vec{N} + \vec{F}_{тр}. \qquad (1)$$

Из треугольника сил следует, что модуль взаимодействия тела с поверхностью определяется выражением

$$\left|\vec{F}_{вз}\right| = \sqrt{N^2 + F_{тр}^2}. \qquad (2)$$

Учитывая, что по условию задачи тело движется по горизонтальной поверхности под действием горизонтальной силы, имеем:

$$N = mg; \quad F_{тр} = \mu N = \mu mg. \qquad (3)$$

Подставляя выражение (3) в (2), получаем:

$$F_{вз} = mg\sqrt{1+\mu^2}; \quad F_{вз} = 20\sqrt{2} = 28{,}2 \text{ (Н).}$$

Ответ: 28,2.

4. Во сколько раз модуль скорости спутника, вращающегося по круговой орбите на высоте, равной радиусу планеты, меньше первой космической скорости для этой планеты?

Дано:
$h = R$

$\dfrac{v_1}{v_2}$ - ?

Решение

Центростремительное ускорение спутнику сообщает сила притяжения между планетой и спутником. Поэтому

$$\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv_1^2}{R}, \quad \frac{GMm}{(R+h)^2} = \frac{mv_2^2}{R+h},$$

где m - масса спутника; M - масса планеты. Из этой системы уравнений получаем

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{R+h}{R}} = \sqrt{2} = 1{,}41.$$

Ответ: 1,41.

5 .Определите коэффициент жесткости пружины, составленной из двух последовательно соединенных пружин с коэффициентами жесткости 300 и 200 Н/м соответственно.

Дано:
$k_1 = 300$ Н/м
$k_2 = 200$ Н/м

---

k - ?

Решение

При последовательном соединении пружин абсолютная деформация составной пружины равна сумме абсолютных деформаций пружин, входящих в её состав, т.е.

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2,$$

а сила упругости одинакова вдоль всей пружины. Тогда $\dfrac{F}{k} = \dfrac{F}{k_1} + \dfrac{F}{k_2}$, откуда $\mathrm{k} = \dfrac{\mathrm{k}_1 \mathrm{k}_2}{\mathrm{k}_1 + \mathrm{k}_2}$; $k = 120$ (Н/м).

Ответ: 120.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Выберите правильный ответ:

А 1. Модуль равнодействующей двух сил F_1=F_2=3Н, направленных под углом $\alpha = 120^0$ друг к другу, равен:

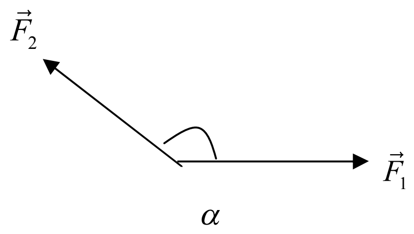


Рис.2.7

1) $3\sqrt{3}H$; 2) *4,5Н*; 3) $\sqrt{3}H$; 4) *3Н*; 5) $\dfrac{3}{2}\sqrt{3}$ *Н.*

А 2. Вес человека массой 70 кг, опускающегося на лифте в лунную шахту с ускорением $\dfrac{2}{3}$ м/с^2, равен (ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле):

6) 70Н; 2) 490Н; 3)163,3Н; 4) 49Н; 5) 700Н.

А 3. Если тело массой 4 кг равномерно соскальзывает по наклонной плоскости и при этом на него действует сила трения 20 Н, то коэффициент трения между телом и плоскостью равен:

1) $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$; 2) $\dfrac{1}{2}$; 3) $\dfrac{\sqrt{2}}{2}$; 4) $\dfrac{\sqrt{3}}{3}$; 5) $\dfrac{\sqrt{2}}{3}$.

А 4. Зависимость периода обращения Т искусственного спутника планеты, двигающегося по круговой орбите на высоте над поверхностью, много меньшей радиуса планеты, от средней плотности вещества имеет вид:

1) $T \sim \sqrt{\rho}$; 2) $T \sim \rho$; 3) $T \sim \dfrac{1}{\rho}$; 4) $T \sim \dfrac{1}{\sqrt{\rho}}$; 5) $T \sim \rho^2$.

А 5. Импульс тела массой 1 кг, движение которого описывается уравнением $x = 1 + 3t + 2t^2$ м, через 1 секунду после начала движения равен:

1) $3\ \text{кг} \cdot \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; 2) $5\ \text{кг} \cdot \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; 3) $7\ \text{кг} \cdot \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; 4) $12\ \text{кг} \cdot \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$; 5) $18\ \text{кг} \cdot \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

Дополните:

В 1. Тело скользит по наклонной плоскости без трения. Угол наклона плоскости к горизонту равен 30^0. Если угол наклона плоскости увеличить вдвое, то модуль ускорения тела увеличится в ______ раз.

В 2. К телу массой 1 кг, лежащему на горизонтальной поверхности, приложена горизонтальная сила. В первом случае модуль этой силы равен 0,5 Н, во втором – 2 Н. Если коэффициент трения равен 0,1, то отношение модуля силы трения во втором случае к модулю силы трения в первом случае равно _______.

В 3. Два груза, связанных между собой нитью, движутся вниз с ускорением, вдвое большим ускорения свободного падения. Масса нижнего груза в три раза больше массы верхнего груза. Натяжение нити, за которую тянут оба груза, больше натяжения нити, связывающей грузы в _______раз.

В 4. Шарик, прикрепленный к нити, движется равномерно по окружности в горизонтальной плоскости (конический маятник). Расстояние от точки подвеса до горизонтальной плоскости равно 5 м. Угловая скорость шарика равна______ рад/с.

В 5. Чтобы в верхней точке выпуклости моста давление на мост отсутствовало, мотоциклист должен двигаться по мосту, имеющему радиус кривизны 40 м, со скоростью________ м/с.

В 6. Коэффициент жесткости пружины равен 300 Н/м. Коэффициент жесткости пружины, сделанной из того же материала с тем же поперечным сечением , но длиной в 3 раза большей, чем у первой, равен _________Н/м.

В 7. Тело массой 0,2 кг движется по окружности с постоянной линейной скоростью 1,5 м/с. Модуль изменения импульса тела за время, равное половине периода, равен __________Нс.

В 8. Если при частоте выстрелов 10 $с^{-1}$ и массе пули 10 г развивается средняя реактивная сила, равная по модулю 80 Н, то модуль скорости, с которой пули вылетают из ствола пулемета, равен __________м/с.

В 9. Первый спутник вращается по круговой орбите на высоте, равной радиусу планеты, а второй – на высоте в 7 раз большей. Скорость первого спутника больше скорости второго в __________ раз.

В 10. Ускорение свободного падения на высоте, равной радиусу Земли, равно ____________$м/с^2$.

ТЕМА 3. ЭЛЕМЕНТЫ СТАТИКИ. ЖИДКОСТИ И ГАЗЫ
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

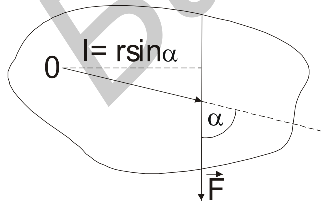


Рис.3.1

Моментом силы относительно точки на плоскости называют произведение модуля силы $\vec{F}$ на ее плечо l:

$$M = F \cdot l = Fr\sin\alpha .$$

Плечом силы называют длину перпендикуляра, опущенного из точки О (рис. 3.1) на прямую, вдоль которой действует сила.

Моменты сил, вращающих тело по часовой стрелке, считаются положительными, а моменты сил, вращающих тело против часовой стрелки, - отрицательными.

Условия равновесия твердого тела

1. При отсутствии оси вращения векторная сумма всех сил, приложенных к телу, должна быть равна нулю:

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = 0,$$

где n - число сил.

2. Алгебраическая сумма моментов всех сил вращения равна нулю (правило моментов), т.е.

$$\sum_{i=1}^{n} M_i = 0,$$

где n - число моментов.

Сложение параллельных сил.

Равнодействующая двух параллельных сил (рис. 3.2), направленных в одну сторону, параллельна им, направлена в ту же сторону, равна их сумме и проходит через точку, которая делит прямую, соединяющую точки приложения составляющих сил, в отношении, обратном отношению величин этих сил:

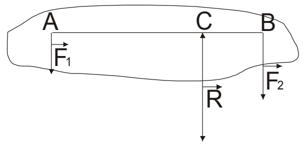
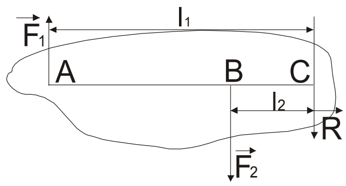


Рис.3.2

$$R = F_1 + F_2; \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}; \quad \vec{F}_1 \parallel \vec{R} \parallel \vec{F}_2.$$

Равнодействующая двух параллельных сил, направленных в разные стороны (антипараллельных сил) (рис .3.3), параллельная им, направлена в сторону большей силы и равна разности обеих сил. Она проходит через точку на продолжении прямой, соединяющей точки приложения слагаемых сил, расстояния от которой до этих точек обратно пропорциональны модулям сил.



$$R = F_2 - F_1; \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}; \quad \vec{F}_1 \parallel \vec{R} \parallel \vec{F}_2.$$

Рис.3.3

Давление

Сила нормального давления, или, просто, сила давления (рис. 3.4) равна

$$F_{н.д} = F \cdot \cos\alpha,$$

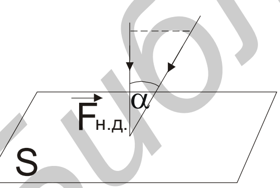


Рис. 3.4

где α - угол между вектором $\vec{F}$ и нормалью к площадке.

Давлением называется скалярная величина, равная отношению модуля силы давления к площади поверхности, на которую действует эта сила:

$$P = \frac{F_{н.д}}{S} = \frac{F\cos\alpha}{S}.$$

Гидростатическое давление внутри жидкости на глубине h:

$$P = \rho g h,$$

где ρ - плотность жидкости.

Полное давление внутри покоящейся жидкости на глубине h:

$$P = P_0 + \rho g h,$$

где P_0 - давление на открытой поверхности.

Закон Паскаля: жидкости и газы передают оказываемое на них давление равномерно по всем направлениям.

Закон сообщающихся сосудов:

а) однородная жидкость устанавливается в сообщающихся сосудах на одном и том же уровне:

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho; \quad h_1 = h_2 = h;$$

б) высоты взаимно уравновешенных столбов разнородных жидкостей, находящихся в сообщающихся сосудах, обратно пропорциональны плотностям жидкостей: $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$.

Закон Архимеда

На поверхность тела, погруженного в жидкость (или газ), действуют силы давления. На боковые стороны тела действуют силы, стремящиеся сжать его. Эти силы взаимно уравновешиваются. Сила, с которой жидкость (газ) действует на нижнюю грань тела (например бруска), направлена вверх и равна

$$F_1 = P_1 S; \quad P_1 = \rho_ж g(h + H) + P_0,$$

где h - глубина погружения тела; H - высота грани тела, S -площадь основания тела; $\rho_ж$ - плотность жидкости (газа); P_0 - атмосферное давление.

Сила, действующая на верхнюю грань, направлена вниз и равна

$$F_2 = P_2 S; \quad P_2 = \rho_ж gh + P_0.$$

Результирующая сила, действующая со стороны жидкости (газа) на брусок, называется выталкивающей силой. Она направлена вверх и равна

$$F_в = F_1 - F_2 = \rho_ж gHS = \rho_ж g V_{в.ж},$$

где $V_{в\,ж}$ - объем вытесненной жидкости (газа) в объеме погруженной части тела.

Таким образом, на тело, погруженное в жидкость (газ), действует выталкивающая сила, равная весу жидкости (газа) в объеме погруженной части тела, направленная вверх и приложенная в центре тяжести этого объема жидкости или газа (закон Архимеда).

Тело плавает в жидкости (газе), если выталкивающая сила равна по модулю действующей на тело силе тяжести mg (m - масса тела):

$$F_B = F_A = mg = \rho_т g V_т; \quad \rho_ж g V_{в.ж} = \rho_m g V_m; \quad \frac{\rho_т}{\rho_ж} = \frac{V_{в.ж}}{V_т},$$

где $\rho_т$ и $V_т$ - плотность и объем тела.

Условие плавания тела в жидкости:

$$\rho_m \le \rho_ж \quad \text{или} \quad \frac{\rho_т}{\rho_ж} \le 1 \quad (\text{т.к. } V_{в.ж} \le V_т).$$

Иногда тело, сила тяжести которого меньше веса жидкости в объеме тела, может лежать на дне сосуда, заполненного этой жидкостью, не всплывая на поверхность. Это возможно тогда, когда жидкость не проникает между телом и дном сосуда и, следовательно, на нижнюю поверхность тела не действует сила давления жидкости. Сила давления жидкости на верхнюю поверхность тела прижимает его ко дну. Если тело немного приподнять, жидкость проникает под его нижнюю поверхность, возникает выталкивающая сила и тело всплывает.

В ускоренно движущейся системе отсчета (например: тело, погруженное в жидкость или газ, движется вниз относительно неподвижной системы отсчета, связанной с Землей, с ускорением $\vec{a}$) выталкивающая сила равна $F_B = \rho(g-a)V$. В невесомости (a=g) выталкивающая сила равна нулю.

<u>Гидравлический пресс</u>:

$F_2 = F_1\dfrac{S_2}{S_1}$, где F_2 - сила, действующая на тело со стороны большого поршня с площадью поперечного сечения S_2; F_1 - сила, действующая на малый поршень с площадью поперечного сечения S_1.

<u>Уравнение неразрывности</u>:

$v_1S_1 = v_2S_2$, где v_1 и v_2 - скорости течения жидкости в трубках с площадью поперечного сечения S_1 и S_2.

<u>Уравнение Бернулли</u>:

$P_1 + \rho g h_1 + \dfrac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \rho g h_2 + \dfrac{\rho v_2^2}{2}$, где P_1 и P_2 - давление в различных точках движущейся жидкости, h_1 и h_2 - высота этих точек, отсчитанная от общего уровня, v_1 и v_2 - скорость в этих точках.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Однородная лестница массой 10 кг прислонена к гладкой вертикальной стене. Коэффициент трения лестницы о пол равен 0,5.

Чему равен в градусах наибольший угол, образуемый лестницей с вертикальной стеной, при котором лестница находится еще в равновесии?

Дано:
m = 10 кг
μ = 0,5

α - ?

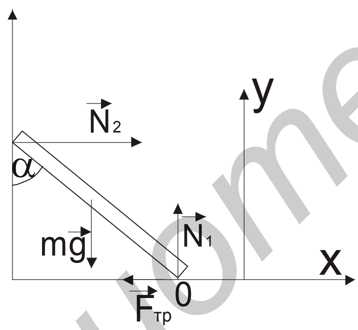


Рис .3.5

Решение

На лестницу действуют: сила тяжести $m\vec{g}$, силы нормальной реакции стены и пола $\vec{N}_2$ и $\vec{N}_1$, сила трения покоя $\vec{F}_{тр}$ (рис .3.5).

Скольжение лестницы можно рассматривать как совокупность двух движений: вращательного (около точки О) и поступательного (в направлении против оси X). Первое условие равновесия лестницы в векторной форме имеет вид

$$m\vec{g} + \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{F}_{тр} = 0. \qquad (1)$$

Спроектируем полученное уравнение на выбранные направления осей X и У:

$$\left.\begin{aligned} N_2 - F_{тр} &= 0 \\ N_1 - mg &= 0 \end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

Напишем второе условие равновесия лестницы относительно точки О:

$$mg\cdot\frac{l}{2}\sin\alpha = N_2 l\cos\alpha, \qquad (3)$$

где l - длина лестницы; $\dfrac{l}{2}\sin\alpha$ и $l\cos\alpha$ - плечи сил $m\vec{g}$ и $\vec{N}_2$ соответственно, а моменты сил $\vec{F}_{тр}$ и $\vec{N}_1$ равны нулю (плечи сил равны нулю).

Из выражения (3) $\operatorname{tg}\alpha = \frac{2N_2}{mg}$.

Учитывая из выражения (2), что $N_2 = F_{тр} = \mu mg$ и $N_1 = mg$, получаем:
$\operatorname{tg}\alpha = 2\mu;\quad \operatorname{tg}\alpha = 1;\quad \alpha = 45^0$.

Ответ: 45.

2. Однородная плоская пластинка имеет форму круга, из которого вырезан круг вдвое меньшего радиуса, касающийся первого круга. Определите положение центра масс пластинки, если радиус круга 12 см.

Дано
R = 0,12 м
x - ?

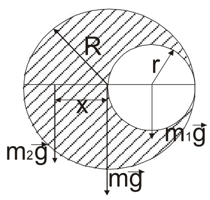


Рис.3.6

Решение

Если вставить вырезанную часть пластинки на прежнее место, то силу тяжести $m\vec{g}$ (рис.3.6), действующую на все тело, можно представить как равнодействующую двух сил: силы тяжести $m_1\vec{g}$, действующей на вырезанную часть, и силы тяжести $m_2\vec{g}$, действующей на оставшуюся часть (круг с отверстием). Пластинка будет находиться в равновесии относительно оси, проходящей через точку О. Запишем условие равновесия системы относительно указанной оси:

$$m_1 g r = m_2 g x,$$

где r и x - плечи сил тяжести $m_1\vec{g}$ и $m_2\vec{g}$,

$$x = \frac{m_1}{m_2}\cdot r.$$

Массы однородных пластинок одинаковой толщины равны:
$m = \rho S h = \rho\pi R^2 h;\quad m_1 = \rho\pi r^2 h;\quad m_2 = m - m_1 = \rho\pi h(R^2 - r^2)$,
где ρ - плотность материала пластинки; S - площадь сечения всей пластинки; S_1 - площадь сечения выреза; h - толщина пластинки.

Учитывая это и условие задачи ($r = \frac{R}{2}$), найдем:

$$x = \frac{r^3}{R^2 - r^2} = \frac{R^3}{8\left(R^2 - \frac{R^2}{4}\right)} = \frac{R}{6};\qquad x = 0,02 \text{ (м)}.$$

Ответ: 0,02.

3. Латунная деталь массой 1 кг, подвешенная к динамометру, опущена в воду. Показания динамометра 8,5 Н. Найдите массу меди, содержащейся в латуни. Плотность меди $8,8\cdot10^3$ кг/м^3, цинка $7,2\cdot10^3$ кг/м^3.

Дано:
m = 1кг
$\rho_0 = 10^3$ кг/м^3
$\rho_м = 8,8\cdot10^3$кг/м^3
$\rho_ц = 7,2\cdot10^3$ кг/м^3
F = 8,5Н
$m_М$ - ?

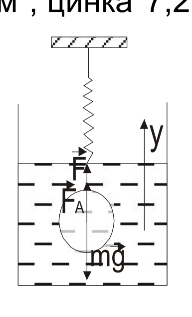


Рис. 3.7

Решение

Запишем условие равновесия сил и спроектируем на ось У (рис. 3.7) Тогда:

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F} = 0;$$

$$\left.\begin{aligned} \text{для } y: F + F_A - mg = 0 \\ F_A = mg - F \end{aligned}\right\}. \qquad (1)$$

С другой стороны, силы Архимеда

$$F_A = \rho_0 g(V_м + V_ц) \quad , \qquad (2),$$

где $V_м$ и $V_ц$ - объем меди и цинка в латунной детали, ρ_0 - плотность воды. Приравняв друг к другу правые части выражений (1) и (2), получим

$$mg - F = \rho_0 g\,(V_м + V_ц)\,.$$

Для упрощения дальнейшего решения найдем численное значение объема детали:

$$V_м + V_ц = \frac{mg - F}{\rho_0 g} = 1{,}5 \cdot 10^{-4}\ (м^3)\,.$$

После преобразований получаем:

$$V_м + V_ц = \frac{m_м}{\rho_м} + \frac{m_ц}{m_ц}; \quad m_ц = m - m_м; \quad V_м + V_ц = \frac{m_м}{\rho_м} + \frac{m - m_ц}{\rho_ц};$$

$$\frac{m_м}{\rho_м} - \frac{m_м}{\rho_ц} = (V_м + V_ц) - \frac{m}{\rho_ц}\,. \qquad (3)$$

Подставив числовые значения в выражение (3), получаем

$$m_м \cdot \frac{\rho_ц - \rho_м}{\rho_ц \rho_м} = \frac{mg - F}{\rho_0 g} - \frac{m}{\rho_ц}\,.$$

$m_м = 0{,}4$ (кг).

Ответ: 0,4.

4. Открытая с двух концов трубка длиной 76 см до половины погружена в ртуть. Определите в сантиметрах длину столбика ртути в трубке, если плотно закрыв верхнее отверстие, вынуть трубку из ртути. Атмосферное давление равно 76 см рт. ст. Температура постоянна.

Дано:

$l = 76$ см

$\rho_0 = 76$ см рт. ст.

---

x - ?

Решение

При вытаскивании трубки с плотно закрытым верхним отверстием часть ртути выльется из трубки, а часть останется. Это связано с тем, что при выливании ртути давление воздуха, изолированного между верхним закрытым концом трубки и поверхностью оставшейся ртути, с ростом объема уменьшается, и разность сил давления атмосферы и воздуха в трубке уравновешивает силу тяжести, действующую на оставшийся в трубке столбик ртути. Условие равновесия столбика ртути имеет вид

$$\vec{F}_0 + m\vec{g} + \vec{F}_1 = 0\,,$$

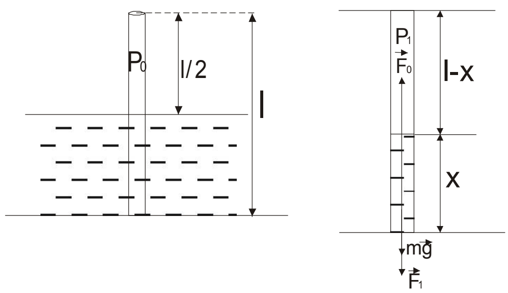
где $\vec{F}_0$ - сила атмосферного давления; $\vec{F}_1$ - сила давления воздуха в трубке и $m\vec{g}$ - сила тяжести, действующая на оставшуюся в трубке ртуть (рис.3.8, б).

Спроектировав условие равновесия на вертикальное направление, имеем

$$P_0 S - mg - P_1 S = 0\,, \qquad (1)$$

где P_0 - атмосферное давление; P_1 - давление воздуха в трубке; S - площадь поперечного сечения трубки.

При плотно закрытом верхнем отверстии масса воздуха в трубке остается постоянной, т.е процесс расширения воздуха является изотермическим. На основании закона Бойля-Мариотта а) б)



$$P_0\frac{l}{2}S = P_1(l-x)S, \qquad (2)$$

отсюда

$$P_1 = \frac{P_0 l}{2(l-x)}, \qquad (3)$$

Рис. 3.8

где x - длина столбика ртути, оставшейся в трубке.

Массу столбика ртути в трубке выражаем через плотность ртути и её объем:

$$m = \rho_{рт}\cdot xS. \qquad (4)$$

Атмосферное давление задано в условии задачи в см рт. ст., т.е. соответствует гидростатическому давлению столба ртути высотой $l_0 = 76$ см $(l_0 = l)$:

$$P_0 = \rho_{рт} g\cdot l_0 = \rho_{рт} g\cdot l. \qquad (5)$$

Подставляя полученные выражения (3), (4) и (5) для P_1, m, ρ_0 в условие равновесия (1) столбика ртути, получаем

$$l - x - \frac{2l^2}{2(l-x)} = 0. \qquad (6)$$

Это уравнение сводится к квадратному уравнению относительно неизвестной высоты x столбика ртути в трубке:

$$2x^2 - 4lx + l^2 = 0. \qquad (7)$$

Решая квадратное уравнение (7), получаем:

$$x_1 = \frac{l(2-\sqrt{2})}{2}; \quad x_2 = \frac{l(2+\sqrt{2})}{2}. \qquad (8)$$

Второй корень уравнения (8) не имеет физического смысла, т.к. $x_2 > l$. В результате для искомой длины столбика ртути, оставшейся в трубке, имеем:

$$x = \frac{l(2-\sqrt{2})}{2} = \frac{76(2-1{,}41)}{2}; \quad x = 22{,}42 \text{ (см).}$$

Ответ: 22,42.

5. В колено U - образной трубки площадью 1 см^2, содержащей ртуть плотностью 13,6 г/см^3, налили 7,2 г воды плотностью 1 г/см^3 и 20 г бензина плотностью 0,8 г/см^3. На сколько сантиметров уровень жидкости в одном колене выше, чем в другом?

Дано:
$S = 1$ см^2
$\rho = 13{,}6$ г/см^3
$\rho_1 = 1$ г/см^3
$m_1 = 7{,}2$ г
$\rho_2 = 0{,}8$ г/см^3
$m_2 = 20$ г

Δh - ?

Решение

При вливании в левое колено U - образной трубки воды и бензина уровень ртути в правом колене повышается, чтобы скомпенсировать добавочное гидростатическое давление (рис.3.9).

