

3956

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

Кафедра физики и химии

ФИЗИКА

Методические указания к выполнению контрольных работ
для обучающихся по специальности 23.05.04 – Эксплуатация железных дорог
заочной формы обучения

Составители: В.Т. Волов
Д.Б. Волов
Е.В. Вилякина
Х.Д. Ламажапов
Л.Е. Жмур

Самара
2015

Физика : методические указания к выполнению контрольных работ для обучающихся по специальности 23.05.04 – Эксплуатация железных дорог заочной формы обучения / составители : В.Т. Волов, Д.Б. Волов, Е.В. Вилякина, Х.Д. Ламажапов, Л.Е. Жмур. – Самара : СамГУПС, 2015. – 63 с.

Методические указания предназначены для выполнения контрольных работ по дисциплине «Физика» для обучающихся по специальности 23.05.04 – Эксплуатация железных дорог заочной формы обучения.

Утверждены на заседании кафедры 31 августа 2015 г., протокол № 1.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета университета.

Составители: В.Т. Волов
Д.Б. Волов
Е.В. Вилякина
Х.Д. Ламажапов
Л.Е. Жмур

Рецензенты: д.ф.-м.н. профессор кафедры «Общая и теоретическая физика» СамГУ
А.В. Горохов;
к.ф.-м.н. доцент кафедры «Высшая математика» СамГУПС
В.П. Кузнецов

Под общей редакцией д.т.н., д.ф.-м.н. В.Т. Волова

Подписано в печать 23.12.2015. Формат 60×90 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. 3,94. Заказ 399.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Контрольные работы посвящены закреплению знаний по физике в области механики, молекулярной физики и термодинамики, электричества, магнетизма и оптики.

В результате освоения дисциплины обучающийся по направлению подготовки «Эксплуатация железных дорог» должен

знать: физические основы электричества и магнетизма, физики колебаний и волн, электродинамики; фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики;

уметь: использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; применять физические законы для решения практических задач; проводить измерения, обрабатывать и представлять результаты;

владеть: методами математического описания физических явлений и процессов, определяющих принципы работы различных технических устройств.

Контрольные работы направлены на частичное освоение следующих компетенций:

ПК-2 – способность использовать знания о современной физической картине мира и эволюции Вселенной, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы;

ПК-3 – способность приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии.

При изучении курса по дисциплине «Физика», студент должен выполнить четыре контрольных работы. Номер варианта выбирается первой букве фамилии, имени, отчества.

Перед решением задачи студент должен проработать соответствующий раздел курса физики.

При выполнении контрольной работы необходимо соблюдать следующие условия:

1. Контрольные работы нужно выполнять в школьной тетради, на обложке которой привести сведения по следующему образцу:

Студент заочного факультета СамГУПС

Киселев А. В.

Шифр хх-ЭЖД-хххх

Контрольная работа №1(2,3,4) по физике

Работу следует писать от руки на одной стороне листа. Это необходимо для рецензирования и исправлений. Страницы должны быть пронумерованы.

2. Условия задач в контрольной работе надо переписать полностью без сокращений.

3. Решение задач вести поэтапно, с пояснением каждого хода решения, в тех случаях, когда это возможно, дать чертеж, выполненный с помощью чертежных принадлежностей.

4. Перед вычислением искомых величин следует вначале написать расчетную формулу в буквенном выражении, затем подставить численные значения всех входящих в нее параметров и привести окончательный ответ.

5. В приводимых расчетных формулах поясняются все входящие в них параметры.

6. После получения расчетной формулы для проверки ее правильности следует подставить в правую часть формулы вместо символов величин обозначения единиц измерения этих величин, произвести с ними необходимые действия и убедиться в том, что полученная при этом единица измерения соответствует искомой величине. Если такого соответствия нет, то это означает, что задача решена неверно.