Проведем горизонтальную плоскость OO', совпадающую по высоте с уровнем ртути в левом колене. Давление в точках U-образной трубки, принадлежащих этой плоскости, одинаково, т.к. ниже находится только ртуть. Таким образом, гидростатическое давление столба воды h_1 и столба бензина h_2 должно равняться гидростатическому давлению столба ртути высотой x, находящемуся выше уровня OO':

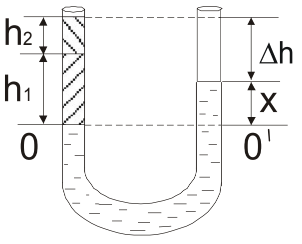


Рис. 3.9

$$\rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 = \rho g x .$$

Подставляя в последнее равенство

$$h_1 = \frac{m_1}{\rho_1 S} \text{ и } h_2 = \frac{m_2}{\rho_2 S},$$

получаем выражение для высоты x столба ртути:

$$x = \frac{m_1 + m_2}{\rho S}.$$

Зная h_1, h_2, и x, легко найти искомую величину Δh:

$$\Delta h = h_1 + h_2 - x = \frac{m_1}{\rho_1 S} + \frac{m_2}{\rho_2 S} - \frac{m_1 + m_2}{\rho \cdot S}; \quad \Delta h = 30{,}2 \text{ (см)}.$$

Ответ: 30,2.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

Выберите правильный ответ:

А 1. На плоскости, имеющей угол наклона к горизонту α, стоит цилиндр радиусом *R*. Какова наибольшая высота цилиндра *h*, при которой он еще не опрокидывается? Цилиндр однородный.

1) $h = 2R\sin\alpha$; 2) $h = Rtg\alpha$; 3) $h = 4R\sin\alpha$; 4) $h = 2Rtg\alpha$; 5) $h = 2Rctg\alpha$.

А 2. Однородное тело правильной геометрической формы массой 5 кг подвешено на двух нитях, составляющих угол $\alpha = 60^0$ с вертикалью (рис.3.10). При этом сила натяжения одной нити равна:

1)25Н; 2) 50Н; 3) 100Н; 4) 25$\sqrt{3}$ Н; 5) 50$\sqrt{3}$ Н.

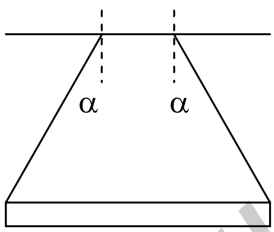


Рис. 3.10

А 3. На какой приблизительно глубине в озере давление в 3 раза больше нормального атмосферного давления $(P_0 = 10^5 \text{ Па})$?

7) 30 м; 2) 40 м; 3) 20 м; 4) 10 м; 5) 60 м.

А 4. Для того чтобы силы давления жидкости на дно и стенки сосуда были равны, жидкость следует долить в цилиндрический сосуд радиусом *R* высотой *H*, равной:

1) $H = 2\pi R$; 2) $H = \pi R$; 3) $H = 2R$; 4) $H = R$; 5) $H = \frac{1}{2}R$.

А 5. Если тело в жидкости с плотностью ρ весит втрое меньше, чем в воздухе, то плотность тела равна:

1) 3ρ; 2) 2ρ; 3) $\frac{2}{3}\rho$; 4) $\frac{1}{2}\rho$; 5) $\frac{3}{2}\rho$.

Дополните:

В 1. Тетива лука в месте контакта со стрелой образует угол 120^0. Стрела расположена симметрично относительно лука. Если лучник тянет стрелу с силой 500 Н, то модуль силы натяжения тетивы равен _________Н.

В 2. Однородная балка массой 800 кг и длиной 4 м закреплена на оси, отстоящей от левого конца балки на 1,9 м. Чтобы балка находилась в равновесии, человек массой 80 кг должен стать на расстоянии ________ м от левого конца балки.

В 3. Для подъема тяжелого цилиндрического катка радиусом $\sqrt{2}$ м на прямоугольную ступеньку пришлось приложить к его оси горизонтально направленную силу, равную силе тяжести катка. Максимальная высота ступеньки равна _________м.

В 4. Легкая лестница длиной 4 м приставлена к гладкой стене под углом 60^0 к полу. Максимальная сила трения между лестницей и полом равна 200 Н. Прежде чем лестница начнет скользить, человек массой 60 кг сможет подняться по лестнице на высоту_________м.

В 5. Плотности воды и ртути соответственно равны 1000 кг/м^3 и 13600 кг/м^3. Давление, создаваемое в водоеме на глубине 0,272 м, больше атмосферного давления на __________мм ртутного столба?

В 6. Аквариум прямоугольной формы доверху наполнен водой. Плотность воды 1000 кг/м^3. Модуль силы гидростатического давления воды на вертикальную стенку аквариума длиной 50 см и высотой 30 см равен _________Н.

В 7. Тело плотностью 1500 кг/м^3 плавает на границе раздела двух несмешивающихся жидкостей с плотностями 1000 кг/м^3 и 3000 кг/м^3. В нижней жидкости находится __________часть тела.

В 8. Пробковый спасательный круг имеет массу 3,2 кг. Плотность пробки $0{,}2 \cdot 10^3$ кг/м^3, морской воды $1{,}03 \cdot 10^3$ кг/м^3. Подъемная сила этого круга в морской воде равна __________Н.

В 9. На малый поршень гидравлического пресса действует сила 50 Н. Поршень медленно опустился на 15 см. Большой поршень поднялся на 3 мм. Масса груза, лежащего на большом поршне равна _______кг.

В 10. Вода течет в горизонтально расположенной трубе переменного сечения. Скорость течения в широкой части трубы 20 см/с. Скорость течения воды в узкой части трубы, диаметр которой в 1,5 раза меньше диаметра широкой части, равна __________м/с.

ТЕМА 4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

<u>Работа постоянной силы F:</u>

$$A = FS\cos\alpha ,$$

где S - модуль перемещения; α - угол между векторами силы и перемещения. Если $\alpha < \frac{\pi}{2}$, то A > 0; если $\alpha = \frac{\pi}{2}$, то A = 0; если $\alpha > \frac{\pi}{2}$, то A < 0.

Величина работы при совпадении направления перемещения с направлением вектора силы численно равна площади под графиком зависимости между силой и перемещением. Если направления векторов силы и перемещения противоположны, то величина работы равна этой же площади, но взятой со знаком минус. Работа переменной силы вычисляется с использованием геометрического истолкования механической работы.

Силы, работа которых зависит только от начального и конечного положения тела и не зависит от пути, по которому тело переходит из начальной точки в конечную, а по замкнутому пути равна нулю, называются консервативными. Силы тяжести и силы упругости - консервативные силы.

Если на тело действует переменная сила, то

$$A = F_{\text{ср}} S \cos\alpha ,$$

где $F_{\text{ср}}$ - среднее значение переменной силы, действующей на тело.

Мощность:

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

где t - время, за которое совершается работа.

Если движение равномерное, то

$$N = Fv\cos\alpha ,$$

где v - модуль скорости; F - модуль силы; α - угол между $\vec{F}$ и $\vec{v}$.

Коэффициент полезного действия (КПД, или η) механизма - это отношение полезной работы $A_{\text{п}}$, совершенной механизмом, к полной (затраченной) $A_{\text{з}}$ работе. Полезная работа всегда меньше полной из-за неизбежных потерь, связанных с трением и другими явлениями,

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}}.$$

В соответствии с различными формами процессов говорят о различных формах энергии: механической, внутренней, электромагнитной и т.д.

Механической энергией тела называется физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу. Единица энергии совпадает с единицей работы.

Различают два вида механической энергии - кинетическую и потенциальную. Кинетической $E_{\text{к}}$ называется энергия, обусловленная движением тела,

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Изменение кинетической энергии тела равно работе равнодействующей сил, приложенных к телу,

$$E_{\text{к}2} - E_{\text{к}1} = A .$$

Потенциальная энергия - энергия, обусловленная взаимодействием между телами.

Потенциальная энергия упруго деформированного тела (сжатой или растянутой пружины)

$$E_p = \frac{k(\Delta l)^2}{2},$$

где k - коэффициент упругости (жесткости) тела; Δl - абсолютная деформация.

Потенциальная энергия тела массой m, поднятого на высоту h относительно нулевого уровня, $E_p = mgh$ $(h << R_з)$.

Полная механическая энергия - сумма кинетической и потенциальной энергии.

Закон сохранения энергии в механике: полная механическая энергия замкнутой системы тел, силы взаимодействия между которыми являются консервативными, остается неизменной (сохраняется):

$$E = E_к + E_p = const.$$

В случае постоянства полной энергии кинетическая и потенциальная энергии могут изменяться, однако лишь таким образом, чтобы их сумма оставалась постоянной.

Изменение полной механической энергии системы равно работе внешних сил:

$$E_2 - E_1 = A_{внеш}.$$

Изменение полной механической энергии замкнутой системы, в которой между телами действуют силы трения, равно работе сил трения:

$$E_2 - E_1 = A_{тр}.$$

Работа силы трения скольжения отрицательна.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. На покоящийся шар налетает такой же шар со скоростью 5 м/с. Разлетаются шары под прямым углом. Масса каждого шара равна 1 кг. Какое количество теплоты выделится при столкновении шаров?

Дано:

$v_1 = 5$ м/с

$v_2 = 0$

$m_1 = m_2 = m = 1$ кг

$\alpha = 90^0$

Q - ?

Решение

На основании закона сохранения импульса имеем:

$m_1\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$ или $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$, (1)

так как $m_1 = m_2$,

где $\vec{v}$, $\vec{v}_1$ - скорости первого шара до и после столкновения; $\vec{v}_2$ - скорость второго шара после столкновения (рис.4.1). По условию задачи шары разлетаются под прямым углом, поэтому векторному уравнению (1) соответствует по теореме Пифагора соотношение

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2. \quad (2)$$

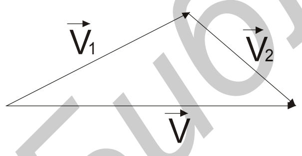


Рис. 4.1

Количество теплоты, выделяющееся при столкновении шаров, равно разности их кинетических энергий до и после удара:

$$Q = E_K^0 - E_K, \quad (3)$$

где $E_K^0 = \dfrac{m_1 v_1^2}{2}$ - энергия первого шара до удара. Энергия второго шара до удара равна нулю.

$$E_K = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \quad (4)$$

- общая энергия шаров после удара. Из уравнений (2) - (4) следует, что $Q = 0$, т.е. при таком ударе шаров выполняется закон сохранения механической энергии.

Ответ: 0.

2. С покоящимся на гладкой горизонтальной поверхности шаром упруго сталкивается шар в 5 раз большей массы. Удар шаров - центральный. Во сколько раз модуль скорости легкого шара после удара больше модуля скорости тяжелого шара?

Дано: $m_2 = 5m_1$

$\frac{v_1}{v_2} - ?$

Решение

При упругом ударе выполняются законы сохранения кинетической энергии и импульса:

$$\frac{m_2 v^2}{2} = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2},$$

$$m\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2,$$

где v_1, v_2 - скорости тяжелого шара до и после удара;

v_1 - скорость легкого шара после удара. По условию $m_2 = 5m_1$, тогда после сокращения на m_1 имеем:

$$\begin{cases} v^2 - v_2^2 = v_1^2, \\ 5(v - v_2) = v_1 \end{cases}.$$

Разделив первое уравнение на второе, из следующей системы найдем отношение $\frac{v_1}{v_2}$:

$$\begin{cases} v + v_2 = v_1 \\ 5(v - v_2) = v_1 \end{cases}, \quad \begin{cases} \frac{v}{v_2} + 1 = \frac{v_1}{v_2} \\ 5\frac{v}{v_2} - 5 = \frac{v_1}{v_2} \end{cases}, \quad \frac{v_1}{v_2} = 2{,}5.$$

Ответ: 2,5.

3. Какую минимальную скорость нужно сообщить грузику, подвешенному на жестком невесомом стержне длиной 40 см, чтобы он совершил вращение в вертикальной плоскости?

Решение

Дано: $l = 0{,}4$ м

$v_{min} - ?$

Минимальной скорости $\vec{v}$, сообщенной грузику в нижней точке, соответствует и минимальная скорость $\vec{v}_1$ в верхней точке. Рассмотрим уравнение движения тела для верхней точки (рис.4.2) :

$$mg - N' = \frac{mv_1^2}{l}.$$

Из этого уравнения следует, что минимальная скорость $v_{1\min} = 0$ при условии $mg = N'$. Минимальная скорость груза в нижней точке определяется из закона сохранения механической энергии: кинетическая энергия груза в нижней точке равна изменению его потенциальной энергии при подъеме от нижней до верхней точки, т.е.

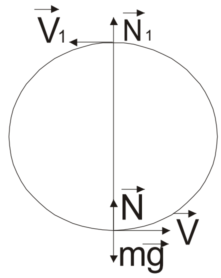


Рис. 4.2

$$\frac{mv_{min}^2}{2} = mg2l,$$

откуда $v_{min} = 2\sqrt{gl}$;

$v_{min} = 4$ (м/с).

Ответ: 4.

4. Тело массой 0,1 кг, закрепленное на невесомой пружине с коэффициентом жесткости 10 Н/м, движется в горизонтальной плоскости равномерно по окружности, причем пружина отклонена от вертикали на 60^0. Определите потенциальную энергию упругой деформации пружины.

Дано:
$m = 0{,}1$ кг
$k = 100$ Н/м
$\alpha = 60^0$

$E_p - ?$

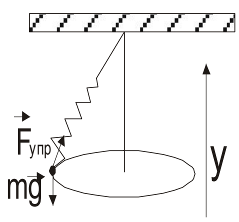


Рис. 4.3

Решение

Движение тела происходит под действием двух сил: силы упругости пружины $\vec{F}_{упр}$ и силы тяжести $m\vec{g}$ (рис.4.3.).

Для описания движения тела запишем второй закон Ньютона: $m\vec{a} = \vec{F}_{упр} + m\vec{g}$.

По условию задачи тело движется равномерно по окружности, лежащей в горизонтальной плоскости, т.е. ускорение тела является центростремительным и направлено горизонтально. Спроектировав второй закон Ньютона на вертикальное направление, получаем

$$\text{для } y: 0 = F_{упр} \cos б - mg,$$

откуда для модуля силы упругости имеем:

$$F_{упр} = \frac{mg}{\cos\alpha}.$$

Зная модуль силы упругости, возникающей в пружине при движении тела, и коэффициент жесткости пружины, можно определить потенциальную энергию упругой деформации пружины:

$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{(kx)^2}{2k} = \frac{F_{упр}^2}{2k} = \frac{m^2g^2}{2k\cos^2\alpha}; \; E_p = 0{,}02 \text{ (Дж)}$$

Ответ: 0,02.

5. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 10 м/с. На какой высоте кинетическая энергия тела будет равна потенциальной энергии? Отсчет потенциальной энергии тела в поле тяготения производится от точки бросания. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:
$v_0 = 10$ м/с
$E_K = E_P$

$E_p - ?$

Решение

По условию задачи сопротивлением воздуха можно пренебречь, и, следовательно, полная механическая энергия тела в процессе движения остается постоянной и равной начальной кинетической энергии тела в момент отрыва от поверхности Земли:

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + mgh, \qquad (1)$$

где $\frac{mv^2}{2}$ - кинетическая энергия тела на высоте h ; mgh - потенциальная энергия тела на высоте h . По условию задачи кинетическая и потенциальная энергия на искомой высоте h равны, т.е.

$$\frac{mv^2}{2} = mgh . \qquad (2)$$

Подставляя выражение (2) в (1), получаем

$$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgh \text{, откуда } h = \frac{v^2}{4g}; \quad h = 2{,}5 \text{ (м)}$$

Ответ: 2,5.

6. Камень, брошенный вертикально вверх с поверхности земли со скоростью 10 м/с, при падении на землю углубился в песок на 10 см вертикально вниз. Определите количество теплоты, выделившейся при движении камня, если его масса равна 100 г.

Дано:
$m = 0{,}1$ кг
$v = 10$ м/с
$\Delta h = 0{,}1$ м
Q - ?

Решение

Количество теплоты, выделяющееся при движении камня, равно убыли его механической энергии:

$$Q = E_1 - E_2 ,$$

где E_1, E_2 - механическая энергия камня в начальном и конечном состоянии. Задача сводится к определению механической энергии камня, являющейся в общем случае суммой кинетической и потенциальной энергии. Примем за уровень отсчета потенциальной энергии положение камня в конечном состоянии (рис. 4.4) на уровне 00’. Механическая энергия камня в начальном состоянии складывается из кинетической энергии $\frac{mv_0^2}{2}$ и потенциальной энергии $mg\Delta h$ (камень находится на высоте Δh относительно уровня отсчета потенциальной энергии), т.е.

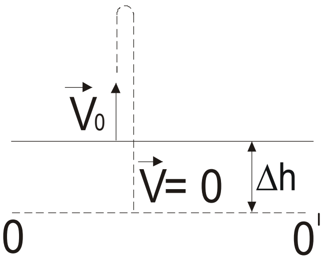


Рис. 4.4

$$E_1 = \frac{mv_0^2}{2} + mg\Delta h .$$

Механическая энергия камня в конечном состоянии равна нулю (скорость камня $v = 0$ и его положение совпадает с уровнем отсчета потенциальной энергии), т.е. $E_2 = 0$.

Зная механическую энергию камня в начальном и конечном положении, определяем количество выделившейся теплоты:

$$Q = E_1 - E_2 = E_1 = \frac{mv_0^2}{2} + mg\Delta h ; \; Q = 5{,}1 \text{ (Дж).}$$

Ответ: 5,1.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 4

Выберите правильный ответ:

А 1. Зависимость перемещения тела массой 4 кг от времени t дана на рис.4.5. Чему равна кинетическая энергия тела в момент t=3c?

1) 15 Дж, 2) 20 Дж; 3) 40 Дж; 4) 25 Дж; 5) 50 Дж.

Рис.4.5

А 2. Тело массой 2 кг брошено под углом 30^0 к горизонту с начальной скоростью 20 м/с. Чему равна кинетическая энергия тела в наивысшей точке траектории? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1) 400 Дж; 2) 100 Дж; 3) 300 Дж; 4) 500 Дж; 5) 200 Дж.

А 3. Мощность двигателя подъемного крана, поднимающего равномерно со скоростью 0,1 м/с груз массой 4 т, при общем КПД установки 40% равна:

1) 16 кВт; 2) 4 кВт; 3) 1кВт; 4) 40 кВт; 5) 10 кВт.

А 4. Если на вагонетку массой m, движущуюся по горизонтальным рельсам со скоростью V, сверху вертикально опустить груз, масса которого равна половине массы вагонетки, то скорость вагонетки с грузом станет равной:

1) $\frac{3}{2}v$; 2) $\frac{1}{2}v$; 3) $\frac{1}{4}v$; 4) $\frac{3}{4}v$; 5) $\frac{2}{3}v$.

А 5. Невесомая пружина жесткостью 1000 н/м, сжатая на 0,04 м, толкает в горизонтальном направлении тело массой 0,01 кг. Какое количество механической энергии перейдет в теплоту за время действия пружины на тело, если модуль скорости тела возрос от нуля до 12 м/с?

1) 1,52 Дж; 2) –0,08 Дж; 3) 0,08 Дж; 4) 0,72 Дж; 5) 0,8 Дж.

Дополните:

В 1. Движущийся шар сталкивается с покоящимся шаром. Если модуль импульса каждого из шаров после удара равен модулю полного импульса системы до удара, то шары разлетятся под углом _________град.

В 2. С носа и кормы неподвижной лодки одновременно с одинаковой скоростью начали двигаться навстречу друг другу два рыбака с массами 40 кг и 60 кг. Масса лодки 400 кг, ее длина 10 м. К моменту встречи рыбаков лодка сместится на расстояние__________м.

В 3. Два шара массами 1 кг и 3 кг движутся навстречу друг другу со скоростями 4 и 8 м/с соответственно. Количество тепла, выделившегося после абсолютно неупругого удара, равно __________Дж.

В 4. Тело массой 2 кг скатывается с наклонной плоскости с углом при основании 30^0. Мощность силы тяжести в тот момент, когда модуль скорости тела равен 3 м/с, составляет _________Вт.

В 5. Тело массой 0,2 кг брошено с поверхности земли под углом 60^0 к горизонту с начальной скоростью 10 м/с. Если сопротивлением воздуха пренебречь, то минимальная кинетическая энергия тела во время полета равна _________Дж.

В 6. Если принять массу Земли в 81 раз, а радиус в 4 раза большими, чем у Луны, то оттолкнувшись с силой, достаточной для прыжка на Земле на высоту 1,6 м, человек подпрыгнул бы на Луне на высоту _______м.

В 7.Две пружины с коэффициентами жесткости $1 \cdot 10^5$ Н/м и $2 \cdot 10^5$ Н/м соединены последовательно. Чтобы растянуть составленную таким образом пружину на 0,3 см, нужно совершить работу в _________Дж.

В 8. Тело массой 1 кг, брошенное вертикально вверх со скоростью 20 м/с, достигло верхней точки траектории за 1,9 с. Работа силы тяжести за время подъема тела до наивысшей точки траектории равна _______ Дж. Сила сопротивления воздуха постоянна.

В 9. На тело массой 10 кг, движущееся по горизонтальной плоскости, действует сила 100 Н под углом 30^0. Коэффициент трения между телом и плоскостью 0,1. Суммарная работа всех сил, действующих на тело, при перемещении тела вдоль плоскости на 10 м равна _________Дж.

В 10. Мощность двигателя подъемного крана 4,4 кВт. КПД двигателя 80%. Если подъем груза совершается равноускоренно, то какой груз можно поднять при помощи этого крана на высоту 12 м в течение 0,5 мин. Можно поднять груз массой ________кг.

ТЕМА 5. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Количество вещества:

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A},$$

где m - масса вещества; μ - его молярная масса; N - число молекул; N_A - постоянная Авогадро.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа:

$$p = \frac{1}{3} m_0 n < v_{кв} >^2; \; m_0 n = \rho,$$

где P - давление газа; m_0 - масса молекулы; n - концентрация молекул, $< v_{кв} >$ - средняя квадратичная скорость молекул, ρ - плотность.

Средняя квадратичная скорость молекул газа:

$$v_{ср.кв} = \langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}},$$

где $kN_A = R$; $m_0 N_A = \mu$, $\langle v^2 \rangle$ - средний квадрат скорости молекул; k - постоянная Больцмана: $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К; T - абсолютная температура газа; R - универсальная газовая постоянная; μ - молярная масса.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа:

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2} kT.$$

Зависимость давления газа от концентрации его молекул и температуры выражается формулой $P = nkT$.

Уравнение Менделеева-Клапейрона (уравнение состояния идеального газа):

$$PV = \frac{m}{\mu} RT,$$

где P - давление; V - объем; m - масса газа, μ - молярная масса газа; R - универсальная газовая постоянная; T - абсолютная температура газа.

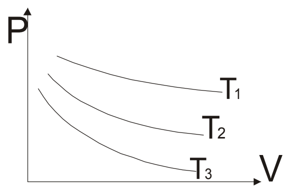
Абсолютная температура

$$T = t + 273,$$

где t - температура по шкале Цельсия.

Закон Бойля-Мариотта (рис.5.1): для данной массы газа при постоянной температуре ($m = \mathrm{const}$; $T = \mathrm{const}$ - изотермический процесс)

$$PV = \mathrm{const} \text{ или } P_1 V_1 = P_2 V_2.$$



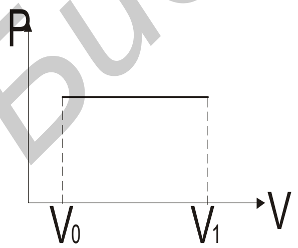
$T_1 > T_2 > T_3$

Рис. 5.1

Закон Гей-Люссака (рис. 5.2): для данной массы газа при постоянном давлении ($m = const$; $P = const$ - изобарный процесс)

$$V = V_0(1 + \alpha t) = V_0 \alpha T \text{ или } \frac{V}{T} = \mathrm{const},$$

где V- объем газа при t^0C; V_0 - объем газа при 0^0C; α - температурный коэффициент объемного расширения: $\alpha = \frac{1}{273}$ K^{-1} для всех газов.



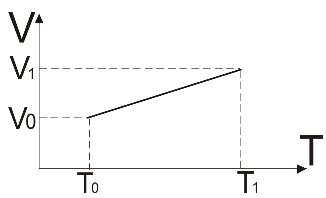
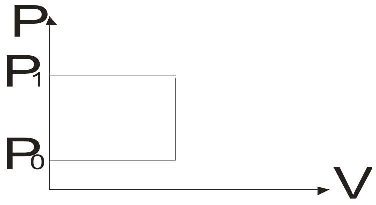


Рис. 5.2

Закон Шарля (рис.5.3): для данной массы газа при постоянном объеме ($m = const$; $V = const$ - изохорный процесс),

$$P = P_0(1 + \gamma t) = P_0 \gamma T \text{ или } \frac{P}{T} = \text{const},$$

где P - давление газа при $t^0 C$; P_0 - давление газа при $0^0 C$; γ - температурный коэффициент давления: $\gamma = \frac{1}{273}$ K^{-1} для всех газов.



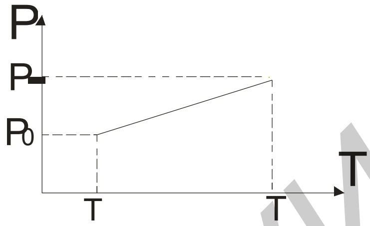


Рис. 5.3

Уравнение Клапейрона (объединенный газовый закон): для данной массы газа ($m = \text{const}$)

$$\frac{PV}{T} = \text{const}.$$

Для любых двух состояний

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}.$$

Нормальные условия: давление P_0 = 101 325 Па (760 мм рт. ст.), температура T_0 = 273 К ($0^0 C$).

Закон Дальтона: давление смеси химически не взаимодействующих идеальных газов равно сумме парциальных давлений этих газов:

$$P = P_1 + P_2 + \ldots\ldots + P_n.$$

Внутренняя энергия одноатомного идеального газа

$$U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{\mu} RT = \frac{3}{2} PV,$$

где m - масса газа; μ - его молярная масса; R - универсальная газовая постоянная.

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела массой m от температуры T_1 до T_2,

$$Q = cm(T_2 - T_1),$$

где c - удельная теплоемкость вещества,

$$\begin{cases} Q = c_\mu \cdot \nu \Delta T \\ c_\mu = c_{уд} \cdot \mu, \end{cases}$$

где c_μ - молярная теплоемкость вещества.

Теплоемкость тела массой m:

$$C = cm,$$

где c - удельная теплоемкость вещества.

Закон сохранения и превращения энергии: во всех процессах, происходящих в природе, энергия не исчезает и не создается, а переходит от одного тела к другому и превращается из одного вида в другой в эквивалентных количествах.

Первое начало термодинамики: количество теплоты, переданное системе, затрачивается на приращение внутренней энергии системы и на совершение системой работы над внешними телами:

$Q = \Delta U + A$, где $\Delta U = U_2 - U_1$.

Работа, совершаемая газом при его расширении от объема V_1 до V_2,

$$A = \int_{V_1}^{V_2} PdV,$$

где P - давление газа.

Для изобарного процесса

$$A = P(V_2 - V_1) = P\Delta V.$$

Для любого процесса работа газа численно равна площади под диаграммой P, V в соответствующем масштабе.

Адиабатический процесс - процесс сжатия или расширения газа без теплообмена с внешней средой.

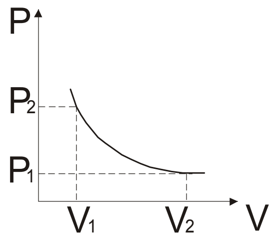


Рис. 5.4

Уравнение адиабаты (рис.5.4): $PV\gamma = \text{const}$; $\gamma = \dfrac{c_P}{c_V}$, где c_P и c_V - теплоемкости газа при постоянном давлении и постоянном объеме.

Для одноатомных газов $\gamma = \dfrac{5}{3}$.

Первое начало термодинамики для изопроцессов записывается:

1) изотермический процесс:

$T = \text{const}$; $\Delta U = 0$; $Q = A$;

2) изохорический процесс:

$V = \text{const};\ A = 0;\ Q = \Delta U;$

3) изобарический процесс:

$P = \text{const};\ A = P\Delta V \neq 0;\ T \neq \text{const};\ \Delta U \neq 0;\ Q = \Delta U + A$;

4) адиабатический процесс:

$Q = 0; \Delta U + A = 0; A = -\Delta U$.

КПД теплового двигателя:

$$\eta = \frac{A_П}{A_З} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H},$$

где A - работа, совершаемая двигателем; Q_H и Q_X - количество теплоты, соответственно полученное двигателем от нагревателя и отданное холодильнику.

Максимальное значение КПД теплового двигателя равно КПД идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно,

$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{T_H - T_X}{T_H},$$

где T_H - температура нагревателя; T_X - температура холодильника.

Количество теплоты, необходимое для того, чтобы расплавить кристаллическое тело массой m,

$$Q_{ПЛ} = \lambda m,$$

где λ - удельная теплота плавления (количество теплоты, необходимое для плавления единицы массы твердого кристаллического вещества при температуре плавления и постоянном давлении). При кристаллизации выделяется такое же количество теплоты.

Количество теплоты, необходимое для превращения в пар жидкости массой m,

$$Q_{ПАР} = rm,$$

где r - удельная теплота парообразования (количество теплоты, необходимое для превращения единицы массы жидкости в пар при температуре кипения). При конденсации выделяется такое же количество теплоты.

Количество теплоты, выделяемое при полном сгорании топлива массой m,

$$Q = qm,$$

где q - удельная теплота сгорания топлива.

Относительная влажность воздуха

$$\varphi = \frac{P}{P_0} \cdot 100\%,$$

где P - парциальное давление водяного пара при данной температуре; P_0 - парциальное давление насыщенного пара при той же температуре.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Два сосуда, содержащих идеальные газы, соединены трубкой с краном. Давление газов в сосудах 3 и 7 кПа. Определите в килопаскалях давление в сосудах после открытия крана, если первоначально число молекул в обоих сосудах одинаково. Температура постоянная.

Дано:
$P_1 = 3 \cdot 10^3$ Па
$P_2 = 7 \cdot 10^3$ Па
$T = const$
P - ? (кПа)

Решение

После открытия крана давление в сосудах по закону Дальтона равно сумме парциальных давлений газов, т.е.

$$P = P_1 + P_2. \qquad (1)$$

Так как каждый газ при открытом кране занимает весь объем $V_1 + V_2$, а температура постоянна, то

$$P_1V_1 = P_1(V_1 + V_2); \quad P_2V_2 = P_2(V_1 + V_2),$$

откуда

$$P_1 = \frac{P_1V_1}{V_1 + V_2} \text{ и } P_2 = \frac{P_2V_2}{V_1 + V_2}. \qquad (2)$$

Используя уравнения состояния для каждого газа и учитывая, что число молекул одинаково, имеем: $P_1V_1 = \nu RT$ и $P_2V_2 = \nu RT$, т.е. $P_1V_1 = P_2V_2$.

Выразив объем V_1 через V_2 ($V_1 = \frac{P_2V_2}{P_1}$) и подставив в (2) и (1),

получаем:

$$P = \frac{2P_1P_2}{P_1 + P_2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 7 \cdot 10^6}{(3+7) \cdot 10^3} = 4,2 \text{ (кПа).}$$

Ответ: 4,2.

2. Диаграмма циклического процесса для 0,8 моль газа в координатах PV (рис.5.5) образует треугольник с вершинами в точках (166 кПа;12л), (166 кПа; 24 л) и (24,9 кПа; 12л). Найдите разность максимальной и минимальной температур в цикле.

Дано:
ν =0,8 моль
(166 кПа; 12 л)
(166 кПа; 24 л)
(24,9 кПа, 12 л)

$(T_{max} - T_{min})$ - ?

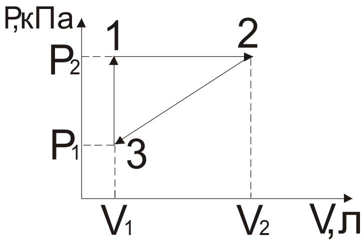


Рис. 5.5

Решение

Из анализа процессов, образующих цикл, следует, что максимальную температуру газ имеет в состоянии 2, минимальную - в состоянии 3, т.е. $T_{max} - T_{min} = T_2 - T_3$. Используя уравнение состояния идеального газа для точек 2-3, находим:

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{\nu R} \text{ и } T_3 = \frac{P_1 V_1}{\nu R}.$$

Тогда $T_{max} - T_{min} = \dfrac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\nu R}$; $T_{max} - T_{min} = 555$ (К)

Ответ: 555.

3. В трубке, закрытой с одного конца, воздух заперт столбиком ртути длиной 11 см. При вертикальном расположении трубки открытым концом вниз длина столбика воздуха равна 13 см, а при отклонении трубки от вертикали на 60^0 - 12 см. Определите в мм рт.ст. атмосферное давление.

Дано:
l = 11 см
l_1 = 13 см
l_2 = 12 см

P_0 – ?

Решение

При вертикальном расположении трубки (рис.5.6,а) давление воздуха, запертого столбом ртути P_1, и гидростатическое давление столба ртути уравновешены атмосферным давлением P_0, т. е.

$$P_0 = P_1 + \rho_{рт} g l, \qquad (1)$$

откуда $$P_1 = P_0 - \rho_{рт} g l. \qquad (2)$$

При повороте трубки от вертикали на угол α (рис.5.6,б) имеем:

$$P_0 = P_2 + \rho_{рт} g h = P_2 + \rho_{рт} g l \cos\alpha. \qquad (3)$$

Тогда $$P_2 = P_0 - \rho_{рт} g l \cos\alpha. \qquad (4)$$

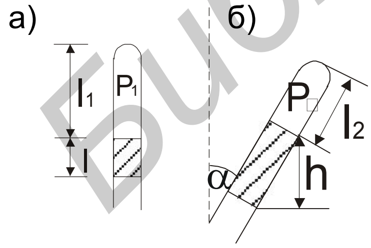


Рис.5.6

При отклонении трубки от вертикали воздух, запертый в трубке, изотермически сжимается и его давление в начальном и конечном состоянии связаны соотношением

$$P_1 l_1 = P_2 l_2. \qquad (5)$$

После подстановки выражений (2) и (4) в (5) получим:

$$(P_0 - \rho_{рт} g l) l_1 = (P_0 - \rho_{рт} g l \cos\alpha) l_2. \qquad (6)$$

Из уравнения (6) атмосферное давление P_0 равно

$$P_0 = \frac{l(l_1 - l_2\cos\alpha)}{l_1 - l_2}\rho_{рт}g. \qquad (7)$$

Выразить величину атмосферного давления в мм рт.ст. означает определить в мм длину столба ртути, создающего давление P_0, т.е.

$$l' = \frac{P_0}{\rho_{РТ}g} = \frac{l(l_1 - l_2\cos\alpha)}{l_1 - l_2};\ l' = 770 \text{ (мм рт.ст.)}$$

Ответ: 770.

4. Когда из сосуда выпустили некоторое количество идеального газа, давление в нем упало на 40%, а абсолютная температура уменьшилась на 20%. Какую часть газа выпустили из сосуда?

Дано:

$\frac{\Delta P}{P_0} = 0{,}4$

$\frac{\Delta T}{T_0} = 0{,}2$

$\frac{\Delta \nu}{\nu_0} - ?$

Решение

Записав уравнение Менделеева-Клапейрона для начального и конечного состояний идеального газа $P_0V_0 = \nu_0RT_0$; $PV_0 = \nu RT$, получим

$$\frac{\nu}{\nu_0} = \frac{PT_0}{P_0T}. \qquad (1)$$

Согласно условию,

$$\frac{\Delta P}{P_0} = \frac{P_0 - P}{P_0} = 1 - \frac{P}{P_0} = 0{,}4;\ \frac{P}{P_0} = 0{,}6; \qquad (2)$$

$$\frac{\Delta T}{T_0} = \frac{T_0 - T}{T_0} = 1 - \frac{T}{T_0} = 0{,}8;\ \frac{T}{T_0} = 0{,}8. \qquad (3)$$

После подстановки (2) и (3) в (1) получим:

Ответ: 0,25.

5. В смесь, состоящую из льда массой 5 кг и воды массой 4 кг при температуре 0^0C, впускают водяной пар массой 0,5 кг при температуре 100^0C. Определите температуру смеси по шкале Цельсия. Удельная теплота плавления льда $3{,}3\cdot10^5$ Дж/кг, удельная теплоемкость воды $4{,}2\cdot10^3$ Дж/(кг·К), удельная теплота парообразования воды $22{,}6\cdot10^5$ Дж/кг.

Дано:

$m_л = 5$ кг

$m_В = 4$ кг

$m_п = 0{,}5$ кг

$t_0 = 0^0C$

$t_п = 100^0C$

$\lambda = 3{,}3\cdot10^5$ Дж/кг

$r = 22{,}6\cdot10^5$ Дж/кг

$c = 4{,}2\cdot10^3$ Дж/кг·К

$Q - ?$

Решение

Для плавления льда необходимо количество теплоты $Q_1 = m_л\cdot\lambda = 3{,}3\cdot10^5\cdot5 = 16{,}5\cdot10^5$ Дж.

Максимальное количество теплоты, которое может выделиться при конденсации пара и остывании полученной из него воды,

$$Q_2 = m_пr + cm_п(t - t_0) = 13{,}4\cdot10^5 \text{ Дж}.$$

Из сравнения Q_1 и Q_2 делаем вывод, что лед растает не весь. Смесь, которая представляет собой воду и некоторое количество льда ($m_л = m_п - \frac{Q_2}{\lambda} = 0{,}04$ кг), имеет температуру $Q = 0$ (^0C).

Ответ: 0.

6. В (P,V) - координатах, где P - давление в кПа, а V - объем в м^3, график циклического процесса в идеальном газе имеет вид прямых, соединяющих точки (100,3), (200,3) и (200,5). Определите абсолютную величину работы газа за цикл.

Дано:
$P_1 = 100$ кПа
$V_1 = 3\cdot10^{-3}$ м^3
$P_2 = 200$ кПа
$V_2 = 3\cdot10^{-3}$ м^3
$P_3 = 200$ кПа
$V_3 = 5\cdot10^{-3}$ м^3

|A| - ?

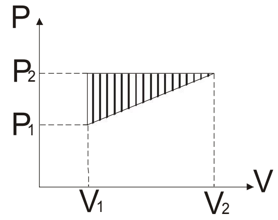


Рис. 5.7

Решение

Построим график циклического процесса в (PV) координатах, используя координаты заданных точек (рис. 5.7). Геометрически работу газа можно найти, вычисляя площадь под кривой зависимости давления газа от его объема. На участке 1-2 газ работы не совершает (V=const). На участке 2-3 работа газа численно равна площади прямоугольника под прямой 2-3, причем знак работы положительный (газ расширяется). На участке 3-1, завершающем цикл, работа газа численно равна площади трапеции под прямой 3-1 и по знаку отрицательна (газ сжимается).

Таким образом, работа газа за цикл равна разности площадей прямоугольника и трапеции, т.е. равна площади цикла (заштрихованная область на рисунке). Знак работы определяется направлением обхода цикла. Для определения абсолютной величины работы за цикл остается вычислить площадь треугольника {1,2,3}:

$$A = \frac{(P_2 - P_1)(V_2 - V_1)}{2} = 100 \quad \text{(Дж)}.$$

Ответ: 100.

7. В комнате при температуре 15^0 С относительная влажность 10%. Как изменится относительная влажность, если температура в комнате повысится на 10^0 С? Давление насыщенного пара при 15^0 С равно 12,8 мм рт.ст., при 25^0 С – 23,8 мм рт.ст.

Дано:
$\varphi_1 = 10\%$
$t_1^0 = 15^0 C$
$t_2^0 = 25^0 C$
$P_{\text{н.п.}1} = 12{,}8$ мм рт.ст.
$P_{\text{н.п.}2} = 23{,}8$ мм рт.ст.

$\Delta\varphi - ?$

Решение

Так как пар ненасыщенный, то парциальное давление пара изменяется по закону Шарля: $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$. Из этого уравнения можно определить давление ненасыщенного пара P_2 при T_2:

$$P_2 = \frac{P_1 T_2}{T_1}.$$

Влажность при T_1 равна

$$\varphi_1 = \frac{P_1}{P_{\text{н.п.}1}}\cdot 100\%; \qquad P_1 = \frac{\varphi_1 P_{\text{н.п.}1}}{100\%}.$$

Относительная влажность при $t_2^0 = 25^0 C$ равна

$$\varphi_2 = \frac{P_2}{P_{\text{н.п.}2}}\cdot 100\% = \frac{P_1 T_2}{P_{\text{н.п.}2}\cdot T_1}\cdot 100\% = \frac{\varphi_1 P_{\text{н.п.}1}\cdot T_2}{P_{\text{н.п.}2}\cdot T_1}.$$

После подстановки числовых значений

$$\varphi_2 = \frac{10\cdot 12{,}8\cdot 298}{23{,}8\cdot 288} 100\ \% = 5{,}6\%;$$

$$\Delta\varphi = 4{,}4\ (\%).$$

Ответ: 4,4.

8. Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины равен 0,1. Какую полезную работу совершает машина за цикл, если холодильнику при этом передается 900 Дж теплоты?

Дано:	Решение
$\eta = 0{,}1$ $Q_X = 900$ Дж $A_п - ?$	Коэффициент полезного действия идеальной тепловой машины равен $\eta = \frac{A_п}{A_З} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H}$. Используя данные задачи, запишем:

$$0{,}1 = 1 - \frac{Q_X}{Q_H};\ 0{,}9Q_H = Q_X;\ Q_H = \frac{Q_X}{0{,}9} = 1000 \text{ Дж.}$$

Тогда $A_П = Q_H - Q_X = 100$ (Дж).

Ответ: 100.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 5

Выберите правильный ответ:

А 1. Если в сосуде находится смесь двух не взаимодействующих между собой газов соответственно с массами m_1 и m_2 и молярными массами μ_1 и μ_2, то масса одного моля такой смеси равна:

1) $\frac{m_1\mu_1 + m_2\mu_2}{m_1 + \mu_2}$; 2) $\frac{(m_1 + m_2)\mu_1\mu_2}{m_1\mu_2 + m_2\mu_1}$; 3) $\frac{m_1\mu_2 + m_2\mu_1}{m_1 + m_2}$; 4) $\frac{\mu_1\mu_2}{m_1\mu_2 + m_2\mu_1}$;

5) $\frac{\mu_1\mu_2}{m_1\mu_1 + m_2\mu_2}$.

А 2. Чему равно отношение средних квадратичных значений скоростей молекул водорода и кислорода при одинаковых значениях температур газов?

1) 2; 2) $\frac{1}{2}$; 3) 4; 4) $\frac{1}{4}$; 5) 8.

А 3. На рис.5.8 показаны две изобары для газа одной и той же массы. Углы наклона изобар к оси абсцисс равны α_1 и α_2. Как соотносятся давления газа?

1) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\cos\alpha_1}{\cos\alpha_2}$; 2) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2}$; 3) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2}$; 4) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{tg\alpha_2}{tg\alpha_1}$; 5) $\frac{P_2}{P_1} = \frac{\sin\alpha_2}{\sin\alpha_1}$.

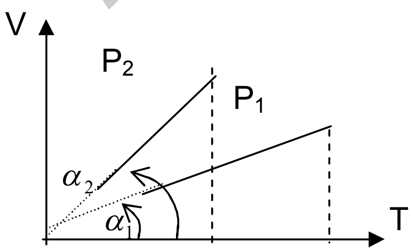


Рис.5.8

А 4. Из изображенной на графике (рис.5.9) зависимости температуры тела от количества подводимого тепла для трех тел одинаковой массы следует, что удельные теплоемкости этих тел связаны соотношением:

1) $C_1>C_2>C_3$; 2) $C_1>C_2=C_3$; 3) $C_1<C_2<C_3$; 4) $C_1<C_2=C_3$; 5) $C_3>C_2<C_1$;

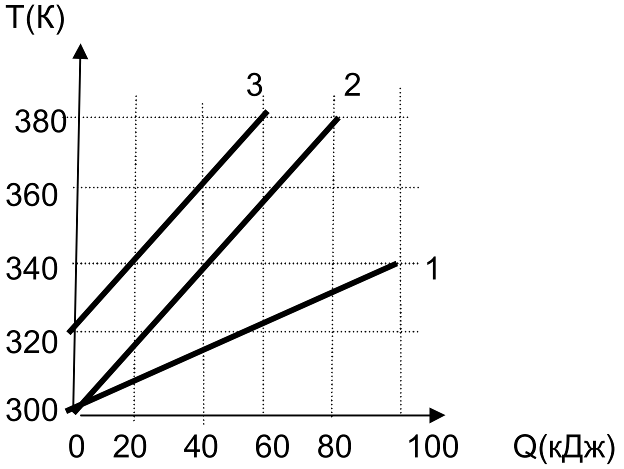


Рис.5.9

А 5. Если в идеальной тепловой машине, абсолютная температура нагревателя которой вдвое больше температуры холодильника, не меняя температуру нагревателя, уменьшить температуру холодильника вдвое, то КПД этой машины:

1) возрастет на 50%; 2) возрастет на 40%; 3) возрастет вдвое;
4) возрастет на 25%; 5) возрастет на 20%.

Дополните:

В 1. Поршень удерживается в равновесии при помощи стержня, вдоль которого действует сила 9,8 Н? Площадь поршня 7 см^2, стержень составляет с перпендикуляром угол 30^0. Трение отсутствует. Атмосферное давление равно 98 кПа . Давление, под которым находится газ в цилиндре под поршнем, равно ______________кПа.

В 2. В закрытом сосуде находится одноатомный кислород при температуре 1200 К. Если температура уменьшится до 300 К и все атомы кислорода соединятся в молекулы, то давление в сосуде уменьшится в ________ раз.

В 3. В закрытом сосуде находится идеальный газ. Если средняя квадратичная скорость молекул газа увеличится на 20%, то давление газа увеличится на ____________%.

В 4. Плотность газа при его охлаждении от 600 К до 300 К и увеличении массы газа в 3 раза при постоянном давлении возрастет в ____________раз.

В 5. Поршень площадью 1 см^2 скользит без трения в вертикальном цилиндре, закрывая газ объемом 10 см^3 при давлении 120 кПа и постоянной температуре. Если на поршень поставить тело массой 1,2 кг, то поршень опустится на ___________см.

В 6.График циклического процесса в координатах P(давление),V(объем) имеет вид прямых, соединяющих точки (200 кПа, 1 л), (100 кПа, 2 л), (100 кПа, 1 л). Абсолютная величина работы, совершаемой газом за цикл, равна ________Дж.

В 7.Одноатомный идеальный газ находится в закрытом баллоне емкостью 5 л. Чтобы повысить давление газа на 20 кПа, нужно сообщить газу количество теплоты_____________Дж.

В 8.Смешали 50 г воды с температурой 8^0 C, 20 г с температурой 50^0 C, 10 г с температурой 70^0 C и добавили 20 г кипятка. Теплообмен с окружающей средой отсутствует. Атмосферное давление нормальное. Установившаяся температура равна________ ^{0}C.

В 9. Тепловая машина работает по циклу Карно, и ее КПД равен 60%. Теплота, полученная при изотермическом расширении рабочего вещества, больше теплоты, отданной при изотермическом сжатии, в ____________раз.

В 10. При температуре 36^0 C давление насыщенного водяного пара равно 5,945 кПа. Влажный воздух при этой температуре с относительной влажностью 80% и давлением 101,3 кПа занимает объем, равный 1м^3. Масса влажного воздуха равна ___________кг.

ТЕМА 6. ЭЛЕКТРОСТАТИКА
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Закон сохранения электрического заряда: в замкнутой (электрически изолированной) системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной.

Закон Кулона: в вакууме сила взаимодействия между двумя покоящимися точечными зарядами пропорциональна произведению этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

Она направлена по прямой, соединяющей точки, в которых расположены заряды. Коэффициент пропорциональности в СИ $\mathrm{k} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, где ε_0 - электрическая постоянная:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi\cdot 9\cdot 10^9} \text{ Ф/м.}$$

Закон Кулона для зарядов, находящихся в жидком или газообразном диэлектрике с проницаемостью ε, имеет вид

$$\mathrm{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{\mathrm{q_1 q_2}}{\varepsilon \mathrm{r}^2}.$$

Напряженность электрического поля в данной точке - это физическая величина, измеряемая силой, с которой электрическое поле действует на единичный положительный точечный заряд, помещенный в эту точку:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}.$$

Принцип суперпозиции полей: если электрическое поле образовано несколькими неподвижными дискретными зарядами q_i, то напряженность поля, создаваемого системой зарядов в некоторой точке пространства, равна векторной сумме напряженностей полей $\vec{E}_i$, созданных в этой точке каждым зарядом в отдельности:

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i .$$

Напряженность электрического поля точечного заряда q на расстоянии r от него

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{\varepsilon \cdot r^2},$$

где ε - диэлектрическая проницаемость среды.

Поверхностная плотность электрического заряда

$$\delta = \frac{q}{S},$$

где δ - заряд, равномерно распределенный по поверхности тела площадью S.

Напряженность электрического поля поверхностно заряженной сферы радиусом R:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{\varepsilon r^2},$$

где q - заряд сферы.

Потенциал электрического поля в данной точке:

$$\varphi = \frac{W_p}{q_0},$$

где W_p - потенциальная энергия, которой обладает заряд, помещенный в данную точку поля.

Потенциал поля, созданного несколькими точечными зарядами, равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых в данной точке каждым зарядом отдельно,

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i .$$

Потенциал электрического поля точечного заряда *q* на расстоянии r от него и поверхностно заряженной сферы радиусом R (при $r \geq R$) равен

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{\varepsilon r} = k\frac{q}{\varepsilon r} .$$

Внутри сферы потенциал во всех точках такой же, как и на поверхности сферы (*r* = R).

Работа, совершаемая электрическим полем при перемещении заряда из одной точки поля (потенциал φ_1) в другую (потенциал φ_2), равна

$$A = q(\phi_1 - \phi_2)$$

и не зависит от формы траектории, а только от начального и конечного положений заряда. По замкнутой траектории работа равна нулю.

Электрические силы консервативны, а поле потенциально.

Потенциальную энергию заряда (тела) можно рассчитать, вычислив работу внешних сил, преодолевающих консервативные силы, при перемещении заряда (тела) из конечного состояния (где W_p=0, т.е. на бесконечности, как принято считать) в исходное. При этом внешние силы, прилагаемые к заряду (телу), должны быть равны по величине консервативным силам взаимодействия (в частности, силы кулоновского взаимодействия—консервативные силы) и противоположно направлены.

Тогда заряд (тело) будет двигаться без ускорения, кинетическая энергия не будет изменяться, а вся работа внешних сил пойдет на увеличение запаса потенциальной энергии заряда (тела). Работа консервативных сил равна убыли потенциальной энергии заряда (тела) в данном поле, т.е.

$$A = -\Delta W_p;\; A = -(W_{p2} - W_{p1}).$$

<u>Связь между напряженностью однородного электрического поля и разностью потенциалов:</u>

$$E = -\frac{\Delta\phi}{d};\; E = \frac{\phi_1 - \phi_2}{d},$$

где $(\varphi_1 - \varphi_2)$- разность потенциалов между точками, находящимися одна от другой на расстоянии d вдоль линии напряженности поля.