7. У всех размерных величин должна быть поставлена размерность. Размерность всех величин должна быть выражена в Международной системе единиц СИ

8. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой на соответствующую степень десяти. Например, вместо 3520 надо записать $3,52 \cdot 10^3$, вместо 0,00129 записать $1,29 \cdot 10^{-3}$ и т.п.

9. В конце контрольной работы указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении физики (название учебника, автор, год издания). Это делается для того, чтобы рецензент в случае необходимости мог указать, что следует студенту изучить для завершения контрольной работы.

10. Все отмеченные рецензентом ошибки должны быть исправлены, а сделанные указания должны быть выполнены. Исправлять ошибки следует отдельно по каждой задаче на чистой стороне листа.

Работа может быть зачтена только в том случае, если она не содержит принципиальных и грубых арифметических ошибок. Арифметические ошибки, вызванные несоблюдением единства размерностей или какой-либо небрежностью при расчете, будут оценены наравне с принципиальными ошибками методического характера.

Если контрольная работа при рецензировании не допущена, студент обязан представить ее на повторную рецензию, включив в нее те задачи, решения которых оказались неверными. Повторную работу необходимо представить вместе с не допущенной.

К зачету или экзамену по дисциплине студента допускают только после получения им зачета, как по контрольной работе, так и по лабораторным работам, которые он должен выполнить и защитить в лаборатории кафедры.

ВНИМАНИЕ! Категорически запрещается в настоящих методических указаниях, делать какие-либо пометки в тексте или на рисунках.

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

Таблица вариантов к контрольной работе № 1

Алфавит	Номера задач по первой букве					
	фамилии		имени		отчества	
А, К, Ф	110	111	130	131	150	151
Б, Л, Х	109	112	129	132	149	152
В, М, Ц	108	113	128	133	148	153
Г, Н, Ч	107	114	127	134	147	154
Д, О, Ш	106	115	126	135	146	155
Е, П, Щ	105	116	125	136	145	156
Е, Р	104	117	124	137	144	157
Ж, С, Э	103	118	123	138	143	158
З, Т, Ю	102	119	122	139	142	159
И, У, Я	101	120	121	140	141	160

Например, студент Сидоров Николай Иванович должен решить следующие задачи: по первой букве фамилии С – (103, 118), по первой букве имени Н – (127, 134) и по первой букве отчества И – (141, 160).

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Примеры решения задач

Задача 1. Два велосипедиста, находясь на расстоянии 160 м выехали одновременно навстречу друг другу со скоростями 3 м/с и 5 м/с. Через сколько времени они встретятся? Каково перемещение каждого велосипедиста?

$$S = 160 \text{ м}$$
$$v_1 = 3 \text{ м/с}$$
$$v_2 = 5 \text{ м/с}$$

$$t_в - ?$$
$$S_1 - ?$$
$$S_2 - ?$$

Решение

Направим координатную ось X вправо:

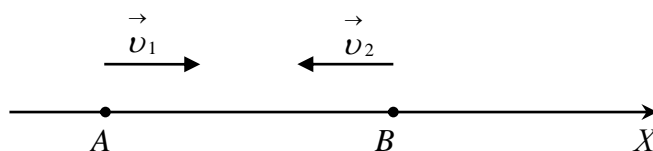


Рис. 1

За начало координат примем точку А, в которой находился первый велосипедист.

Запишем уравнение кинематики в общем виде: $x = x_0 + v_x t$.

Тогда уравнение движения первого велосипедиста имеет вид: $x_1 = 3t$, а второго $x_2 = 160 - 5t$.

В момент встречи велосипедистов их координаты одинаковы. Приравняв уравнения, получим время встречи: $3t = 160 - 5t$; $t = 20$ с, т.е. велосипедисты встретятся через 20 с после начала движения.

Тогда перемещение первого велосипедиста: $S_1 = v_1 \cdot t$.

Перемещение второго велосипедиста: $S_2 = v_2 \cdot t$.