<u>Электрическая емкость проводника:</u>

$$C = \frac{q}{\phi}.$$

<u>Электрическая емкость конденсатора:</u>

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

где q- заряд конденсатора, U - напряжение между обкладками конденсатора.

Для плоского конденсатора, площадь пластины которого S , расстояние между пластинами d и ε - диэлектрическая проницаемость диэлектрика, заполняющего пространство между пластинами, электроемкость равна

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

общая емкость конденсаторов, соединенных последовательно,

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_n},$$

общая емкость конденсаторов, соединенных параллельно,

$$C=C_1 + C_2 +\ldots+C_n.$$

<u>Энергия электрического поля заряженного конденсатора емкостью C</u>:

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

где U-напряжение между обкладками конденсатора; q-заряд конденсатора .

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Во сколько раз уменьшится сила кулоновского притяжения двух маленьких шариков с одинаковыми по величине зарядами, если, не изменяя расстояния между ними, перенести половину заряда с первого шарика на второй?

Дано:

$|q_1| = |q_2| = q$

$\frac{F_1}{F_2} - ?$

Решение

По условию задачи заряды притягиваются друг к другу, т.е. заряды шариков противоположны по знаку. При переносе половины заряда с первого шарика на второй происходит уменьшение заряда как первого, так и второго шарика (заряды противоположного знака нейтрализуют друг друга), т.е.

$$q_1' = \frac{q_1}{2};\ q_2' = \frac{q_2}{2},$$

где q_1', q_2' - заряды шариков после переноса половины заряда.

Зная заряды шариков до и после переноса заряда, определяем силы кулоновского притяжения и их отношение:

$$F_1 = k\frac{q_1 q_2}{r^2};\quad F_2 = k\frac{q_1 q_2}{4r^2};\quad \frac{F_1}{F_2} = 4.$$

Ответ: 4.

2. На двух проводящих концентрических сферах с радиусами 20 и 40 см находятся заряды –0,2 и 0,3 мкКл. Определите модуль напряженности электрического поля на расстоянии 60 см от поверхности внешней сферы.

Дано:

$R_1 = 0{,}2$ м

$R_2 = 0{,}4$ м

$R = 0{,}6$ м

$q_1 = -0{,}2$ мкКл

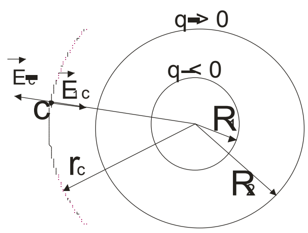
$q_2 = 0{,}3$ мкКл

E - ?

Решение

Согласно принципу суперпозиции полей, в точке С напряженность поля $\vec{E}_c = \vec{E}_{1c} + \vec{E}_{2c}$, где $\vec{E}_{1c}$ - вектор напряженности электрического поля, создаваемого только зарядом q_1; $\vec{E}_{2c}$ - вектор напряженности электрического поля, создаваемого только зарядом q_2.

Напряженность поля равномерно заряженной сферы на расстояниях от центра сферы (r_c) больших, чем радиус сферы (R_1, R_2), определяется так же, как напряженность поля точечного заряда, помещенного в центр сферы радиусом r_c:



$$E_{1c} = k\frac{q_1}{r_c^2};\ E_{2c} = k\frac{q_2}{r_c^2},$$

где $r_c = R_2 + R$.

Рис. 6.1

С учетом направления векторов $\vec{E}_{1c}$ и $\vec{E}_{2c}$ получаем, что модуль вектора $\vec{E}_c$ равен $E_c = E_{2c} - E_{1c}$, или

$$E_c = k\frac{|q_2| - |q_1|}{r_c^2} = k\frac{|q_2| - |q_1|}{(R_2 + R)^2};\ E_c = 900\ (\text{В/м})$$

Ответ: 900.

3. На концах отрезка расположены точечные заряды по 12 мкКл. Определите модуль напряженности электрического поля в точке, удаленной на 2,5 см от отрезка и на 5 см от его концов. Ответ запишите в МВ/м.

Решение

Дано:

$q = 12$ мкКл

$d = 2{,}5 \cdot 10^{-2}$ м

$r = 5 \cdot 10^{-2}$ м

E_c - ?

Электрическое поле в точке С (рис. 6.2) создается двумя источниками-зарядами, расположенными на концах отрезка. Для определения вектора напряженности воспользуемся принципом суперпозиции $\vec{E}_c = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$,

где $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$- векторы напряженности полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности.

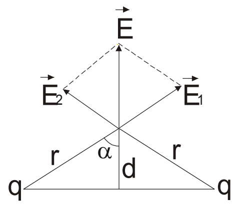


Рис.6.2

В силу симметричного расположения векторов $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$ вектор $\vec{E}_c$ направлен вертикально вверх и равен $|\vec{E}_c| = 2E_1\cos\alpha = 2E_1\dfrac{d}{r} = 2k\dfrac{q}{r^2}\cdot\dfrac{d}{r}$. Подставив числовые значения, получаем: $\mathrm{E_c} = 43{,}2\cdot10^6$ В/м $= 43{,}2$ (МВ/м)

Ответ: 43,2.

4. В трех вершинах квадрата со сторонами 4,5 м находятся положительные точечные заряды по 0,1 мкКл каждый (рис.6.3). Найдите потенциал электрического поля в четвертой вершине квадрата.

Дано:
a=4,5 м
q=0,1 мкКл
___
$\varphi - ?$

Решение

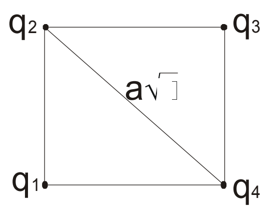


Рис. 6.3

Потенциал в точке А будет равен сумме потенциалов, создаваемых всеми зарядами q_1, q_2 и q_3 $(q_1 = q_2 = q_3 = q)$. Поэтому имеем $\varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3$.

Учитывая, что $\varphi_1 = \varphi_3 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\dfrac{q}{a}$, $\varphi_2 = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\dfrac{q}{a\sqrt{2}}$, находим

$$\varphi_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot q\left(\frac{2}{a} + \frac{\sqrt{2}}{2a}\right) = 541\ (\text{В}).$$

Ответ: 541.

5. Два точечных заряда 3 и 5 мкКл находятся в вакууме на расстоянии 5 м друг от друга. Какую минимальную работу в миллиджоулях нужно совершить для сближения зарядов до 3 м?

Дано:
$q_1 = 3$ мкКл
$q_2 = 5$ мкКл
$r_1 = 5$ м
$r_2 = 3$ м
___
$A_{min} - ?$

Решение

Работа А, которую надо совершить, чтобы перенести заряд из точки с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2, отличается от работы A_n электрического поля только знаком: $A = -A_n$.

Но так как $A_n = q(\varphi_1 - \varphi_2)$, то $A = -q(\varphi_1 - \varphi_2) = q(\varphi_2 - \varphi_1)$.

Работа есть мера изменения энергии в электрическом поле:

$$A_n = -\Delta W_p;\ \ A = \Delta W_p.$$

Работа внешней силы по сближению зарядов минимальна, если она идет только на увеличение потенциальной энергии взаимодействия зарядов. При сближении зарядов от расстояния r_1 до расстояния r_2 потенциальная энергия возрастает от значения W_{p1} до W_{p2}, причем

$$W_{p1} = k\frac{q_1 q_2}{r_1}, \ \ W_{p2} = k\frac{q_1 q_2}{r_2}.$$

Учитывая, что работа внешней силы расходуется только на увеличение потенциальной энергии, имеем:

$$A_{min} = W_{p2} - W_{p1} = k\left(\frac{q_1 q_2}{r_2} - \frac{q_1 q_2}{r_1}\right).$$

Подставляя числовые значения, получаем

$$A_{min} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 18 \text{ (мДж)}$$

Ответ: 18.

6. Шар емкостью 8 мкФ заряжен до потенциала 2000 В. Его соединяют проводником с незаряженным шаром емкостью 32 мкФ. Определите энергию, выделившуюся при соединении шаров. Шары удалены друг от друга.

Дано:	Решение
$C_1 = 8$ мкФ $C_2 = 32$ мкФ $\varphi_1 = 2000$ В $\Delta W - ?$	При соединении шаров часть заряда первого шара стекает на второй шар. Условием перераспределения заряда является равенство потенциалов шаров в конечном состоянии. С учетом этого закон сохранения электрического заряда запишем в виде $q_1 = q_1' + q_2'$ или $C_1\phi_1 = C_1\phi' + C_2\phi'$, где φ' - потенциал шаров после перераспределения заряда.

Из последнего равенства можно определить потенциал шаров в конечном состоянии:

$$\phi' = \frac{C_1\phi_1}{C_1 + C_2}.$$

Энергия системы шаров до и после перераспределения заряда:

$$W_1 = \frac{C_1\phi_1^2}{2}; \ W_2 = \frac{C_1\phi'^2}{2} + \frac{C_2\phi'^2}{2} = \frac{C_1^2\phi_1^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

Разность энергии системы шаров в начальном и конечном состоянии и есть та энергия, которая выделяется при соединении шаров проводником:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = \frac{C_1\phi_1^2}{2} - \frac{C_1^2\phi_1^2}{2(C_1 + C_2)} = \frac{C_1 C_2\phi_1^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

Подставляя числовые значения, получаем $\Delta W = 12{,}8$ (Дж).

Ответ: 12,8.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 6

Выберите правильный ответ:

А 1. Если напряженность поля в точке, удаленной на расстояние R от центра заряженного проводящего шара радиусом r (R>r) равна E, то поверхностная плотность заряда σ на шаре равна:

1) $\sigma = \frac{E\varepsilon_0 R^2}{r^2}$; 2) $\sigma = \frac{E\varepsilon_0 r^2}{R^2}$; 3) $\sigma = \frac{E\varepsilon_0 R}{r}$; 4) $\sigma = \frac{E\varepsilon_0 r}{R}$; 5) $\sigma = \frac{E 4\pi\varepsilon_0}{(R + r)^2}$.

А 2. На рис.6.4 дана зависимость потенциала электростатического поля от координаты. Напряженность поля равна нулю на участках:

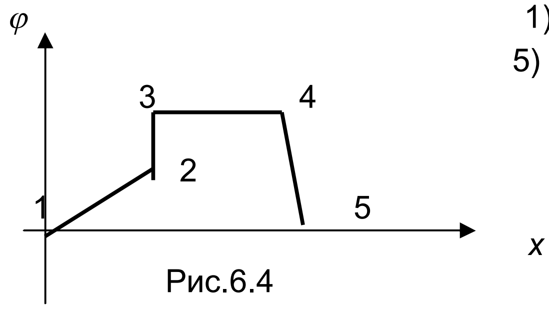


Рис.6.4

1)1-2 и 4-5; 2) 2-3 и 3-4; 3) 2-3; 4) 3-4;
5) напряженность везде отлична от нуля.

А 3. Шар радиусом R_1, заряженный до потенциала φ_1, соединяют с незаряженным шаром тонкой проволокой, после чего общий потенциал соединения оказался равным φ. Радиус второго шара R_2 равен

1) $R_1 \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi}$; 2) $R_1 \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_1}$; 3) $R_1 \dfrac{\varphi_1 - \varphi_2}{\varphi_1 + \varphi_2}$; 4) $R_1 \dfrac{\varphi}{\varphi_1 - \varphi}$; 5) $R_1 \dfrac{\varphi_1}{\varphi_1 - \varphi}$.

А 4. Точечные заряды 1 и 2 (см. рис. 6.5) закреплены. Заряд 3 может перемещаться. Он перемещается:
1)с ускорением влево; 2) равномерно влево; 3) остается в покое;
4) равномерно вправо; 5) с ускорением вправо.

-4q +q +q
1 r 2 r 3

Рис.6.5

А 5. Энергия заряженного плоского конденсатора, отключенного от источника напряжения, при уменьшении расстояния между его пластинами в 2 раза и введении между пластинами диэлектрика с $\varepsilon = 2$:
1) увеличится в 4 раза; 2) увеличится в 2 раза; 3) не изменится;
4) уменьшится в 2 раза; 5) уменьшится в 4 раза.

Дополните:

В 1. Если у каждой сотой молекулы отнять по одному электрону, то моль вещества приобретет заряд____________Кл.

В 2. Одинаковые металлические шарики с зарядами 1 мкКл и 4 мкКл находятся на расстоянии 1 м друг от друга. Шарики привели в соприкосновение. Чтобы сила кулоновского взаимодействия шариков осталась прежней, их следует развести на расстояние ___________м.

В 3. Рассмотрим две точки поля положительного точечного заряда. В первой точке потенциал поля в 3 раза больше, чем во второй. Модуль напряженности электрического поля в первой точке больше, чем во второй в _______раз.

В 4. По тонкому кольцу радиусом 1 м равномерно распределен заряд 0,1 мкКл. Потенциал электрического поля в центре кольца равен ________В.

В 5. Если объем пространства между обкладками конденсатора увеличить в 2 раза при одновременном уменьшении расстояния между обкладками в 1,5 раза, то емкость плоского конденсатора возрастет в __________раз.

В 6. В пространство между обкладками заряженного и отключенного от источника конденсатора вдвигают параллельно обкладкам незаряженную металлическую пластинку толщиной 1 мм. Расстояние между обкладками равно 3 мм. Напряжение на обкладках при этом уменьшается в ________раз.

В 7. Два одинаковых точечных заряда по 0,1 мкКл помещены в точки (0;1) и (1;0) прямоугольной системы координат (Х;У), где Х, У заданы в метрах. Модуль напряженности электрического поля в точке (0;0) равен _________В/м.

В 8. Воздушный конденсатор емкостью 32 мкФ заряжен до напряжения 100 В и отключен от источника питания. При заполнении всего объема между пластинами диэлектриком с относительной диэлектрической проницаемостью, равной 4, силы электростатического поля совершают работу, равную _________Дж.

В 9. Два шара, радиусы которых 50 и 80 мм, а потенциалы соответственно 120 и 50 В, соединяют проводом. Потенциалы шаров после их соединения равны ____________В.

В 10. Три одинаковые тонкие металлические пластинки, расположенные параллельно с небольшими зазорами, несут заряды 1, 2 и 3 мкКл. Напряженность поля между второй и третьей пластинкой равна _________В/м.

ТЕМА 7. ПОСТОЯННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Сила постоянного электрического тока:

$$I = \frac{q}{t},$$

где q - заряд, переносимый через поперечное сечение проводника за время t.

Сила тока, приходящаяся на единицу площади сечения проводника, перпендикулярного направлению упорядоченного движения заряженных частиц, называется плотностью тока (j):

$$j = \frac{I}{S} = nev.$$

где n - число свободных электронов в единице объема проводника; e - заряд электрона; v - скорость упорядоченного движения носителей тока (свободных электронов) .

Закон Ома для однородного участка цепи (т.е. участка, в котором отсутствуют сторонние силы):

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

где I - сила тока; U - напряжение на этом участке; R – сопротивление.

Электрическое сопротивление проводника: $R = \rho \frac{l}{S}$,

где l - длина проводника; S - площадь поперечного сечения; ρ - удельное сопротивление проводника.

Сопротивление металлических проводников с повышением температуры увеличивается, а сопротивление угля, растворов и расплавов солей и кислот - уменьшается. Сопротивление проводника при температуре t:

$$R_t = R_0\left(1+\alpha t\right),$$

где R_t - сопротивление проводника при 0^0С (т.е. при T_0 = 273 К); α - температурный коэффициент сопротивления.

Для удельного сопротивления зависимость от температуры записывается по аналогии: $\rho=\rho_0(1+\alpha t)$.

Последовательное соединение проводников

При последовательном соединении n проводников через все включенные в цепь проводники проходит ток одной и той *же* силы (I=const), а общее напряжение равно сумме напряжений на отдельных участках:

$$U=U_1+U_2+\ldots+U_n.$$

Общее сопротивление цепи

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U_1 + U_2 + ... + U_n}{I} = R_1 + ... + R_n,$$

где $R_1 \ldots R_n$ - сопротивления отдельных проводников. Если $R_1=R_2=\ldots=R_n$, то $R=nR_1$.

Параллельное соединение проводников

При параллельном соединении в узлах ток разветвляется; сумма сил токов во всех n параллельно соединенных проводниках равна силе тока до и после разветвления:

$$I = I_1 + I_2 + ... + I_n.$$

Напряжение во всех проводниках одно и то же, равное разности потенциалов в узлах соединения. Общая проводимость цепи равна

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{U} = \frac{I_1 + ... + I_n}{U} = \frac{I}{R_1} + ... + \frac{I}{R_n}.$$

Если $R_1 = R_2 = ... = R_n$, то $R = \frac{R_1}{n}$.

Закон 0ма для замкнутой цепи:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

где ε - ЭДС источника; I - сила тока в цепи; R - суммарное сопротивление внешней цепи; r - внутреннее сопротивление источника.

Электродвижущая сила источника тока равна сумме падений напряжений на всех участках замкнутой электрической цепи: $\begin{cases} \varepsilon = IR + Ir \\ \varepsilon = U_R + U_r \end{cases}$.

Напряжение на зажимах источника

$$U_R = IR = \varepsilon - Ir,$$

если внутри источника ток направлен от отрицательного полюса к положительному; при противоположном направлении тока

$$U_R = \varepsilon + Ir.$$

При разомкнутой цепи ($I = 0$, $R = \infty$) напряжение на зажимах элемента наибольшее, т.е. равно ЭДС источника. При коротком замыкании (сопротивление цепи очень мало: $R \to 0$) напряжение на зажимах источника наименьшее и соответственно падение напряжения во внутренней части цепи наибольшее. Источник тока при коротком замыкании дает

максимальный для него ток: $I_{max} = \dfrac{\varepsilon}{r}$ $(R \to 0)$.

Измерение тока

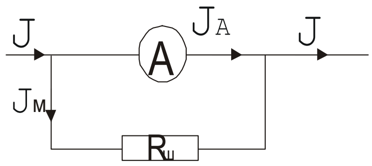


Рис. 7.1

Амперметр должен обладать возможно малым сопротивлением, т.к. его вводят в цепь последовательно со всеми другими проводниками, через которые проходит измеряемый ток. Обычно амперметр рассчитан на измерение величины силы тока до некоторого значения I_{max}.

Для измерения токов $I > I_{max}$ к амперметру параллельно подключают сопротивление $R_ш$, называемое шунтом (рис. 7.1),

$$R_ш = \frac{R_A}{n-1}; \quad n = \frac{I}{I_A}.$$

Измерение напряжения

Если необходимо измерить напряжение U, больше того напряжения U_{max}, на которое рассчитан вольтметр, то последовательно с ним (рис. 7.2) включают дополнительное сопротивление $R_Д$.

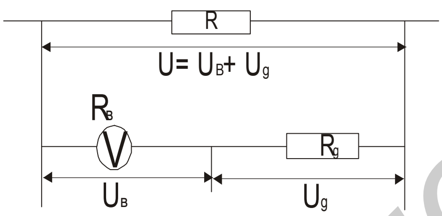


Рис. 7.2

Очевидно, $U = U_В + U_Д$, где $U_Д$ - падение напряжения на дополнительном сопротивлении.

Пусть у вольтметра сопротивлением $R_Д$ необходимо расширить предел измерения напряжения в n раз ($U = nU_В$).

Тогда величина добавочного сопротивления рассчитывается следующим образом:

$$U = nU_В; \quad U = U_В + U_Д; \quad U_Д = U - U_В = U_В(n-1);$$

$$\frac{U_В}{R_В} = \frac{U_В}{R_Д}; \quad (I = const); \quad R_Д = R_В(n-1).$$

Работа постоянного электрического тока

$$A = qU = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t,$$

где q - заряд, прошедший по проводнику; U - напряжение; I - сила тока; t - время прохождения тока; R - сопротивление.

Мощность постоянного тока

$$P = \frac{q \cdot U}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

Закон Джоуля – Ленца: количество теплоты, выделяемое проводником сопротивлением R с током силой I,

$$Q = I^2Rt,$$

где t - время прохождения тока.

Полная мощность, развиваемая источником тока,

$$P = I\varepsilon = I^2(R+r) = \frac{\varepsilon^2}{R+r},$$

где ε - ЭДС источника с внутренним сопротивлением r, замкнутого на внешнее сопротивление R.

Полезная мощность (мощность, которая выделяется на внешнем участке цепи сопротивлением R)

$$P_П = IU = \frac{U^2}{r} = I\varepsilon - I^2r = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)}.$$

КПД источника тока:

$$\eta = \frac{P_П}{P} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R}{R+r}.$$

Соединение источников

Сила тока в цепи при последовательном соединении различных источников

$I = \dfrac{\varepsilon_1 \pm \varepsilon_2 \pm ... \pm \varepsilon_n}{R + r_1 + r_2 + ... + r_n}$, где r_n - внутреннее сопротивление источников. Складываются ЭДС источников, дающих ток в одном направлении, и вычитаются ЭДС источников, дающих ток в разных направлениях.

Сила тока в цепи при последовательном соединении n одинаковых источников

$$I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}.$$

Сила тока в цепи при параллельном соединении n одинаковых источников

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r/n}.$$

Закон Фарадея для электролиза:

$m = kq = kIt$, где q - заряд, проходящий через электролит за время t; I - сила тока; $k = \dfrac{\mu}{F \cdot n}$ - электрохимический эквивалент; μ - молярная масса и n - валентность вещества; $F = eN_A$ - число Фарадея; e - элементарный электрический заряд; N_A - постоянная Авогадро. $F = 9{,}65 \cdot 10^4$ Кл/моль.

Закон Ампера: на прямой проводник длиной l с током I, находящийся в однородном магнитном поле, действует сила

$$F = IBl\sin\alpha,$$

где B - модуль вектора магнитной индукции $\vec{B}$; α - угол между направлением тока и вектором магнитной индукции.

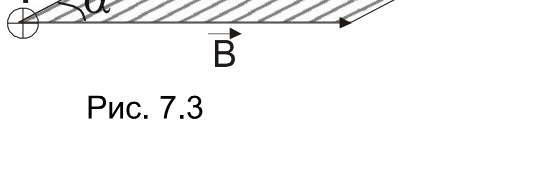


Рис. 7.3

Направление этой силы определяется правилом левой руки: если левую руку расположить так, чтобы направление четырёх вытянутых пальцев указывало направление тока, а магнитные линии $\vec{B}$ "входили" в ладонь, то отставленный в сторону большой палец укажет направление силы $\vec{F}$ (рис. 7.3).

Закон Ампера можно представить в виде векторного произведения:

$$\vec{F} = I\left[\vec{l}\vec{B}\right].$$

Направление вектора $\vec{l}$ совпадает с направлением тока в проводнике (т.е. с направлением движения положительных зарядов), а направление $\vec{F}$ определяется по правилу векторного произведения: вращение по кратчайшему пути от первого сомножителя, $\vec{l}$, ко второму, $\vec{B}$, связано с направлением $\vec{F}$ правилом буравчика. Векторы $\vec{l}$ и $\vec{B}$ лежат в плоскости рисунка, вектор $\vec{F}$ направлен от нас перпендикулярно к плоскости рисунка. Модуль векторного произведения численно равен площади параллелограмма, построенного на перемножаемых векторах (см. рис. 7.3). Правилом векторного произведения удобно пользоваться при определении направлений магнитной составляющей силы Лоренца, момента сил (в статике).

<u>Сила Лоренца</u>: если точечный заряд находится одновременно в электрическом и магнитном полях, то сила, действующая на него, будет равна сумме электрической и магнитной сил:

$$\vec{F}_{\text{Л}} = \vec{F}_{\text{ЭЛ}} + \vec{F}_{\text{М}} = q\vec{E} + q\left[\vec{v}\vec{B}\right]; \quad |\vec{F}_{\text{Л}}| = qE + qvB\sin\alpha,$$

где q - модуль заряда частицы; $\vec{v}$ - её скорость; $\vec{B}$ - магнитная индукция; $\vec{E}$ - напряженность электрического поля; α - угол между направлением скорости частицы и вектором магнитной индукции. Иногда рассматривая движение частиц в магнитном поле, магнитную силу $\vec{F}_M$ называют силой Лоренца.

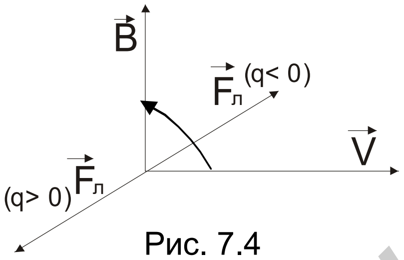


Рис. 7.4

Направление $\vec{F}_M$ определяется по правилу буравчика вращением от вектора $\vec{v}$ к вектору $\vec{B}$ по кратчайшему пути (если q>0), для q<0 направление $\vec{F}_M$ будет противоположным (рис.7.4).

Поступательное движение буравчика определит направление магнитной составляющей силы Лоренца.

<u>Принцип суперпозиции магнитных полей</u>: магнитная индукция поля в данной точке, порождаемого несколькими электрическими токами (движущимися зарядами), равна векторной сумме магнитных индукций, порождаемых каждым током в отдельности:

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^{n} \vec{B}_i .$$

<u>Поток магнитной индукции</u> (магнитный поток) через поверхность площадью S:

$$\Phi = BS\cos\alpha ,$$

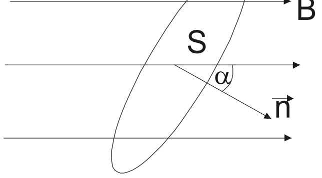


Рис. 7.5

где B - модуль вектора магнитной индукции; α - угол между векторами $\vec{B}$ и нормалью $\vec{n}$ к поверхности в данной точке (рис. 7.5).

Закон электромагнитной индукции

Согласно закону Фарадея, при изменении магнитного потока через поверхность, ограниченную замкнутым проводящим контуром, в нем возникает электродвижущая сила:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}.$$

Знак минус в этой формуле следует из правила Ленца.

Правило Ленца: возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поде препятствует изменению потока, вызывающего ЭДС индукции.

ЭДС индукции в проводнике, движущемся в постоянном во времени магнитном поле с индукцией B,

$$\varepsilon_i = \mathrm{Blv}\sin\alpha,$$

где l - длина проводника; υ - его скорость; α - угол между векторами $\vec{B}$ и $\vec{v}$.

Магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, возникающий при прохождении по этому контуру тока силой I,

$$\Phi = \mathrm{LI}; \quad \Phi = \mathrm{NBS}\cos\alpha,$$

где L - индуктивность контура; N - число витков.

ЭДС самоиндукции

При изменении тока в замкнутом контуре возникает ЭДС самоиндукции

$$\varepsilon_{si} = -\mathrm{L}\frac{\Delta I}{\Delta t}; \quad |\varepsilon_{si}| = \left|-\mathrm{L}\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|.$$

Энергия магнитного поля тока силой I равна $W = L\frac{I^2}{2}$.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Источник какого напряжения надо подключить с помощью провода длиной 27 м и сечением 0,1 мм^2 с удельным сопротивлением $1{,}1\cdot10^{-6}$ Ом$\cdot$м к лампочке, рассчитанной на напряжение 120 В и мощностью 40 Вт, чтобы она горела в нормальном режиме?

Дано:
$\mathrm{l} = 27$ м
$\mathrm{S} = 10^{-7}$ м^2
$\rho = 1{,}1\cdot10^{-6}$ Ом$\cdot$м
$\mathrm{U} = 120$ В
$\mathrm{P_Л} = 40$ Вт

$\mathrm{U} - ?$

Решение

Напряжение источника (рис. 7.6) складывается из падения напряжения на лампочке и падения напряжения на подводящих проводах $U_{ПР}$:

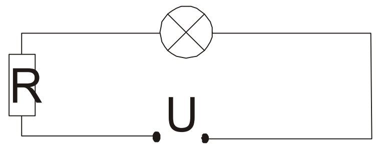
$$\mathrm{U} = \mathrm{U_Л} + \mathrm{U_{ПР}}. \quad (1)$$

При работе лампочки в нормальном режиме силу тока через лампочку можно определить, зная выделяющуюся на ней мощность и падение напряжения

$$\mathrm{I} = \frac{\mathrm{P_Л}}{\mathrm{U_Л}}. \quad (2)$$

Сила тока через лампочку и сопротивление R одна и та же, поэтому

$$\mathrm{U_{ПР}} = \mathrm{IR} = \frac{\mathrm{P_Л}}{\mathrm{U_Л}}\rho\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{s}}. \quad (3)$$



Подставляя выражение (3) в (1), получаем:

$$U = U_Л + \frac{P_Л \cdot \rho \cdot 1}{U_Л S}; \quad U = 219 \ (В).$$

Рис.7.6

Ответ: 219.

2. Линия имеет сопротивление 30 0м. Какое напряжение должен иметь генератор, чтобы при передаче по этой линии к потребителю мощности 24 кВт потери в линии не превышали 4% передаваемой мощности?

Дано:
$R = 300 \ Ом$
$P_0 = 24 \cdot 10^3 \ Вт$
$P_л = 0{,}04P$
$U - ?$

Решение

Мощность, передаваемая генератором, равна $P = IU$, где U - напряжение генератора; $P = P_0 + P_Л$. Тепловые потери мощности определяются в соответствии с законом Джоуля – Ленца: $P_Л = I^2R$. Необходимую силу тока в цепи находим из уравнения $P_Л = 0{,}04P$ или $I^2R = 0{,}04(P_0 + I^2R)$;

$$I = \sqrt{\frac{4P_0}{96R}}.$$

Напряжение генератора равно

$$U = \frac{P}{I} = \frac{P_0 + I^2R}{I} = \left(P_0 + \frac{4P_0}{96}\right)\sqrt{\frac{96R}{4P_0}}; \quad U = 4325 \ (В).$$

Ответ: 4325.

3. При двух различных сопротивлениях нагрузки отношение напряжений на клеммах источника тока равно 5, а полезная мощность в обоих случаях одинакова и равна 25 Вт. Определите силу тока короткого замыкания, если электродвижущая сила источника равна 36 В.

Дано:
$n = U_1/U_2 = 5$
$P = 25 \ Вт$
$\varepsilon = 36 \ В$
$I_{КЗ} - ?$

Решение

Сила тока короткого замыкания определяется из соотношения $I_{КЗ} = \frac{\varepsilon}{r}$, где ε - электродвижущая сила; r - внутреннее сопротивление источника тока. Из условия равенства мощностей P_1, и P_2, а также с учетом того, что $P = I^2R$ и $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$, приходим к следующему выражению:

$$\frac{\varepsilon^2}{(R_1 + r)^2} R_1 = \frac{\varepsilon^2}{(R_2 + r)^2} R_2,$$

из которого после несложных алгебраических преобразований находим

$$r = \sqrt{R_1 R_2}, \qquad (1)$$

где R_1 и R_2 - сопротивление нагрузки в первом и втором случаях.

Исходя из условия $P_1 = P_2$ и выражений $U = IR$ и $P = IU = I^2R$,

получим $I_2 = nI_1$ и $R_1 = n^2R_2$,

откуда с учетом формулы (1) находим $r = nR_2$. Последнее выражение позволяет записать: $I = \frac{\varepsilon}{R_2 + r} = \frac{\varepsilon}{(n+1)R_2}$.

Учитывая, что $P = I^2R$, находим $R = \frac{\varepsilon^2}{(n+1)^2 P}$ и $r = \frac{n\varepsilon^2}{(n+1)^2 P}$.

Используя выражение $I_{КЗ} = \frac{\varepsilon}{r}$ и формулу (2), определяем искомую величину

$$I_{КЗ} = \frac{(n+1)^2 P}{n\varepsilon}.$$

Подстановка числовых значений приводит к результату $I_{КЗ} = 5\ (A)$

Ответ: 5.

4. Во сколько раз заряд частицы, движущейся со скоростью 1000 км/с в магнитном поле с индукцией 0,3 Тл по окружности радиусом 0,04 м больше заряда электрона? Кинетическая энергия частицы 12 кэВ.

Дано:	Решение
$v = 10^6$ м/с $B = 0{,}3$ Тл $R = 0{,}04$ м $W = 12$ кэВ $\frac{q}{e} - ?$	Под действием магнитной составляющей силы Лоренца частица движется по окружности в однородном магнитном поле только в том случае, когда вектор скорости частицы направлен перпендикулярно индукции магнитного поля. Запишем второй закон Ньютона для частицы с учетом того, что ускорение частицы является центростремительным:

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

откуда следует, что

$$W = \frac{mv^2}{2} = \frac{qvBR}{2}.$$

Тогда $\frac{q}{e} = \frac{2W}{evB}R.$

Подставляя числовые значения, получаем $\frac{q}{e} = 2.$

Ответ: 2.

5. Круговой контур находится в однородном магнитном поле. Во сколько раз возрастает максимальный поток магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, при увеличении длины контура в 2 раза?

Дано:	Решение
$l_2 = 2l_1$ $\frac{\Phi_2}{\Phi_1} - ?$	По условию задачи круговой контур находится в однородном магнитном поле и максимальный поток магнитной индукции, пронизывающей плоскость контура, определяется выражением $\Phi_{max} = BS$, где S - площадь, ограниченная круговым контуром.

При увеличении длины контура в 2 раза радиус кругового контура также возрастает в 2 раза, а следовательно, площадь контура - в 4 раза. Таким образом, для отношения потоков имеем

$$\frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{S_2}{S_1} = 4.$$

Ответ: 4.

6. Сила тока в контуре меняется по закону: $I = (25 + 40t)$ А, где t - время в секундах. Определите ЭДС самоиндукции, если при $t = 0$ поток самоиндукции, пронизывающий контур, равен 0,2 Вб.

Дано:

$I = (25 + 40t)$ А

$\Phi_0 = 0{,}2$ Вб

$\varepsilon_{si} - ?$

Решение

При изменении силы тока в контуре с индуктивностью возникает ЭДС самоиндукции, равная

$$|\varepsilon_{si}| = L\left|\frac{\Delta I}{\Delta t}\right|. \qquad (1)$$

Индуктивность контура можно определить, используя связь между потоком самоиндукции в начальный момент времени и начальным значением силы тока $\Phi = LI_0$, откуда $L = \frac{\Phi_0}{I_0}$. (2)

Изменение силы тока ΔI определяем, используя заданную зависимость силы тока от времени,

$$\Delta I = 40\Delta t. \qquad (3)$$

Подставляя выражения (3) и (2) в (1), получаем:

$$\varepsilon_{si} = \frac{\Phi_0}{I_0} \cdot \frac{40\Delta t}{\Delta t} = \frac{0{,}2}{25} \cdot 40 = 0{,}32\ (\text{В}).$$

Ответ: 0,32.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 7

Выберите правильный ответ:

А 1. Из приведенного графика (рис.7.7) зависимости силы тока от напряжения для трех сопротивлений соответственно R_1, R_2 и R_3 следует, что отношение максимального сопротивления к минимальному равно:

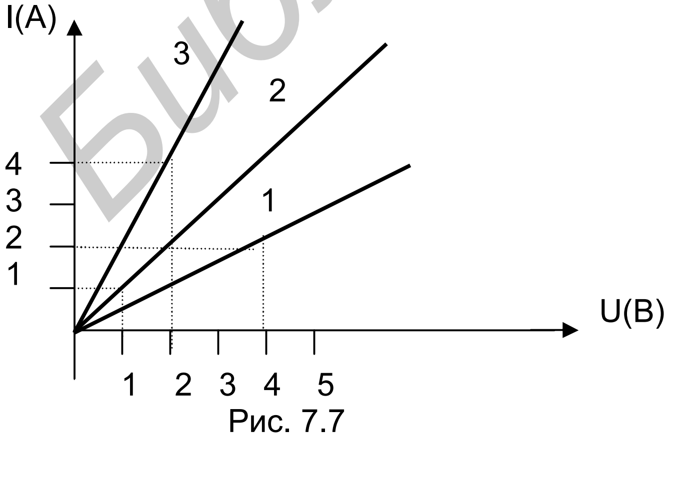


Рис. 7.7

1) 4; 2) 0,25; 3) 2; 4) 0,5; 5) 1

А 2. В цепи, состоящей из трех одинаковых проводников, соединенных параллельно и включенной в сеть, за 1 мин. выделилось некоторое количество теплоты. Такое же количество теплоты выделится в цепи, состоящей из последовательно соединенных этих проводников, за:

1) 9 мин; 2) 3 мин; 3) 20 с; 4) 4,5 мин; 5) 30 с.

А 3. Если увеличить длину проводника вдвое, не изменяя проложенной к нему разности потенциалов и поперечного сечения проводника, то плотность тока в проводнике:

1) увеличится в 4 раза; 2) увеличится в 2 раза; 3) не изменится;
4) уменьшится в 2 раза; 5) уменьшится в 4 раза.

А 4. Период обращения по окружности α-частицы (Тα) и протона (T_p), влетевших в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции с одной и той же скоростью, соотносятся между собой ($m_\alpha = 4m_p$; $q_\alpha = 2q_p$):

1) $T_\alpha = 4T_p$; 2) $T_\alpha = 2T_p$; 3) $T_\alpha = \frac{1}{2}T_p$; 4) $T_\alpha = \frac{1}{4}T_p$; 5) $T_\alpha = 8T_p$.

А.5. Если магнитный поток, пронизывающий виток с сопротивлением 10 Ом, изменяется с течением времени, как показано на рис.7.8, то сила тока в витке в интервале времени 2 с – 4 с равна:

1) 0,1 А; 2) 2 А; 3) 0; 4) 0,4 А; 5) 0,2 А.

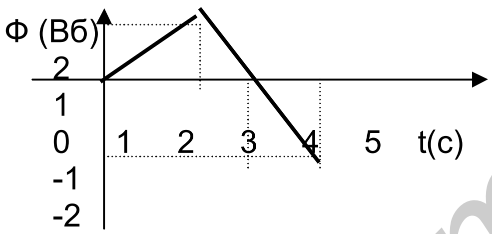


Рис.7.8

Дополните:

В 1. Если сила тока в проводнике меняется по закону $\mathrm{I} = (5 + 2\mathrm{t})\mathrm{A}$, где t - время в секундах, то за время от 5 до 8 с через поперечное сечение проводника пройдет заряд, равный __________Кл.

В 2. Минимальное сопротивление цепи, составленной из 10 резисторов по 5 Ом и 40 резисторов по 20 Ом, равно__________Ом.

В 3. Миллиамперметр со шкалой, рассчитанной на 20 мА, необходимо использовать как амперметр для измерения токов до 1 А. Если сопротивление миллиамперметра равно 4,9 Ом, то сопротивление шунта _________Ом.

В 4. Источник тока имеет ЭДС 1,5 В и внутреннее сопротивление 0,5 Ом. Минимальное число источников тока, соединенных последовательно для получения напряжения 30 В при силе тока 1 А, текущего через источники, равно __________.

В 5. Падение напряжения на клеммах источника меняется в зависимости от силы тока в цепи по закону $U = (6 - 0{,}2 \cdot I)$ В, где I - сила тока в амперах. Сила тока короткого замыкания равна ___________А.

В 6. КПД источника тока равен 0,6,а мощность, выделяющаяся во внешней цепи, равна 20 Вт. Количество теплоты, выделившееся в источнике тока за 5 минут ____________Дж.

В 7. В электролитической ванне прошло 32 000 Кл заряда. Если число Фарадея принять равным 96 000 Кл/моль, то десятичный логарифм числа двухвалентных ионов меди, осевших на катоде в процессе электролиза раствора медного купороса равен __________.

В 8. Две частицы с зарядами +2 мКл и –5 мКл соединены изолятором и движутся со скоростью 1000 м/с перпендикулярно силовым линиям однородного магнитного поля с индукцией 2 Тл. Модуль равнодействующей сил Лоренца равен __________Н.

В 9. Контур площадью 200 см^2 помещен в однородное магнитное поле, индукция которого возрастает на 2 Тл в секунду. Наибольшее сопротивление контура, при котором сила индукционного тока равна 0,25 А, составляет ________Ом.

В 10. Катушка содержит 100 витков. Магнитный поток, пронизывающий один виток, при токе 7,5 А равен 4 мВб. Энергия магнитного поля такой катушки равна ___________Дж.

ТЕМА 8. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Колебаниями называются движения или процессы, обладающие той или иной степенью повторяемости во времени.

Гармоническим колебанием называется колебательное движение, при котором координата тела меняется по закону косинуса или синуса.

Уравнение гармонических колебаний:

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0); \; x = x_m \sin(\omega t + \varphi_0),$$

где x - координата гармонически колеблющейся точки, т.е. смещение её от положения равновесия в данный момент времени; x_m - амплитуда колебаний (модуль максимального смещения точки от положения равновесия); ω - круговая (циклическая) частота; $(\omega t + \varphi_0) = \varphi$ – фаза колебаний в момент времени t; φ_0 - начальная фаза колебаний.

Период колебаний - минимальный промежуток времени Т, по истечении которого повторяются значения всех физических величин, характеризующих периодический колебательный процесс,

$$T = \frac{t}{n}.$$

Частота колебаний - число колебаний, совершаемых в единицу времени (1 с),

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{n}{t},$$

где Т - период; n - число колебаний за время t.

Круговая (циклическая) частота колебаний - число полных колебаний за 2π секунд

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$

Скорость точки, совершающей гармонические колебания,

$$v = -\omega x_m \sin(\omega t + \varphi_0); \;\; v_m = -\omega x_m.$$

Ускорение точки, совершающей гармонические колебания,

$$a = -\omega^2 x_m \cos(\omega t + \varphi_0) = -\omega^2 x; \;\; a_m = -\omega^2 x_m.$$

Сила, под действием которой точка совершает гармонические колебания (квазиупругая сила), пропорциональна смещению и направлена противоположно ему:

$$F = -kx,$$

где $k = m\omega^2$; m - масса точки; ω - круговая частота.
Полная механическая энергия колеблющейся точки

$$W = W_K + W_P = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2} = \frac{kx_m^2}{2} = \frac{m\omega^2 x_m^2}{2},$$

где W_K и W_P - соответственно кинетическая и потенциальная энергии.

Период колебаний математического маятника:

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

где l - длина маятника.

Период колебаний пружинного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m - масса груза, прикрепленного к пружине; k - жесткость (коэффициент упругости) пружины.

Длина волны λ, частота ν и скорость волны v связаны между собой формулой

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{\nu},$$

Уравнение плоской волны имеет вид

$$x = x_m \sin\omega\left(t - \frac{r}{v}\right),$$

где r - расстояние, пройденное волной от источника колебаний до рассматриваемой точки.

Разность фаз двух колеблющихся точек, находящихся на расстояниях r_1 и r_2 от источника колебаний, равна

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda}.$$

Колебательный контур представляет собой замкнутую цепь, обладающую емкостью C и индуктивностью L.

Период собственных колебаний контура (формула Томсона)

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Переменный ток - это ток, периодически изменяющийся по модулю и направлению.

Мгновенные значения ЭДС e, напряжения u и силы i переменного тока соответственно равны:

$$\varepsilon = \varepsilon_m \sin(\omega t + \varphi_0); \; u = U_m \sin(\omega t + \varphi_0); \; i = I_m \sin \omega t,$$

где $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ - круговая частота; T - период; E_m, U_m, I_m - амплитудные значения ЭДС, напряжения и силы тока; φ_0 - начальная фаза ЭДС или напряжения. Начальная фаза силы тока принята равной нулю (разность фаз между током и напряжением зависит от вида нагрузки во внешней цепи).

Разность фаз между током и напряжением определяется формулой

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R},$$

где L, C, R- соответственно индуктивность катушки, емкость конденсатора и активное сопротивление резистора, последовательно включенных в цепь переменного тока.

Индуктивное сопротивление катушки:

$$X_L = \omega L; \; \omega L = \frac{U_m}{I_m}.$$

Емкостное сопротивление конденсатора:

$$X_C = \frac{1}{\omega C}; \; \frac{1}{\omega C} = \frac{U_m}{I_m}.$$

Полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Закон Ома для электрической цепи переменного тока:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} \text{ или } I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Действующие (эффективные) значения силы переменного тока, напряжения и ЭДС:

$$I_{эф} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; \; U_{эф} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; \; \varepsilon_{эф} = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}}.$$

Эффективной силой и эффективным напряжением переменного синусоидального тока называются сила и напряжение постоянного тока, который производит такое же тепловое действие, как и данный переменный ток.

Количество теплоты, которая выделяется в проводнике активным сопротивлением R при прохождении по нему переменного тока в течение времени t,

$$Q = I^2 R t.$$

На индуктивном и емкостном сопротивлениях теплота не выделяется.

Коэффициент мощности ($\cos\varphi$) - это отношение активной мощности в цепи переменного тока P к полной мощности $P_1 = IU$:

$$\cos\varphi = \frac{P}{P_1}; \; P = P_1\cos\varphi = IU\cos\varphi = \frac{I_m U_m}{2}\cos\varphi .$$

Коэффициент трансформации:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

где N_1, N_2 - число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора; U_1, U_2 - напряжения на первичной и вторичной обмотках.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Тело совершает гармонические колебания. Определите циклическую частоту колебаний, если максимальная сила, действующая на тело в процессе колебаний, равна 4 Н, а максимальный импульс равен $8\ \text{Н}\cdot\text{с}$.

Дано:

$F_{max} = 4\ \text{Н}$

$P_m = 8\ \text{Н}\cdot\text{с}$

$\omega - ?$

Решение

Пусть смещение точки из положения равновесия определяется выражением

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

Скорость и ускорение тела меняются со временем следующим образом:

$$v = -A\omega\sin(\omega t + \varphi_0); \qquad a = -A\omega^2\cos(\omega t + \varphi_0).$$

Тогда $v_{max} = A\omega$ и $a_{max} = A\omega^2$.

Учитывая, что импульс тела $P = mv$, а сила, действующая на тело в процессе колебаний, $F = ma$, получаем: $P_{max} = Am\omega$; $F_{max} = Am\omega^2$.

Отсюда $\omega = \frac{F_{max}}{P_{max}} = 0{,}5$ (рад/с).

Ответ 0,5.

2. Точка совершает гармонические колебания с периодом 0,314 с и амплитудой 20 см. Определите модуль скорости точки в тот момент, когда смещение точки из положения равновесия равно 10 см.

Дано:

T = 0,314 с

A = 20 см

X = 10 см

v - ?

Решение

Смещение и скорость точки при гармонических колебаниях определяются соотношениями:

$$x = A\cos(\omega t + \varphi_0); \qquad (1)$$

$$v = -A\omega\sin(\omega t + \varphi_0). \qquad (2)$$

По условию задачи $x = \frac{A}{2}$ и, следовательно, в этот момент времени $\cos(\omega t + \varphi_0) = \frac{1}{2}$.

Зная значение $\cos(\omega t + \varphi_0)$, можно найти $\sin(\omega t + \varphi_0)$ в тот же момент времени:

$$\sin(\omega t + \varphi_0) = \sqrt{1 - \cos^2(\omega t + \varphi_0)} = \frac{\sqrt{3}}{2}. \qquad (3)$$

Подставляя (3) в выражение (2), получаем:

$$|\vec{v}| = \frac{A\omega\sqrt{3}}{2} = \frac{A\pi\sqrt{3}}{T} = \frac{0{,}2\cdot 3{,}14\cdot 1{,}73}{0{,}314} = 3{,}46\ (\text{м/с}).$$

Ответ: 3,46.

3. Математический маятник длиной 0,5 м, подвешенный в кабине самолета, совершает гармонические колебания. Определите циклическую частоту колебаний маятника при движении самолета в горизонтальном направлении с постоянным ускорением 7,5 м/с^2.

Дано:	Решение
$l = 0{,}5$ м	Математический маятник представляет собой тело небольших размеров, подвешенное к потолку кабины самолета на длинной невесомой нити. Рассмотрим движение этого тела в системе отсчета, связанной с Землей. Для этого используем второй закон Ньютона:
$a = 7{,}5$ м/с^2	
$\omega - ?$	

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{T},$$

где $\vec{a}$ - ускорение тела, равное ускорению самолета; $\vec{T}$ - сила натяжения нити. Сопоставим второму закону Ньютона треугольник сил (рис. 8.1). Из анализа треугольника сил следует, что нить с телом отклоняется от вертикали на угол α, и модуль силы натяжения определяется соотношением

$$T = m\sqrt{g^2 + a^2}.$$

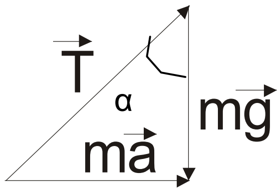


Рис. 8.1

Наблюдатель в самолете может считать, что в кабине устанавливается некоторое эффективное поле тяготения, направленное под углом α к вертикали, для которого ускорение свободного падения равно

$$g_{ЭФ} = \sqrt{g^2 + a^2}.$$

Период колебаний математического маятника в этом поле определяется выражением

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_{ЭФ}}},$$

а циклическая частота колебаний $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$ оказывается равной

$$\omega = \sqrt{\frac{g_{ЭФ}}{l}} = \sqrt{\frac{\sqrt{g^2 + a^2}}{l}}.$$

Подставляя заданные числовые значения, получаем $\omega = 5$ (рад/с).

Ответ: 5.

4. Во сколько раз уменьшится период вертикальных колебаний груза, висящего на двух одинаковый пружинах, если от последовательного соединения пружин перейти к параллельному их соединению?

Дано:	Решение
$k_1 = k_2 = k$	Период колебаний пружинного маятника определяется выражением
$\dfrac{T''}{T'} - ?$	

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m - масса тела; k - коэффициент жесткости пружины.

При последовательном соединении пружин коэффициент жесткости получившейся пружины уменьшается вдвое $\left(k'' = \frac{k}{2}\right)$, а при параллельном соединении - возрастает вдвое $(k' = 2k)$. Таким образом, для периодов колебаний груза имеем:

$$T'' = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k''}} = 2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}};\quad T' = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k'}} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{2k}}\ .$$

Разделив период T'' колебаний при последовательном соединении пружин на период T' колебаний при параллельном соединении, получаем $\frac{T''}{T'} = 2$.

Ответ: 2.

5. Заряд конденсатора емкостью 2 мкФ в колебательном контуре меняется по закону: $q = 0{,}04 cos\varphi$, где φ - фаза колебаний. Найдите энергию магнитного поля в катушке индуктивности при φ=30°.

Дано:

$C = 2$ мкФ

$q = 0{,}4 cos\varphi$ Кл

$\varphi = 30^0$

$W_м - ?$

Решение

Полная энергия при электромагнитных колебаниях складывается из энергии электрического поля в конденсаторе и энергии магнитного поля в индуктивности:

$$W = \frac{q^2}{2C} + W_M,$$

где W_M - энергия магнитного поля в катушке индуктивности.

При гармонических колебаниях полная энергия остается постоянной во времени. В тот момент времени, когда заряд на обкладках конденсатора достигает максимального значения, ток в катушке отсутствует и полная энергия является чисто электрической

$$W = \frac{q_{max}^2}{2C}.$$

Учитывая это, получаем:

$$\frac{q_{max}^2}{2C} = \frac{q^2}{2C} + W_M,$$

откуда

$$W_M = \frac{q_{max}^2}{2C} - \frac{q_{max}^2 \cos^2\varphi}{2C} = \frac{q_{max}^2}{2C}\sin^2\varphi.$$

Подставляя числовые значения, получаем $W_M = 100$ (Дж).

Ответ: 100.

6. Определите модуль разности фаз колебаний двух точек, удаленных от источника колебаний на расстояния 3,5 и 2 м, если период колебаний равен 0,25 с, а скорость распространения колебаний равна 6 м/с.

Дано:

$r_1 = 2$ м

$r_2 = 3{,}5$ м

$T = 0{,}25$ с

$v = 8$ м/с

$\Delta\varphi - ?$

Решение

Разность фаз колебаний двух точек обусловлена временной задержкой, связанной со временем прохождения волной расстояния между этими точками, т.е.

$$\Delta\varphi = \omega\Delta t = \omega\frac{r_2 - r_1}{v},$$

где ω - циклическая частота колебаний; $(r_2 - r_1)$ - расстояние между точками; v - скорость распространения волны. Выражая циклическую частоту через период колебаний T, получаем:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi(r_2 - r_1)}{Tv} = 2\pi; \;\; \Delta\varphi = 6{,}28 \text{ (рад)}.$$

0твет:6,28.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 8

Выберите правильный ответ:

А 1. Уравнение гармонических колебаний имеет вид $x = 4\sin 2\pi t$ *(м).* Определите ускорение колеблющейся точки в момент времени, равный 0,5 с от начала движения.

1) $16\pi^2 м/с^2$; 2) $8\pi^2 м/с^2$; 3) *0*; 4) $-8\pi^2 м/с^2$; 5) $-16\pi^2 м/с^2$.

А 2. При уменьшении массы пружинного маятника в 2 раза и уменьшении амплитуды его колебаний в 2 раза период его колебаний:

1) увеличивается в 4 раза; 2) увеличивается в 2 раза; 3) увеличивается в $\sqrt{2}$ раз; 4) не изменяется; 5) уменьшается в $\sqrt{2}$ раз.

А 3. Уравнение гармонического колебания материальной точки, максимальная скорость которой 2π м/с, период колебаний 2 с, смещение точки от положения равновесия в начальный момент 1 м, имеет вид:

1) $x = 2\sin(\pi t + \frac{\pi}{6})$ (м); 2) $x = 5\sin(\pi t + \frac{\pi}{3})$ (м); 3) $x = 0{,}2\sin(2\pi t + \frac{\pi}{6})$ (м);

4) $x = 1\sin(2\pi t + \frac{\pi}{3})$ (м); 5) $x = 0{,}5\sin(\pi t + \frac{\pi}{6})$ (м).

А 4. При переходе из одной среды в другую скорость распространения звуковой волны уменьшилась на 30%. Как изменится при этом длина волны?

1) увеличится на 30%; 2) уменьшится на 30%; 3) уменьшится на 70%;
4) не изменится; 5) увеличится на 70%.

А 5.Энергия заряженного конденсатора в идеальном колебательном контуре через $\frac{1}{6}$ периода свободных колебаний после подключения конденсатора к катушке индуктивности уменьшится:

1) в 6 раз; 2) в 3 раза; 3) в $\sqrt{3}$ раз; 4) в 4 раза; 5) в 2 раза.

Дополните:

В 1. Точка, совершающая гармонические колебания вдоль оси X, проходит путь 2 м за 2 полных колебания. Амплитуда колебаний точки равна _______м.

В 2. Точка совершает гармонические колебания по закону $x = 2\cos\varphi$, где φ - фаза колебаний. Начальная фаза колебания равна 15^0. Величина смещения точки от положения равновесия к моменту времени, равному $\frac{1}{12}$ периода колебаний, равна ___________м.

В 3. Если радиус некоторой планеты вдвое меньше радиуса Земли, а плотности их одинаковы, то период колебаний математического маятника на планете больше, чем на Земле в __________раз.

В 4. Груз массой 0,1 кг, подвешенный к пружине, совершает 300 колебаний в минуту. Жесткость пружины равна _________Н/м.

В 5. Имеется два колебательных контура с одинаковыми катушками и конденсаторами. В катушку одного из них вставили железный сердечник, увеличивший ее индуктивность в 4 раза. Если максимальные заряды на конденсаторах одинаковы, отношение резонансных частот контуров равно _________.

В 6. Индуктивность контура составляет величину 0,01 Гн, а емкость – 1 мкФ. Конденсатор зарядили до разности потенциалов 200 В. Наибольший ток, возникающий в контуре в процессе электромагнитных колебаний, равен_______А.

В 7. В среде распространяется волна со скоростью 720 м/с при частоте источника 600 Гц. Разность фаз колебаний в двух точках, отстоящих друг от друга на расстояние 0,2 м, составляет __________град.

В 8. Электропечь сопротивлением 22 Ом питается от генератора переменного тока. Количество теплоты, выделяемое печью за 1 ч, если амплитуда силы тока 10 А, равно _________Дж.

В 9. Напряжение на обкладках конденсатора и сила тока через индуктивность в электромагнитном контуре меняются по законам: $U = 2\cos 2000t$ (В) и $I = 4\sin 2000t$ (А). Индуктивность контура равна _________мГн.

В 10. Первичная обмотка понижающего трансформатора включена в сеть с напряжением 220 В. Напряжение на зажимах вторичной обмотки 20 В, ее сопротивление 1 Ом, ток во вторичной цепи 2 А. Если потерями в первичной обмотке пренебречь, то коэффициент трансформации и КПД равны _________.

ТЕМА 9. ОПТИКА.
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

Четыре закона геометрической оптики:

1. Закон прямолинейного распространения света: в однородной среде свет распространяется прямолинейно. Ограничение для этого закона накладывает дифракция света.

2. Закон независимости световых лучей утверждает, что лучи при пересечении не возмущают друг друга.

Суть этого закона выявляется при интерференции света.

3. Закон отражения света: падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, проведенный в точке падения луча, лежат в одной плоскости, причем угол отражения (β) равен углу падения (α) (рис.9.1).

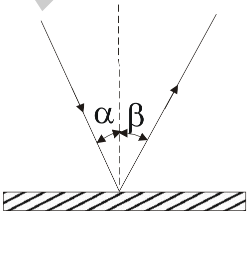
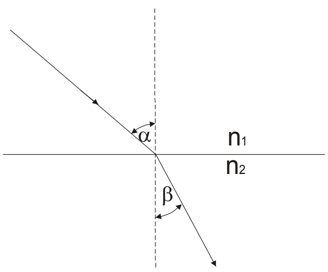


Рис. 9.1

4. Закон преломления света: падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред,



проведенный в точке падения луча, лежат в одной плоскости (рис.9.2); отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для данных двух сред есть величина постоянная, называемая относительным показателем преломления второй среды относительно первой:

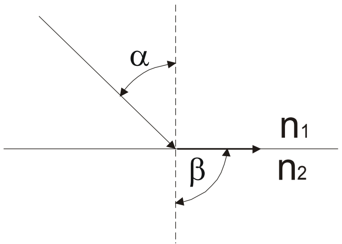
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}.$$

Рис. 9.2

<u>Абсолютный показатель преломления среды</u> - показатель преломления данной среды относительно вакуума. Он показывает $\left(n = \frac{c}{v}\right)$, во сколько раз скорость света в среде меньше скорости света в вакууме.

<u>Относительный показатель преломления</u>

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} = \frac{n_2}{n_1},$$



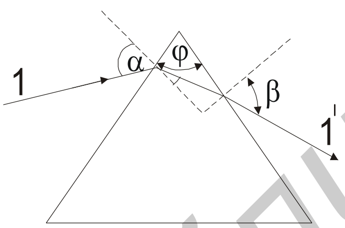
где v_1, v_2 - скорости света в первой и второй средах; n_1, n_2 - абсолютные показатели преломления этих сред.

<u>Предельный угол полного отражения</u> (рис. 9.3)

$$\sin\alpha_0 = \frac{n_2}{n_1};\ \beta = 90^0.$$

Рис.9.3

<u>Призма:</u> преломляющий угол призмы φ; угол отклонения луча в призме



γ - угол между направлениями падающего 1 и отклоненного 1' луча (рис. 9.4):

$$\gamma = (n-1)\varphi,$$

где n - показатель преломления стекла призмы.

<u>Формула тонкой линзы:</u>

$$\pm\frac{1}{F} = \pm\frac{1}{d} \pm \frac{1}{f},$$

Рис.9.4

где F - фокусное расстояние линзы; d - расстояние от предмета до оптического центра линзы; f - расстояние от оптического центра линзы до изображения.

Если фокус, предмет или изображение являются действительными, то перед соответствующими членами этой формулы ставится плюс, если мнимыми - минус.

<u>Оптическая сила линзы:</u> $D = \frac{1}{F}$ дптр.

<u>Линейное увеличение линзы:</u> $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d},$

где H, h - линейные размеры соответственно изображения и предмета.

<u>Увеличение лупы:</u>

$$\Gamma = \frac{d_0}{F},$$

где $d_0 = 25$ см - расстояние наилучшего зрения; F - фокусное расстояние лупы.

Волновые свойства света

Волновые свойства света определяют такие явления, как интерференция, дифракция, поляризация и дисперсия света.

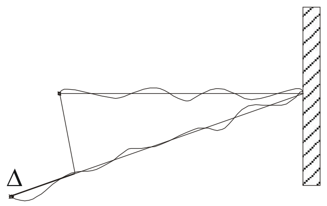


Рис. 9.5

Интерференция света - явление перераспределения световой энергии в пространстве с образованием максимумов и минимумов интенсивности при определенных условиях.

Условие максимума интенсивности света: $\Delta = 2k\frac{\lambda}{2}$,

где $\Delta = (r_2 n_2 - r_1 n_1)$- оптическая разность хода волн; λ - длина волны; $k = 1, 2, ...$ - целое число, определяющее порядок интерференционной полосы; n_2, n_1 - показатели преломления сред , в которых распространяется свет (рис. 9.5).

Условие минимума интенсивности света: $\Delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$.

Интерференцией света еще называют явление наложения когерентных световых волн. Условия наблюдения интерференции света: одинаковое направление распространения колебаний, одинаковая частота и постоянство разности фаз.

Дифракция света - совокупность явлений, наблюдаемых при распространении света в средах с резкими неоднородностями (например, вблизи границ непрозрачных или прозрачных тел, сквозь малые отверстия и т.д.) и связанных с отклонениями от законов геометрической оптики.

Дифракция приводит к огибанию световыми волнами препятствий и проникновению света в область геометрической тени. Дифракцию света можно наблюдать, например, с помощью дифракционной решетки.

Формула дифракционной решетки (или формула главных максимумов):

$$d \sin\varphi = \pm k\lambda,$$

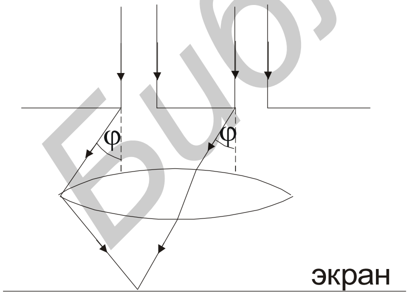


Рис. 9.6

где $d = a + b$ - период дифракционной решетки (рис. 9.6); a - ширина щели; b - ширина непрозрачного промежутка между щелями; φ - угол дифракции (отклонения луча); λ - длина волны падающего на решетку света; k=0,1,2,...-целое число, определяющее порядок спектра (порядок максимума).

Схематически спектр дифракционной решетки можно представить следующим образом (рис. 9.7).

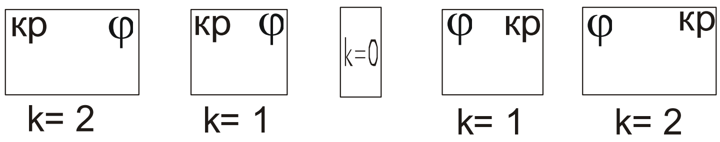


Рис. 9.7

Если на дифракционную решетку падает белый свет, то в центре всегда наблюдается белая полоса (к = 0), а симметрично с обеих сторон - спектры первого и т.д. (k=1,2...) порядков. Так как λ~φ (видно из формулы дифракционной решетки), то в спектре ближе к центру располагаются лучи сине-фиолетового цвета, а дальше – красного.

<u>Дисперсия света</u> - явление, обусловленное зависимостью показателя преломления вещества от длины (частоты) световой волны.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1.Луч, падающий на призму с показателем преломления 1,5 перпендикулярно боковой грани, отклоняется на угол 0,03 радиана. Определите в радианах преломляющий угол призмы. В расчетах синусы углов заменить их аргументами.

Дано:
$n = 1{,}5$
$\beta = 0{,}03$ рад

$\alpha - ?$

Решение

Луч, падающий на призму перпендикулярно боковой грани, испытывает преломление только на выходе из призмы (рис. 9.9). Из геометрических соображений видно, что угол падения луча на грань призмы АС равен α, а угол преломления $(\alpha+\gamma)$. На основании закона преломления света можно записать: $n\sin\alpha = \sin(\alpha+\gamma)$

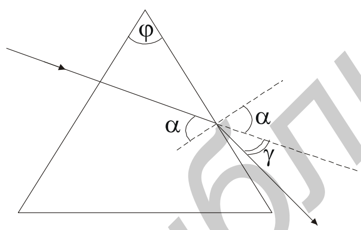


Рис. 9.9

или $n\alpha = \alpha + \gamma$.

Отсюда

$$\alpha = \frac{\gamma}{n-1} = 0{,}06 \text{ (рад).}$$

Ответ: 0,06.

2. С помощью собирающей линзы на экране получено уменьшенное изображение. Размер предмета равен 6 см, размер изображения 4 см. Оставляя экран и предмет неподвижными, линзу перемещают в сторону предмета. Определите величину второго четкого изображения.

Дано:
$h = 6$ см
$H_1 = 4$ см

H_2 - ?

Решение

Пусть расстояние между предметом и экраном равно L (рис. 9.10). На рисунке изображено такое положение линзы между предметом и экраном, при котором на экране получается четкое изображение предмета. Увеличение линзы определяется отношением

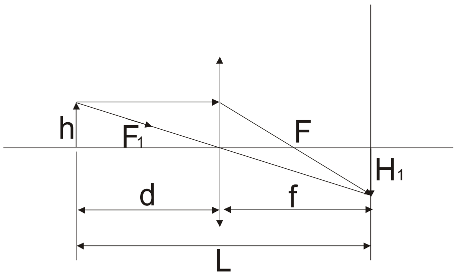


Рис.9.10

$$\Gamma_1 = \frac{H_1}{h} = \frac{f}{d},$$

где расстояния d и f связаны, с одной стороны, формулой линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F},$$

а с другой стороны, $(d + f) = L$.

Второе четкое изображение предмета на экране получается при таком положении линзы, когда расстояние от предмета до линзы равно f, а расстояние от линзы до экрана равно d. В этом случае также справедливы соотношения $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ и $d + f = L$.

Коэффициент линейного увеличения во втором случае равен

.

$$\Gamma_2 = \frac{H_2}{h} = \frac{d}{f}.$$

Таким образом, коэффициенты увеличения линзы для двух случаев получения четкого изображения предмета на экране при неизменном расстоянии между предметом и экраном связаны соотношением $\Gamma_1 = \frac{1}{\Gamma_2}$, откуда следует, что $\frac{H_1}{h} = \frac{h}{H_2}$.

Из последнего равенства находим величину второго изображения:

$$H_2 = \frac{h^2}{H_1}; \;\; H_2 = 9 \text{ см} = 0{,}09 \text{ (м)}$$

Ответ: 0,09.

3. Главная оптическая ось собирающей линзы совпадает с осью X в прямоугольной системе отсчета (XOY), где X и Y даны в метрах. Падающий и преломленный лучи задаются уравнениями: $y = 5 + 0{,}15x$ и $y = 7 - 0{,}1x$. Определите фокусное расстояние линзы.

Дано:	Решение
y=5+0,15x y=7-0,10x	Точка пересечения двух заданных прямых лежит в плоскости линзы. Решая относительно x систему уравнений
F - ?	

$$\begin{cases} y = 5 + 0{,}15x, \\ y = 7 - 0{,}10x, \end{cases}$$

находим x-координату линзы: x=8 м.

Предполагая, что точечный источник света и, следовательно, его изображение находятся на оси X, совпадающей с главной оптической осью линзы, находим координаты источника и изображения

$$\begin{cases} 5 + 0{,}15x = 0; \;\; x_1 = \dfrac{-100}{3} \text{ м}, \\ 7 + 0{,}10x = 0; \;\; x_2 = 70 \text{ м}. \end{cases}$$

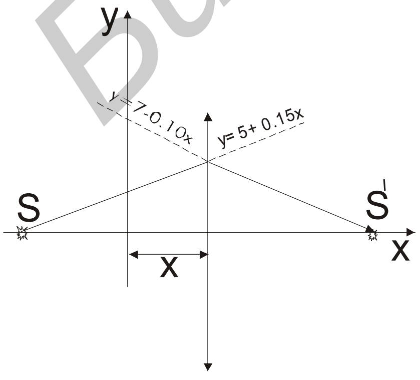


Рис. 9.11

Зная координаты линзы, источника и изображения, определяем расстояния от источника до линзы и от линзы до изображения:

$$d = x - x_1 = \frac{124}{3}\text{ м};\ \ f = x_2 - x = 62\text{ м}.$$

Для определения фокусного расстояния линзы достаточно воспользоваться формулой линзы $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$,

откуда $F = \frac{df}{d+f}$; $F = 24{,}8$ (м).

Ответ: 24,8.

4. Период дифракционной решетки равен 2,5 мкм. Сколько максимумов будет содержать спектр, образующийся при нормальном падении на решетку плоской монохроматической волны, длина которой равна 400 нм?

Дано:
d = 2,5 мкм
$\lambda = 400$ нм

N - ?

Решение

Уравнение для определения главных максимумов дифракционной решетки имеет вид

$$d\sin\varphi_k = k\lambda,$$

где φ_k - угол, под которым виден конечный дифракционный максимум. Максимальный порядок дифракционного спектра соответствует условию $\varphi_k \le \frac{\pi}{2}$, т.е. $k_{max} = \left[\frac{d}{\lambda}\right]$,

где скобки означают ближайшее целое, не превосходящее значение $\frac{d}{\lambda}$.

В нашем случае $k_{max} = [6{,}25] = 6$.

Полное число максимумов N в дифракционном спектре можно получить, зная максимальный порядок спектра, $N = 2k_{max} + 1 = 13$.

В последнем равенстве учтено (см. рис. 9.7), что максимумы располагаются симметрично ($2k_{max}$) и, кроме того, добавлен центральный максимум (при φ=0).

Ответ: 13.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 9

Выберите правильный ответ:

А 1. Чему равен угол полного внутреннего отражения при падении луча на границу раздела двух сред, относительный показатель преломления которых равен 2?
1) 60^0; 2) 45^0; 3) 30^0; 4) 70^0; 5) 50^0.

А 2. Для того чтобы получить изображение предмета в натуральную величину, его следует расположить от собирающей линзы с оптической силой 5 дптр на расстоянии :
1) 0,1 м; 2) 0,2 м; 3) 0,4 м; 4) 0,8 м; 5) 2 м.

А 3.Частота световой волны при переходе из среды с абсолютным показателем преломления 2 в среду с абсолютным показателем преломления 1,5:

1) уменьшается в $\frac{4}{3}$ раза; 2) уменьшается в 3 раза; 3) увеличивается в $\frac{4}{3}$ раза; 4) увеличивается в 3 раза; 5) не изменяется.

А 4. Если стеклянную собирающую линзу опустить в воду, то ее фокусное расстояние:
1) увеличится; 2) не изменится; 3) уменьшится.

А 5. Максимум третьего порядка при дифракции света с длиной волны 600 нм на дифракционной решетке, имеющей 100 штрихов на 1 мм длины, виден под углом:
1) arcsin 0,6; 2) arcsin 0,06; 3) arcsin 0,2; 4) arcsin 0,18; 5) arcsin 0,02.

Дополните:

В 1. Луч лазера с длиной волны 0,6 мкм достигает экрана за 0,02 мкс. Десятичный логарифм от числа длин волн, которые укладываются на пути света от лазера до экрана равен __________.

В 2. Взаимно перпендикулярные лучи 1 и 2 идут из воздуха в жидкость. Угол преломления первого луча равен 30^0, а второго – 45^0. Показатель преломления жидкости равен ___________.

В 3. На нижней поверхности плоскопараллельной пластинки с показателем преломления 1,5 нанесена царапина. Если изображение царапины при рассмотрении по вертикали находится на расстоянии 2 см от верхней поверхности, то толщина пластинки равна _________см.

В 4. Световой луч падает под углом 60^0 к нормали на плоскопараллельную пластинку с показателем преломления 1,73 и толщиной 3,46 см. Пластинка находится в воздухе. Смещение луча при прохождении пластинки равно ________см.

В 5. На тонкую собирающую линзу с фокусным расстоянием 50 см падает сходящийся пучок лучей так, что продолжения лучей пересекаются в заднем фокусе линзы. Преломленные лучи сходятся на расстоянии________ м от линзы.

В 6. Велосипедист движется со скоростью 5 м/с. Его фотографируют с помощью фотоаппарата, который имеет объектив с фокусным расстоянием 10 см. Расстояние от фотоаппарата до велосипедиста 5,1 м. Наибольшая длительность экспозиции при условии, что размытость изображения на снимке не должна превышать 0,1 мм, равна _________ мс.

В 7. Период дифракционной решетки равен 2,5 мкм. Спектр, образующийся при нормальном падении на решетку плоской монохроматической волны, длина которой 400 нм, содержит __________максимумов.

В 8. Перемещая линзу между предметом и экраном, нашли два положения, при которых линза дает на экране четкое изображение предмета. Если высота первого изображения 2 см, а высота второго 8 см, то высота предмета ______см.

В 9. На дифракционную решетку с периодом 0,01 мм падает нормально плоская монохроматическая волна. Расстояние между максимумами первого порядка на экране, расположенном на расстоянии 1 м от решетки, равно 8 см. Длина волны падающего света равна _____ мкм.

В 10. Разность фаз колебаний двух интерферирующих монохроматических лучей света равна 180^0. Разность хода этих лучей составляет ____ часть от длины волны.

Тема 10. ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА.

ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ И ФОРМУЛЫ

В специальной теории относительности (СТО) рассматриваются только инерциальные системы отсчета (ИСО).

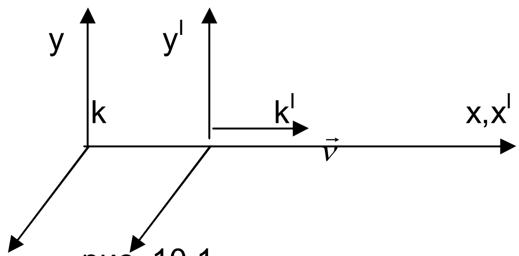


рис. 10.1

Первый постулат СТО (принцип относительности Эйнштейна): в любых ИСО все физические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково.

Второй постулат СТО (принцип постоянства скорости света): скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО и не зависит от движения источников и приемников света.

Релятивистское сокращение длины: если l_0 – длина стержня в системе k^I, относительно которой он покоится и расположен вдоль оси $0^I x^I$, а l – длина этого стержня в системе k, относительно которой он движется со скоростью v (рис. 10.1), то $l = l_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ (при $t = t^I$), где c – скорость света в вакууме. Поперечные размеры стержня не меняются.

Релятивистское замедление времени: если τ_0 - промежуток времени между двумя событиями, происходящими в одной и той же точке, неподвижной относительно системы k^I, а τ - промежуток времени между этими же событиями в системе k, то $\tau_0 = \tau\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ (при $x = x^i$).

Полная энергия свободной (т.е. не подверженной действию сил) релятивистской частицы, определяемая суммарным значением кинетической энергии и энергии покоя, равна

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}; \quad E = c\sqrt{p^2 + m^2c^2},$$

где m - инвариантная масса частицы; v - ее скорость; p - модуль ее импульса.

Энергия покоя неподвижной частицы (внутренняя энергия частицы)

$$\mathrm{E} = \mathrm{mc}^2.$$

В случае сложного тела энергия покоя включает в себя, помимо энергии покоя образующих тело частиц, также кинетическую энергию частиц (обусловленную их движением относительно центра масс тела) и энергию их взаимодействия друг с другом.

Закон взаимодействия массы и энергии покоя утверждает, что всякое изменение массы тела Δm сопровождается изменением энергии покоя ΔE_0, причем эти изменения пропорциональны друг другу:

$$\Delta E_0 = \Delta mc^2.$$

Энергия фотона:

$$E = h\nu = \hbar\omega \quad = h\frac{c}{\lambda},$$

где $\mathrm{h} = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с - постоянная Планка; ν - частота света; $\hbar = h/2\pi$; ω - циклическая частота.

Масса фотона равна нулю (существование частиц с m=0 не противоречит законам релятивистской механики. Из вышеприведенных формул видно, что частица с m=0 может обладать отличными от нуля импульсом и энергией лишь в том случае, если v=c). В монохроматическом свете с частотой ν все фотоны имеют одинаковую энергию, импульс и массу

$$\mathrm{m} = \frac{\mathrm{h}\nu}{\mathrm{c}^2} = \frac{\mathrm{h}}{\mathrm{c}\lambda}.$$

Импульс фотона:

$$\mathrm{p} = \frac{\mathrm{E}}{\mathrm{c}} = \frac{\mathrm{h}\nu}{\mathrm{c}} = \frac{\mathrm{h}}{\lambda}; \quad \lambda \cdot \nu = \mathrm{c}.$$

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$\mathrm{h}\nu = \mathrm{A} + \frac{\mathrm{mv}_{\max}^2}{2}; \quad \mathrm{eU}_3 = \frac{\mathrm{mv}_{\max}^2}{2},$$

где А - работа выхода электрона; $\mathrm{h}\nu$ - энергия фотона.

Красная граница фотоэффекта:

$$\nu_{\min} = \frac{\mathrm{A}}{\mathrm{h}} \text{ или } \lambda_{\max} = \frac{\mathrm{hc}}{\mathrm{A}}.$$

Постулаты Бора:

1. Атомная система может находиться в определенных стационарных (квантовых) состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия, причем в стационарном состоянии атом не излучает.

Квантование круговых орбит, по которым вращаются электроны вокруг ядра, устанавливается следующим правилом:

$$mvr = n\hbar,$$

где m - масса электрона; v - его скорость на n-й орбите; r - радиус n-й орбиты; n = 1,2,3,. .. - порядковый номер орбиты.

2 .При переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается (j$\rightarrow$i) или поглощается (i$\rightarrow$j) квант электромагнитной энергии $\mathrm{h}\nu_{\mathrm{ij}}$ (рис. 10.2):

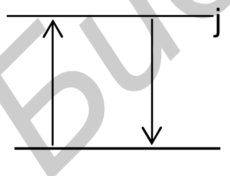


Рис. 10.2

$$\mathrm{h}\nu_{\mathrm{ij}} = \mathrm{E_i} - \mathrm{E_j},$$

где j,i - номера стационарных состояний атома; Ei и Ej - энергия атома в стационарных состояниях.

Атомное ядро $^{A}_{Z}X$,

где X - обозначение соответствующего химического элемента; Z -зарядовое число, совпадающее с атомным номером элемента; A - массовое число (количество нуклонов). Зарядовое число Z равно числу протонов в ядре.

Некоторые элементарные частицы:
${}_1^1p$ - протон; ${}_0^1n$ - нейтрон; ${}_{-1}^{0}e$ - электрон; ${}_{+1}^{0}e$ - позитрон;
${}_2^4\alpha$ (или ${}_2^4He$) - α-частица.

Радиоактивные процессы происходят в соответствии с законами сохранения энергии, электрического заряда и массового числа (количества нуклонов).

1. α - распад: ${}_Z^AX \to {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}_2^4He$.

Скорость α-частиц невелика: $v_\alpha = \left(\frac{1}{30} - \frac{1}{15}\right)c$, где c - скорость света.

2. β- распад: ${}_Z^AX \to {}_{Z+1}^{A}Y + {}_{-1}^{0}e + \tilde{\nu}$; $\tilde{\nu}$ - антинейтрино.

3. γ-излучение - поток фотонов с очень малой длиной волны и, следовательно, с очень большой энергией. Подобно другим электромагнитным волнам, γ - лучи распространяются со скоростью света. γ- распад состоит в испускании ядром γ-кванта без изменения ядра массового числа A и атомного номера Z. γ-кванты не имеют заряда, и, следовательно, на них не действуют кулоновские силы.

Дефект массы ядра - разность между суммарной массой нуклонов и массой ядра:

$$\Delta m = \left[Zm_p + (A - Z)m_n\right] - m_Я ,$$

где Z - число протонов в ядре; N = A - Z - число нейтронов; m_p, m_n - массы свободных протона и нейтрона; $m_Я$ - масса ядра.

Энергия связи равна работе, которую нужно совершить, чтобы разделить ядро на входящие в его состав частицы:

$$E_{св} = \Delta mc^2 = \left\{\left[Zm_p + (A - Z)m_n\right] - m_Я\right\} \cdot c^2 .$$

Атомная единица массы (а.е.м.) - масса, равная 1/12 массы атома изотопа углерода ^{12}C:

1 а.е.м. = $1{,}66053 \cdot 10^{-27}$ кг.

Энергетический эквивалент а.е.м.

$(1\text{ а.е.м.}) \cdot c^2 = 931{,}5$ МэВ.

Энергия связи ядра в мегаэлектрон-вольтах:

$$E_{св} = \Delta mc^2 = \left\{\left[Zm_p + (A - Z)m_n\right] - m_Я\right\} \cdot 931{,}5 ,$$

где массы протона, нейтрона и ядра выражены в атомных единицах массы.

Энергия (энергетический выход) ядерной реакции

$$Q = \left(\sum M_1 - \sum M_2\right) \cdot c^2 ,$$

где $\sum M_1$, $\sum M_2$ - сумма масс покоя ядер и частиц соответственно до и после реакции. Если $\sum M_1 > \sum M_2$, то энергия Q выделяется, если наоборот - поглощается.

Закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_0 - число нераспавшихся ядер в начальный момент времени ($t_0 = 0$), N - число нераспавшихся ядер к моменту времени t, T - период полураспада, $\lambda = \dfrac{\ln 2}{T}$ - постоянная радиоактивного распада.

$\Delta N = N_0 - N$ - число распавшихся ядер.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. При какой скорости кинетическая энергия частицы равна 2/3 ее энергии покоя? Ответ запишите в виде отношения найденного значения скорости частицы к скорости света в вакууме.

Дано:

$\dfrac{T_k}{E_0} = \dfrac{2}{3}$

$\dfrac{v}{c} - ?$

Решение

В механике СТО кинетическая энергия частицы $T = E - E_0$, где полная энергия частицы

$E = \dfrac{E_0}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$; $E_0 = mc^2$ - энергия покоя.

Найдем $\dfrac{T}{E_0} = \dfrac{E}{E_0} - 1$ и выразим $\dfrac{E}{E_0}$:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{T}{E_0} + 1 = \frac{T + E_0}{E_0}, \text{ откуда } \frac{E}{E_0} = \frac{E_0}{T + E_0} = \frac{1}{\dfrac{T}{E_0} + 1} = 0{,}6.$$

Но $\dfrac{E}{E_0} = \sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}$, поэтому $\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}} = 0{,}6$, откуда находим

$\dfrac{v}{c} = \sqrt{1 - 0{,}36} = \sqrt{0{,}64} = 0{,}8.$

Ответ: 0,8.

2. Тренированный глаз после длительного нахождения в темноте воспринимает свет с длиной волны 0,54 мкм при минимальной мощности излучателя $2{,}2 \cdot 10^{-17}$ Вт. Оцените число фотонов, попадающих в глаз наблюдателя за 1с.

Дано:

$\lambda = 0{,}54$ мкм $= 0{,}54 \cdot 10^{-5}$ м

$P = 2{,}2 \cdot 10^{-17}$ Вт

$t = 1$с

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с

$h = 8{,}6 \cdot 10^{-34}$ Дж/с

$N - ?$

Решение

Считая, что вся энергия излучателя полностью превращается в энергию электромагнитного излучения, получим $P \cdot t = h\nu \cdot N$,

где $P \cdot t$ - энергия, отданная излучателем за время t; $h\nu$ - энергия одного фотона; N - число фотонов, излученных за время t.

Из предыдущего равенства легко находим число фотонов, которые попадают в глаз наблюдателя за t =1с:

$$N = \frac{P\lambda}{hc} t \text{, где учтено, что } \nu = \frac{c}{\lambda}.$$

Подстановка числовых данных дает следующий результат:

$$N = \frac{2{,}2 \cdot 10^{-17} \cdot 0{,}54 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{6{,}6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}} = 60.$$

Ответ: 60.

3. При увеличении в 2 раза энергии фотона, падающего на металлическую пластинку, максимальная кинетическая энергия электрона увеличилась в 3 раза. Определите в электрон-вольтах работу выхода электронов из металла, если первоначальная энергия фотона равнялась 5 эВ.

Дано:

$\varepsilon_1 = 5$ эВ

$\varepsilon_2 = 2$ эВ

$E_2 / E_1 = 3$

А - ?

Решение

Используем выражение Эйнштейна для фотоэффекта

$$\varepsilon = A + E,$$

где ε - энергия фотона; А - работа выхода; Е - максимальная кинетическая энергия электрона.

Тогда можем записать $\varepsilon_1 = A + E_1$, и $\varepsilon_2 = A + E_2$,

откуда $\dfrac{\varepsilon_2 - A}{\varepsilon_1 - A} = 3$.

Решая полученные уравнения относительно А, получим А = 1/2 ε_1,
А = 2,5 (эВ).

Ответ 2,5 .

4. Найдите сумму зарядов всех электронов внутри баллона объемом 5 л, содержащего гелий при давлении 1660 Па и температуре 200 К. Число Авогадро равно $6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

Дано:

$V = 5 \cdot 10^{-3}$ м^3

$Z = 2$

$P = 1660$ Па

Т = 200 К

$N_A = 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$

---

q - ?

Решение

Определив число молей из уравнения состояния для идеального газа $\nu = \dfrac{PV}{RT}$ и число атомов в ν молях, $\nu \cdot N_A$, окончательный ответ получим в виде

$$q = -eZ\nu N_A = -eZ\frac{PV}{RT}N_A = -1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot \frac{1660 \cdot 5 \cdot 10^{3}}{8{,}3 \cdot 200} \cdot 6 \cdot 10^{23} =$$
$$= -960 \text{ (Кл)}.$$

Ответ –960.

Контрольная работа №10

Выберите правильный ответ:

А 1. Импульс фотона в прозрачной среде с абсолютным показателем преломления n может быть вычислен по формуле (υ, λ - частота и длина волны фотона в среде):

1) $p = \dfrac{h\upsilon}{nc}$; 2) $p = nh\upsilon$; 3) $p = \dfrac{h\lambda}{n}$; 4) $p = \dfrac{nh\upsilon}{c}$; 5) $p = \dfrac{h\lambda}{nc}$.

А 2. Если максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов в точности равна работе выхода электронов из материала катода А, то длина волны квантов, вызывающих фотоэффект, равна:

1) $\lambda = \dfrac{h\upsilon}{2A}$; 2) $\lambda = \dfrac{hc}{A}$; 3) $\lambda = \dfrac{hc}{2A}$; 4) $\lambda = \dfrac{A}{hc}$; 5) $\lambda = \dfrac{A}{2h\upsilon}$.

А 3. При радиоактивном распаде ядра урана U_{92}^{238} и конечном превращении его в ядро свинца $Pв_{82}^{198}$ должно произойти __ α-распадов и __ β-распадов.

1) 8 и 10; 2) 10 и 8; 3) 10 и 10; 4) 10 и 9; 5) 9 и 10.

А 4. Если энергия первого фотона в 4 раза больше энергии второго, то отношение импульса первого фотона к импульсу второго равно:

1) 8; 2) $\dfrac{1}{8}$; 3) 4; 4) $\dfrac{1}{4}$; 5) 2.

А 5. Для того чтобы масса электрона в состоянии движения была втрое больше его массы покоя, электрон должен двигаться со скоростью v, равной:

1) $\dfrac{1}{\sqrt{3}}c$; 2) $\dfrac{\sqrt{2}}{3}c$; 3) $\dfrac{2\sqrt{2}}{3}c$; 4) $\dfrac{\sqrt{2}}{2}c$; 5) $\dfrac{\sqrt{3}}{2}c$.

Дополните:

В 1. Энергия фотона рентгеновского излучения, длина волны которого равна $3 \cdot 10^{-10}$ м, составляет ________эВ.

В 2. Пучок лазерного излучения с длиной волны $3{,}3 \cdot 10^{-7}$ м используется для нагревания 1 кг воды с удельной теплоемкостью 4200 Дж/кг·К. Если лазер ежесекундно испускает 10^{20} фотонов, и все они поглощаются водой, то вода нагреется на 10^{0}С за время ________с.

В 3. Фотон с энергией 5,3 эВ вырывает с поверхности металлической пластины электрон. Красная граница равна 375 Нм. Чтобы максимальная скорость вылетающих электронов увеличилась в 2 раза, фотон должен обладать энергией _________ эВ.

В 4. Разность между максимальной и минимальной длиной волны, излучаемой атомом, в серии Бальмера равна ____________нм. Ответ округлить до второго знака после запятой.

В 5. В результате поглощения фотона электрон в атоме водорода перешел с первой боровской орбиты на вторую. Частота этого фотона равна __________пГц. (1пГц = 10^{15} Гц).

В 6. Сумма зарядов всех ядер в 0,01 моле неона, порядковый номер которого 10, равна __________ Кл.

В 7. Ядро состоит из 92 протонов и 144 нейтронов. Число протонов и нейтронов в образовавшемся ядре после испускания двух α-частиц и одной β-частицы равно __________.

В 8. Если известно, что продольные размеры тела уменьшаются при движении в 2 раза, то отношение скорости движущегося тела к скорости света равно ________. Ответ округлить до сотых.

В 9. Если частица начинает двигаться со скоростью, квадрат которой составляет 99% от квадрата скорости света, то продолжительность существования нестабильной частицы (по часам неподвижного наблюдателя) увеличивается в __________раз.

В 10. Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за восемь суток. Период полураспада элемента равен__________сут.

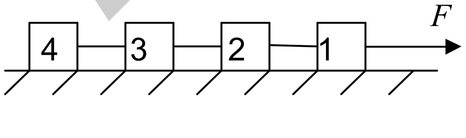
Тест 1

А 1. Человек бежит со скоростью 5 м/с относительно палубы теплохода в направлении, противоположном направлению движения теплохода. Если скорость теплохода относительно пристани равна 54 км/ч, то человек движется относительно пристани со скоростью:
1) 5 м/с; 2) 10 м/с; 3) 15 м/с; 4) 20 м/с; 5) 25 м/с.

А 2. Если поезд, двигаясь от остановки с постоянным ускорением, прошел 180 м за 15 с, то за первые 5 с от начала движения он прошел:
1) 10 м; 2) 20 м; 3) 36 м; 4) 60 м; 5) 80 м.

А 3. Размерность какой из перечисленных ниже физических величин выражается через основные единицы измерения в СИ как кг · м^2 · с$^{-2}$?
1)импульс тела; 2) сила; 3) работа силы; 4) импульс силы; 5) мощность.

А 4. Четыре одинаковых кубика, связанные невесомыми нитями, движутся по гладкому горизонтальному столу под действием горизонтальной силы F, приложенной к первому кубику. Чему равна сила натяжения нити, связывающей третий и четвертый кубики?
1) 0; 2) $\frac{1}{4}F$; 3) $\frac{1}{2}F$; 4) $\frac{3}{4}F$; 5) F.

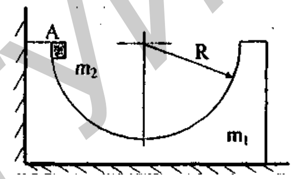


А 5. Радиус Земли равен 6400 км. На каком расстоянии от поверхности Земли сила притяжения космического корабля к ней станет в 9 раз меньше, чем на поверхности Земли?
1) 6400 км; 2) 9600 км; 3) 12800 км; 4) 19200 км; 5) 57600 км.

А 6. На горизонтально расположенном диске, вращающемся с частотой 60 об/мин, помещают небольшой предмет. Если максимальное расстояние предмета до оси вращения, при котором предмет удерживается на диске, равно 5,1 см, то коэффициент трения между предметом и диском равен:
1) 0,1; 2) 0,2; 3) 0,3; 4) 0,4; 5) 0,5.

А 7. Через 2 с после броска кинетическая энергия тела массой 0,2 кг, брошенного вертикально вверх со скоростью 30 м/с, равна:
1) 60 Дж; 2) 30 Дж; 3) 20 Дж; 4) 15 Дж; 5) 10 Дж.

А 8. На гладкой горизонтальной поверхности около стенки стоит симметричный брусок массой m_1, с углублением полусферической формы радиусом R. Из точки А без трения и начальной скорости соскальзывает маленькая шайба массой m_2(см.рисунок). Максимальная скорость бруска при его последующем движении равна:



1) $\dfrac{2m_2}{m_1+m_2}\sqrt{2gR}$; 2) $\dfrac{2m_1}{m_1-m_2}\sqrt{2gR}$; 3) $\dfrac{2m_1}{m_1+m_2}\sqrt{2gR}$;
4) $\dfrac{m_1+m_2}{m_1}\sqrt{2gR}$; 5) $\dfrac{m_1-m_2}{m_2}\sqrt{2gR}$.

А 9. Расстояние между двумя опорами 8 м. Если на эти опоры положить горизонтальную балку массой 100 кг и длиной 10 м так, чтобы 2 м балки выступали за левую опору, то сила давления балки на правую опору будет равна:
1) 375 Н; 2) 550 Н; 3) 625 Н; 4) 700 Н; 5) 800 Н.

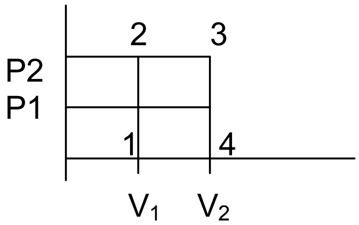
А 10. Плотность воды 1000 кг/м^3, а плотность камня 2500 кг/м^3. Если не учитывать сопротивление воды при движении тела, то при медленном подъеме камня массой 100 г в воде на высоту 80 см следует совершить работу, равную:
1) 0,48 Дж; 2) 0,8 Дж; 3) 48 Дж; 4) 80 Дж; 5) 250 Дж.

А 11. По какой из приведенных ниже формул можно правильно рассчитать давление газа через его температуру Т и концентрацию молекул n?
(k – постоянная Больцмана)
1) $p=\frac{3}{2}kT$; 2) $p=\frac{3}{2}nkT$; 3) $p=\frac{1}{3}nkT$; 4) $p=nkT$; 5) $p=\frac{2}{3}nkT$.

А 12. Если в сосуде при давлении 10^5 Па плотность идеального газа составляет 1,2 кг/м^3, то средняя квадратичная скорость молекул этого газа равна
1) 160 м/с; 2) 250 м/с; 3) 300 м/с; 4) 450 м/с; 5) 500 м/с.

А 13. Если баллон, содержащий 12 л кислорода при давлении 1 МПа, соединить с пустым баллоном вместимостью 3 л, то в процессе изотермического расширения газа в сосудах установится давление, равное:
1) 4,0 МПа; 2) 0,8 МПа; 3) 0,6 МПа; 4) 0,4 МПа; 5) 0,2 МПа.

А 14. Если $V_1=1{,}5$ л, $V_2=3{,}5$ л, $p_1=4\cdot10^5$ Па, $p_2=5\cdot10^5$ Па (см. рисунок), то в процессе 1-2-3-4 газ совершил работу, равную:
1) 100 Дж; 2) 200 Дж; 3) 400 Дж; 4) 500 Дж; 5) 1000 Дж.



А 15. Если в некотором процессе газу сообщено 800 Дж теплоты, а его внутренняя энергия уменьшилась на 200 Дж, то в этом процессе газ совершил работу, равную:
1) 200 Дж; 2) 600 Дж; 3) 800 Дж; 4) 1000 Дж;
5) среди ответов нет правильного.

А 16. Температура нагревателя идеального теплового двигателя равна 327^0С, а температура холодильника 27^0С. Если этот двигатель совершил работу в 700 Дж, то он получил от нагревателя количество теплоты, равное:
1) 760 Дж; 2) 1 кДж; 3) 1,4 кДж; 4) 1,8 кДж; 5) 2,1 кДж.

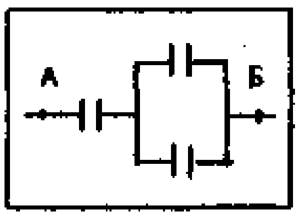
А 17. В металлическом проводнике с током 32 мкА через поперечное сечение проводника проходит $2 \cdot 10^5$ электронов за время равное:
1) 10^{-9} с; 2) 10^{-7} с; 3) 10^{-6} с; 4) 10^{-3} с; 5) 10^{-2} с.

А 18. Точечный отрицательный заряд создает на расстоянии 10 см поле, напряженность которого равна 1 В/м. Если этот заряд внести в однородное электрическое поле с напряженностью 1 В/м, то на расстоянии 10 см от заряда по направлению силовой линии однородного поля, проходящей через заряд, напряженность результирующего поля будет равна:
1) 0 В/м; 2) 1 В/м; 3) $\sqrt{2}$ В/м; 4) 2 В/м; 5) 3 В/м.

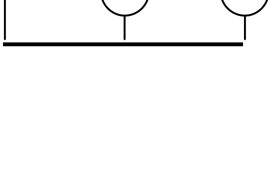
А 19. Пусть m и e – масса и величина заряда электрона. Если в вакууме из бесконечности вдоль одной прямой навстречу друг другу со скоростями V и 3V движутся два электрона, то минимальное расстояние, на которое они могут сблизиться, без учета гравитационного взаимодействия, равно:

1) $\dfrac{e^2}{16\pi\varepsilon_0 mv^2}$; 2) $\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 mv^2}$; 3) $\dfrac{e^2}{3\pi\varepsilon_0 mv^2}$; 4) $\dfrac{e^2}{2\pi\varepsilon_0 mv^2}$; 5) $\dfrac{e^2}{\pi\varepsilon_0 mv^2}$.

А 20. Три одинаковых конденсатора соединены, как показано на рисунке. Если при разности потенциалов между точками А и Б в 1000 В энергия батареи конденсаторов равна 2 Дж, то емкость каждого конденсатора равна:
1) 2 мкФ; 2) 4 мкФ; 3) 6 мкФ; 4) 8 мкФ; 5) 9 мкФ.



А 21. К полюсам батареи из двух источников, каждый с ЭДС 75 В и внутренним сопротивлением 4 Ом, подведены две параллельные медные шины сопротивлением 10 Ом каждая. К концам шин и к их серединам подключены две лампочки сопротивлением 20 Ом каждая (см. рисунок). Если пренебречь сопротивлением подводящих проводов, то ток во второй лампочке равен:

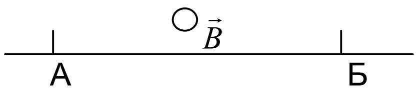


1) 1А; 2) 2А; 3) 3А; 4) 4А; 5) 5А.

А 22. Стоимость 1 кВт ч электроэнергии равна 50 коп. Если паяльник, включенный в сеть с напряжением 220 В, в течение 1 ч израсходовал электроэнергии на 10 коп, то сопротивление его спирали равно:

1) 110 Ом; 2) 164 Ом; 3) 242 Ом; 4) 364 Ом; 5) 468 Ом.

А 23. По проводнику АБ (см. рмсунок) протекает постоянный ток. Проводник помещен в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны проводнику. Если потенциал точки Б больше потенциала точки А, то сила Ампера, действующая на проводник, имеет направление:



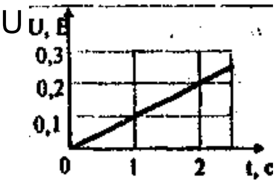
1) вниз; 2) вверх; 3) влево; 4) вправо;
5) вдоль линий индукции.

А 24. Протон и дейтрон (ядро изотопа ^2_1H), имеющие одинаковые скорости, влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Как связаны между собой радиусы R_1 и R_2 окружностей, по которым, соответственно, движутся протон и дейтрон? (массы протона и нейтрона считать равными)

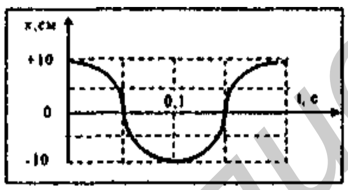
1) $R_1=R_2$; 2) $R_1=2R_2$; 3) $R_2=2R_1$; 4) $R_1=4R_2$; 5) $R_2=4R_1$.

А 25. Прямолинейный проводник длиной 10 см перемещают в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Проводник, вектор его скорости и вектор индукции поля взаимно перпендикулярны. С каким ускорением нужно перемещать проводник, чтобы разность потенциалов на его концах U возрастала, как показано на рисунке?

1) 10 м/с^2; 2) 15 м/с^2 ; 3) 20 м/с^2; 4) 25 м/с^2; 5) 30 м/с^2.



А 26. Для гармонического колебания, изображенного на рисунке, период колебаний



равен:

1) 0,05 с; 2) 0,1 с; 3)0,15с; 4) 0,2 с; 5) 0,4 с.

А 27. Груз массой 200 г, подвешенный к пружине, колеблется с такой же частотой, что и математический маятник длиной 0,2 м, если коэффициент жесткости пружины равен:

1) 10 Н/м; 2) 8 Н/м; 3) 6 Н/м; 4) 1 Н/м; 5) 0,1 Н/м.

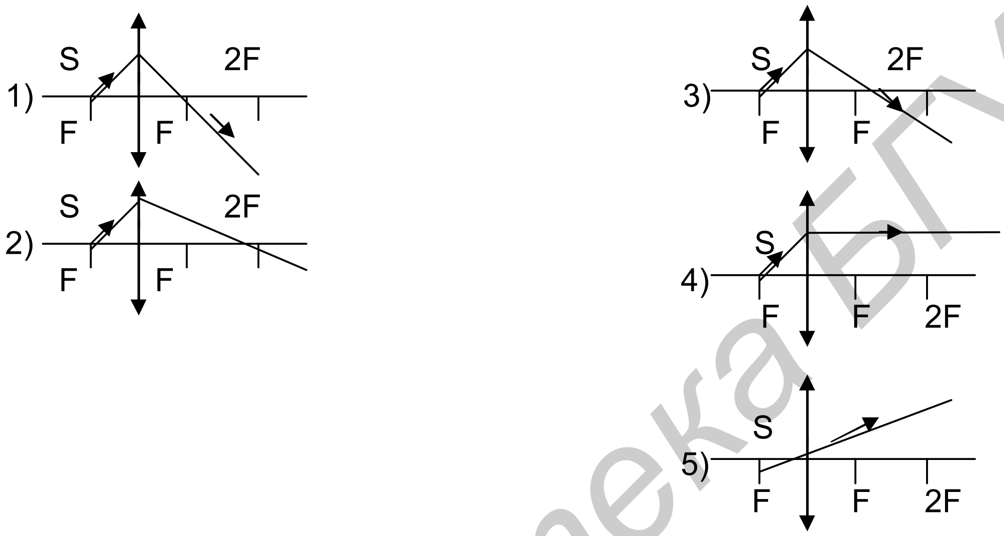
А 28. Стальную деталь проверяют ультразвуковым дефектоскопом, работающим на частоте 1 МГц. Отраженный от дефекта сигнал возвратился на поверхность детали через 8 мкс после посылки. Если длина ультразвуковой волны в стали равна 5 мм, то дефект находится на глубине:

1) 40 мм; 2) 20 мм; 3) 12 мм; 4) 8 мм; 5) 4 мм.

А 29. Электрический колебательный контур содержит катушку индуктивности 10 мГн, конденсатор емкостью 880 пФ и подсоединенный параллельно подстроечный конденсатор емкостью 20 пФ. Какова частота незатухающих колебаний в контуре?
1) 120 кГц; 2) 88 кГц; 3) 62 кГц; 4) 53 кГц; 5) 36 кГц.

А 30. Если вертикально стоящий шест высотой 1,1 м, освещенный солнцем, отбрасывает на горизонтальную поверхность земли тень длиной 1,3 м, а длина тени от телеграфного столба на 5,2 м больше, то высота столба равна:
1) 5,2 м; 2) 5,3 м; 3) 5,5 м; 4) 5,8 м; 5) 6,2 м.

А 31. Укажите номер рисунка, на котором правильно изображен ход светового луча от источника S после прохождения собирающей линзы:



А 32. Время жизни нестабильного мюона, входящего в состав космических лучей, измеренное земным наблюдателем, относительно которого мюон двигался со скоростью, составляющей 95% скорости света в вакууме, оказалось равным 6,4 мкс. Каково время жизни мюона, покоящегося относительно наблюдателя?
1) 20 мкс; 2) 12 мкс; 3) 4 мкс; 4) 2 мкс; 5) 1 мкс.

А 33. Определите, какая из перечисленных ниже частиц, двигаясь со скоростью $4 \cdot 10^5$ м/с, имеет кинетическую энергию, равную энергии фотона излучения с частотой $1{,}1 \cdot 10^{14}$ Гц?
1) нейтрон; 2) электрон; 3) альфа-частица; 4) атом водорода; 5) среди перечисленных частиц такой нет.

А 34. Какой вид электромагнитного излучения соответствует диапазону длин волн от 1 мкм до 5 мкм?
1) инфракрасное излучение; 2) ультрафиолетовое излучение;
3) радиоволны; 4) видимый глазом свет; 5) рентгеновское излучение.

А 35. Ядро изотопа урана ${}^{238}_{92}U$ после захвата не испытывает деления, а претерпевая последовательно два бета-распада с испусканием электронов, превращается в ядро:
1) ${}^{239}_{92}U$; 2) ${}^{239}_{93}Np$; 3) ${}^{239}_{94}Pu$; 4) ${}^{233}_{90}Th$; 5) ${}^{235}_{92}U$.

В 1. Если автомобиль движется со скоростью 12 м/с, то модуль линейной скорости верхней точки протектора колеса автомобиля относительно земли равен __ м/с.

В 2. Удельная теплоемкость воды 4,2 кДж/кг·К, а ее плотность 1000 кг/м . Удельная теплота плавления льда 330 кДж/кг, а его плотность 900 кг/м . Слой льда толщиной 4,2 см имеет температуру 0° С. Если пренебречь потерями теплоты, то чтобы весь лед растаял, на него нужно налить слой воды при температуре 306 К, минимальная толщина которого равна ___ см.

В 3. Электрохимический эквивалент меди 3,3-10 кг/Кл. При непрерывной работе электролитической ванны в течение 1 ч 40 мин с постоянным током 100 А на электроде выделится __________г меди.

В 4. В катушке индуктивности 40 мГн при равномерном исчезновении тока 2 А в течение 0,01 с возникает ЭДС самоиндукции_______В.

В 5. Если тонкая мыльная пленка освещается светом с длиной волны 0,6 мкм, то разности хода двух отраженных волн для светлой и следующей за ней темной интерференционных полос отличаются на_______________ нм.

<u>Тест 2</u>

А 1. Эскалатор поднимает неподвижно стоящего на нем пассажира за 1 минуту. Если по неподвижному эскалатору пассажир поднимается за 3 минуты, то по движущемуся эскалатору он поднимется за:
1) 10 с; 2) 15 с; 3) 30 с; 4) 45 с; 5) 60 с.

А 2. Если при торможении автомобиль, двигаясь равноускоренно, проходит за пятую секунду 5 см и останавливается, то за третью секунду этого движения он прошел путь, равный:
1) 0,10 м; 2) 0,15 м; 3) 0,25 м; 4) 0,50 м; 5) 0,75 м.

А 3. Если тело, брошенное со скоростью 10 м/с под углом 60^0 к горизонту, в высшей точке траектории имеет импульс, модуль которого равен 10 кг м/с, то масса этого тела равна:
1) 0,5 кг; 2) 1,0 кг; 3) 2,0 кг; 4) 5,0 кг; 5) 10 кг.

А 4. Если координаты тела массой m = 10 кг, движущегося прямолинейно вдоль оси x, меняются со временем по закону x = 10t(1-2t) м, то модуль силы, действующей на тело равен:
1) 0 Н; 2) 10 Н; 3) 20 Н; 4) 40 Н; 5) 400 Н.

А 5. На гладкой горизонтальной поверхности лежит доска массой M, а на доске – брусок массой m. Коэффициент трения между доской и бруском равен μ. Брусок начнет соскальзывать с доски, если к ней приложить горизонтальную силу, минимальная величина которой равна:
1) $\mu g m$; 2) $\mu g(M+m)$; 3) $\mu g(M-m)$; 4) $\mu g M$; 5) $g(M+m)$.

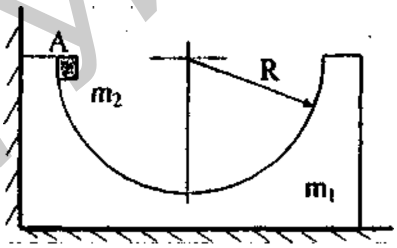
А 6. Шарик массой m, подвешенный на нити, качается в вертикальной плоскости так, что его ускорения в крайнем и нижнем положениях равны по модулю друг другу. Если угол отклонения нити в крайнем положении равен α, то сила натяжения нити в нижнем положении равна:

1) $mg(1+\cos\alpha)$; 2) $2mg(1-\cos\alpha)$; 3) $3mg$; 4) $mg(1+\sin\alpha)$; 5) $mg(1-\sin\alpha)$.

А 7. Камень брошен под углом 60^0 к горизонту. Как соотносятся между собой начальная кинетическая энергия T_1 камня с его кинетической энергией T_2 в верхней точке траектории?

1) $T_1=\frac{3}{4}T_2$; 2) $T_1=\frac{\sqrt{3}}{4}T_2$; 3) $T_1=T_2$; 4) $T_1=2T_2$; 5) $T_1=4T_2$.

А 8. На гладкой горизонтальной поверхности около стенки стоит симметричный брусок массой m_1 с углублением полусферической формы радиусом R (см. рисунок). Из точки A без трения и начальной скорости соскальзывает маленькая шайба массой m_2. Максимальная скорость бруска при его последующем движении равна:



1) $\frac{2m_2}{m_1+m_2}\sqrt{2gR}$; 2) $\frac{2m_1}{m_1-m_2}\sqrt{2gR}$; 3) $\frac{2m_1}{m_1+m_2}\sqrt{2gR}$;

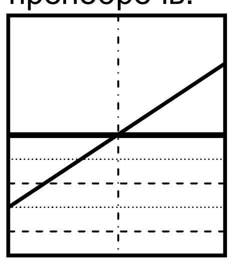
4) $\frac{m_1+m_2}{m_1}\sqrt{2gR}$; 5) $\frac{m_1-m_2}{m_2}\sqrt{2gR}$.

А 9. С помощью каната, перекинутого через неподвижный блок, укрепленный под потолком, человек массой 70 кг удерживает на весу груз массой 20 кг. Если канат, который держит человек, направлен под углом 60^0 к вертикали, то сила давления человека на пол равна:

1) 300 Н; 2) 400Н; 3) 500 Н; 4) 600 Н; 5) 700 Н.

А 10. Палочка массой 400 г наполовину погружена в воду, как показано на рисунке. Угол наклона палочки к горизонту равен 45^0. С какой силой давит на стенку цилиндрического сосуда нижний конец палочки? Трением пренебречь.

1) 0,5 Н; 2) 1 Н; 3) 2 Н; 4) 3 Н; 5) 4 Н.



А 11. Среднее расстояние между центрами молекул идеального газа при температуре 190^0 С и давлении 10^5 Па равно:

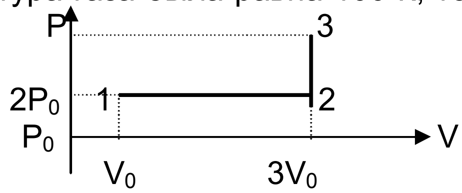
1) $1\cdot10^{-7}$ м; 2) $2\cdot10^{-8}$ м; 3) $4\cdot10^{-9}$; 4) $6\cdot10^{-10}$; 5) $8\cdot10^{-11}$.

А 12. Если μ - молярная масса, m_0 – масса молекулы, а $\vec{v}^2$ - средний квадрат скорости молекул идеального газа массой m, имеющего температуру T, то средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул этого газа может быть вычислена по формуле:

1) $\frac{2kT}{3}$; 2) $\sqrt{\frac{3kT}{\mu}}$; 3) $\frac{3m}{m_0\vec{v}^2}$; 4) $\frac{3RT}{2}$; 5) $\frac{3kT}{2}$.

А 13. Постоянную массу идеального газа переводят из состояния 1 в состояние 3, как показано на рисунке. Если в состоянии 1 температура газа была равна 100 К, то в состоянии 3 она станет равной:

1) 600 К; 2) 300 К; 3) 150 К; 4) 100 К; 5) 50 К.

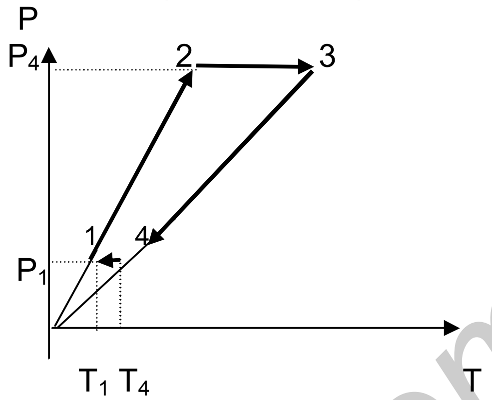


А 14. Горизонтально расположенный закрытый цилиндрический сосуд с гладкими стенками разделен тонким подвижным теплопроводящим поршнем на две части, в которых находятся равные массы различных идеальных газов: в одной части газ с молярной массой μ_1, в другой – с молярной массой μ_2. Какую часть объема сосуда занимает газ с молярной массой μ_2 при равновесном положении поршня?

1) $\dfrac{\mu_1}{\mu_1+\mu_2}$; 2) $\dfrac{\mu_2}{\mu_1-\mu_2}$; 3) $\dfrac{2\mu_2}{\mu_1-\mu_2}$; 4) $\dfrac{\mu_1}{\mu_1+2\mu_2}$; 5) $\dfrac{\mu_{21}}{\mu_1+\mu_2}$.

А 15. Два моля идеального газа совершают замкнутый цикл, изображенный на рисунке. Известно, что температура T_1=280 К, p_2/p_1=5, T_4/T_1=2. Работа, совершаемая газом за цикл, равна:

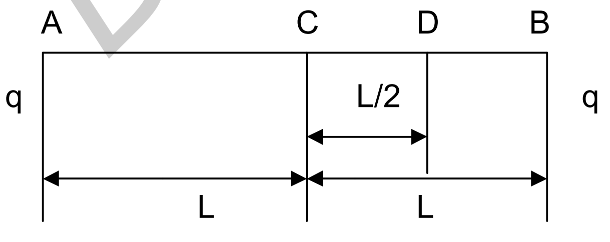
1) 8,5 кДж; 2) 10,2 кДж; 3) 15,0 кДж; 4) 18,6 кДж; 5) 25,3 кДж.



А 16. Газ, совершающий цикл Карно, за счет каждых 2 кДж энергии, полученной от нагревателя, производит работу 600 Дж. Во сколько раз абсолютная температура нагревателя больше абсолютной температуры холодильника?

1) 1,3; 2) 1,4; 3) 1,5; 4) 1,6; 5) 1,7.

А 17. Два равных по величине положительных точечных заряда q расположены в вакууме в точках А и В на расстоянии 2L друг от друга (см. рисунок). Какой точечный заряд нужно поместить в точку С, расположенную посередине отрезка АВ, чтобы потенциал в точке D был равен нулю.



1) $\dfrac{3q}{4\varepsilon_0}$; 2) $-\dfrac{q}{4\pi}$; 3) $-\dfrac{4}{3}q$; 4) $-\dfrac{5q}{4}$; 5) $-\dfrac{q}{9\pi}$.

А 18. Точечные положительные заряды q и 2q закреплены на расстоянии L друг от друга в вакууме (см. рисунок к А.17). На середине прямой, соединяющей заряды, поместили точечный отрицательный заряд –q. Как изменились модуль и направление силы, действующей на положительный заряд q?

1) Модуль не изменился, направление изменилось на противоположное;
2) Модуль уменьшился в 2 раза, направление изменилось на противоположное;
3) Модуль стал равен нулю;
4) Модуль увеличился в 2 раза, направление не изменилось;
5) Модуль увеличился в 3 раза, направление не изменилось.

А 19. Проводящий шар радиусом R имеет заряд –2q. Если на расстоянии 2R от центра шара поместить точечный заряд, равный +4q , то потенциал в центре шара:
1) уменьшится в 2 раза; 2) не изменится; 3) станет равным нулю;
4) увеличится в 3 раза; 5) изменит знак на противоположный.

А 20. Воздушный конденсатор емкостью С заполняют диэлектриком с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 4$. Конденсатор какой емкостью надо включить последовательно с данным, чтобы получившаяся батарея тоже имела емкость С.

1) 3С; 2) 2С; 3) $\frac{3}{2}$С; 4) $\frac{4}{3}$С; 5) С.

А 21. Плоский конденсатор с пластинами размером 16 Х 16 см и расстоянием между ними 4 мм присоединен к полюсам батареи с ЭДС, равной 250 В. В пространство между пластинами с постоянной скоростью 3 мм/с вдвигают стеклянную пластину толщиной 4 мм. Какой ток пойдет по цепи? Диэлектрическая проницаемость $\varepsilon = 7$.
1) 0,8 нА; 2) 1,6 нА; 3) 2,4 нА; 4) 5,5 нА; 5) 8,0 нА.

А 22. Определите силу тока в обмотке трамвайного двигателя, развивающего силу тяги, равную 5 кН, если напряжение, подаваемое на двигатель, равно 500 В, и трамвай движется со скоростью 36 км/ч. Коэффициент полезного действия двигателя 80%.
1) 75 А; 2) 125 А; 3) 175 А; 4) 200 А; 5) 250 А.

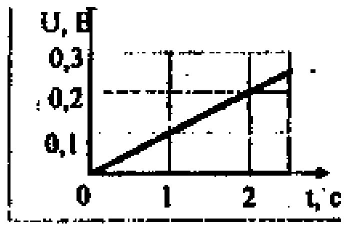
А 23. Какую размерность в системе СИ имеет единица измерения магнитного потока?

1) $\frac{Н}{А \cdot м^2}$; 2) $\frac{кг}{с^2 \cdot А}$; 3) $\frac{Н \cdot м^2}{А}$; 4) $\frac{кг \cdot м}{с^2 \cdot А}$; 5) $\frac{Н \cdot м}{А}$.

А 24. Электрон, пройдя в электрическом поле ускоряющую разность потенциалов U, попадает в однородное магнитное поле, линии индукции которого перпендикулярны направлению движения электрона, и начинает двигаться по окружности. Как изменится радиус этой окружности, если ускоряющая разность потенциалов U уменьшится в 2 раза?
1) уменьшится в $\sqrt{2}$ раза; 2) уменьшится в 2 раза; 3) не изменится;
4) увеличится в $\sqrt{2}$ раза; 5) увеличится в 2 раза.

А 25. Прямолинейный проводник длиной 10 см перемещают в однородном магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Проводник, вектор его скорости и вектор индукции поля взаимно перпендикулярны. С каким ускорением нужно перемещать проводник, чтобы разность потенциалов на его концах U возрастала, как показано на рисунке.

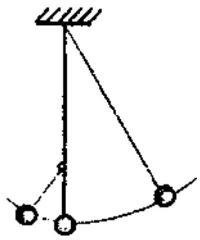
1) 10 м/с^2; 2) 15 м/с^2; 3) 20 м/с^2; 4) 25 м/с^2; 5) 30 м/с^2.



А 26. Максимальная кинетическая энергия материальной точки массой 10 г, совершающей гармонические колебания с периодом 2 с, равна $1 \cdot 10^{-4}$ Дж. При этом амплитуда колебаний этой точки равна:

1) $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ м; 2) $9{,}0 \cdot 10^{-3}$ м; 3) $4{,}5 \cdot 10^{-2}$ м; 4) $9 \cdot 10^{-2}$ м; 5) $4{,}5 \cdot 10^{-1}$ м.

А 27. Математический маятник (см. рисунок) совершает свободные колебания вблизи стены с периодом колебаний, равным Т. Чему будет равен период колебаний такого маятника, если на одной вертикали с точкой подвеса в стену вбить гвоздь на расстоянии ¾ его длины от точки подвеса?



1) 2T; 2) 3/2T; 3) T; 4) 3/4T; 5) 1/2T.

А 28. Если звуковая волна с частотой колебаний 1 кГц распространяется в стальном стержне со скоростью 5 км/с, то расстояние между ближайшими точками волны, отличающимися по фазе на π, будет равно:

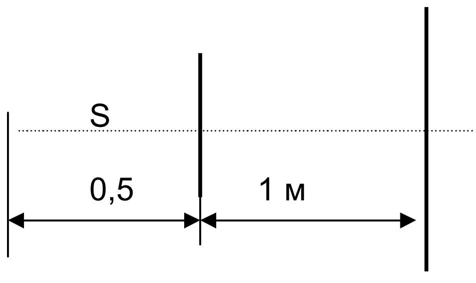
1) 1,5 м; 2) 2,5 м; 3) 3 м; 4) 5 м; 5) 10 м.

А 29. Как нужно изменить емкость конденсатора в колебательном контуре радиоприемника, чтобы длина волны, на которую он настроен, увеличилась в 2 раза?

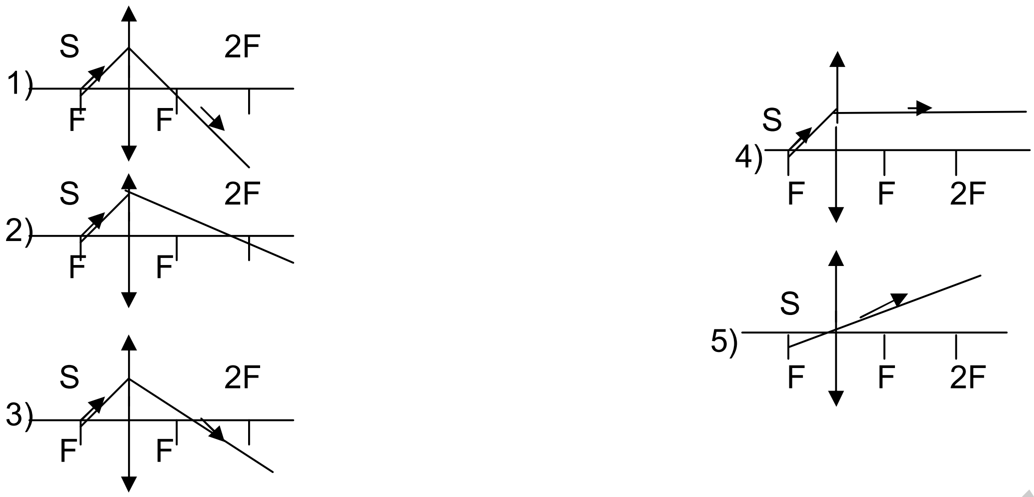
1) увеличить в 4 раза; 2) увеличить в 2 раза; 3) уменьшить в 2 раза;
4) уменьшить в 4 раза; 5)уменьшить в 16 раз.

А 30. Определите диаметр тени на экране, отбрасываемой тонким диском диаметром 0,1 м, если расстояние от диска до экрана 1 м, а от диска до источника света – 0,5 м (см. рисунок).

1) 0,1 м; 2) 0,2 м; 3) 0,3 м; 4) 0,4 м; 5) 0,5 м.



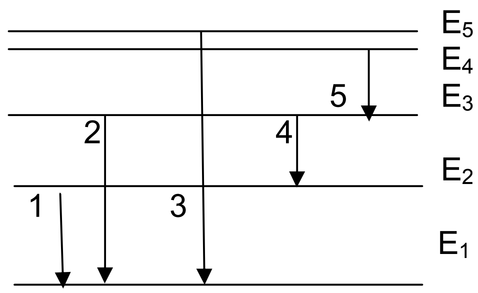
А 31. Укажите номер рисунка, на котором правильно изображен ход светового луча от источника S после прохождения собирающей линзы:



А 32. При какой скорости движения (в долях скорости света *с*) релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25%?
1) 0,25; 2) 0,30; 3) 0,33; 4)0,50; 5)0,66.

А 33. Если лазер мощностью P испускает N фотонов за t секунд, то частота излучения лазера равна
1) $\frac{htN}{P}$; 2) $\frac{htc}{NP}$; 3) $\frac{hcP}{N}$; 4) $\frac{Pt}{hN}$; 5) $\frac{PN}{hct}$.

А 34. На рисунке представлена схема энергетических уровней атома водорода. Какой цифрой обозначен переход с излучением фотона, имеющего максимальный импульс?
1) 1 2) 2; 3) 3; 4) 4; 5) 5.

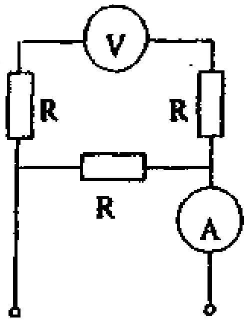


А 35. Какова природа сил, отклоняющих α - частицы от прямолинейной траектории в опытах Резерфорда?
1) гравитационная; 2) электромагнитная; 3) ядерная; 4) гравитационная и ядерная;5) ядерная и электромагнитная.

В 1. Модуль ускорения точки обода колеса радиусом R = 0,5 м, которое катится без скольжения по горизонтальной поверхности со скоростью V=1м/с, равен ______ м/с^2.

В 2. В калориметр налили 500 г воды, имеющей температуру 40^{0}С, и положили кусок льда массой 100 г, имеющий температуру –10^{0}С. После установления теплового равновесия температура содержимого калориметра стала равной _____ ^{0}С. Удельная теплоемкость воды равна 4,2 кДж/кг·^{0}С, а его удельная теплота плавления равна 0,33 МДж/кг. Теплоемкостью калориметра и теплообменом с внешней средой пренебречь.

В 3. Определите показание вольтметра _______ В в электрической цепи, изображенной на рисунке, если показание амперметра равно 1 А, а сопротивление каждого резистора R и внутреннее сопротивление вольтметра равны по 1 кОм.



В 4. В соленоиде при равномерном изменении силы тока от нуля до 5 А в течение 1 секунды возбуждается ЭДС самоиндукции 10 В. Индуктивность соленоида равна __________ Гн.

В 5. Чему равна разность фаз ___________град. двух интерферирующих световых волн с длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м, если разность хода между ними равна $3{,}75 \cdot 10^{-7}$ м?

Ответы к тестам

№ теста	Номера заданий														
	А1	А2	А3	А4	А5	А6	А7	А8	А9	А10	А11	А12	А13	А14	А15
1	2	2	3	2	3	2	5	1	1	1	4	5	2	5	4
2	4	3	3	5	2	4	5	1	4	2	3	5	1	1	4

№ теста	Номера заданий													
	А16	А17	А18	А19	А20	А21	А22	А23	А24	А25	А26	А27	А28	А29
1	3	1	1	1	3	2	3	1	3	1	4	1	2	4
2	2	3	1	3	4	2	2	5	1	1	3	4	2	1

№ теста	Номера заданий										
	А30	А31	А32	А33	А34	А35	В1	В2	В3	В4	В5
1	3	4	4	2	1	3	24	9	198	8	300
2	3	4	5	4	3	2	2	23,3	250	2	270

Учебное издание

Методические указания и контрольные задания по физике

для слушателей заочных подготовительных курсов

Составители:
Стрелкова Таисия Игнатьевна,
Смирнова Галина Федоровна

Редактор Т.Н. Крюкова

Подписано в печать 04.08.2011. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура «Ариал». Печать на ризографе. Усл. печ. л. 5,7.
Уч.-изд. л. 5,2. Тираж 50 экз. Заказ 523.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0131518 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6