Проверка размерности: $[t] = \left[\frac{m}{m/c} \right] = [c]$; $[S] = \left[\frac{m}{c} \cdot c \right] = [m]$.

Вычисления:

$$S_1 = 3 \cdot 20 = 60 \text{ (м)}$$

$$S_2 = 5 \cdot 20 = 100 \text{ (м)}$$

Ответ: велосипедисты встретятся через 20 с после начала движения; перемещение первого велосипедиста 60 м, второго – 100 м.

Задача 2. Уравнения движения двух тел имеют следующий вид: $x_1 = 10t + 0,4t^2$ и $x_2 = -6t + 2t^2$. Найдите место и время встречи. Каким будет расстояние между ними через 5 с?

Решение

$$x_1 = 10t + 0,4t^2$$

$$x_2 = -6t + 2t^2$$

$$t_1 = 5c$$

$$x_6 - ?; t_6 - ?; S - ?$$

В момент встречи тел их координаты одинаковы. Приравняв x_1 и x_2 , получим время встречи:

$$10t + 0,4t^2 = -6t + 2t^2; 2t^2 - 0,4t^2 = 10t + 6t;$$

$$1,6t^2 = 16t \Rightarrow 1,6t = 16.$$

Найдем место встречи, подставив это время в любое уравнение.

Например, $x_1 = 10t + 0,4t^2$.

Найдем координаты тел через 5с:

$$x_1 = 10t_1 + 0,4t_1^2; x_2 = -6t_1 + 2t_1^2.$$

Расстояние между телами: $S = x_1 - x_2$.

Проверка размерности: $[x] = \left[\frac{m}{c} \cdot c + \frac{m}{c^2} \cdot c^2 \right] = [m]$.

Вычисления: $t = \frac{16}{1,6} = 10 \text{ (с)}$; $x = 10 \cdot 10 + 0,4 \cdot 100 = 140 \text{ (м)}$.

$x_1 = 10 \cdot 5 + 0,4 \cdot 5^2 = 60 \text{ (м)}$; $x_2 = -6 \cdot 5 + 2 \cdot 5^2 = 20 \text{ (м)}$; ; $S = 60 - 20 = 40 \text{ (м)}$.

Ответ: тела встретятся через 10 с после начала движения на расстоянии 140 м от начала координат; через 5 с расстояние между ними будет 40 м.

Задача 3. Мяч брошен из окна, расположенного на высоте 10 м, со скоростью 12 м/с под углом 30° к горизонту. Определить, в какой точке мяч упадет на землю.

$h_0 = 10 \text{ м}$ $v_0 = 12 \text{ м/с}$ $\alpha = 30^\circ$ <hr/> $S = ?$	<p>Решение</p> <p>Запишем уравнение для координат, выражая проекции векторов через их модули: $y = h_0 + v_0 t \cdot \sin \alpha - \frac{gt^2}{2}$, где $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$.</p> <p>$S = x = v_0 t \cdot \cos \alpha$, где $v_0 \cos \alpha = v_{0x}$.</p> <p>Учитывая, что $\sin \alpha = 0,5$, $\cos \alpha = 0,87$, и считая $g = 10 \text{ м/с}^2$, эти уравнения перепишем в таком виде: $y = 10 + 6t - 5t^2$; $x = 10,4t$.</p>
--	---

Т.к. в момент падения $y = 0$, то получим уравнение $5t^2 - 6t - 10 = 0$.

Подставив найденное значение времени во второе уравнение, найдем дальность полета: $S = 10,4 \cdot t$.

Проверка размерности: $[S] = \left[\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} \right] = [\text{м}]$.

Вычисления: решим квадратное уравнение $5t^2 - 6t - 10 = 0$;

$D = b^2 - 4ac$; $D = 36 + 4 \cdot 5 \cdot 10 = 36 + 200 = 236$.

$t = \frac{6 + \sqrt{236}}{10} \approx 2,14 \text{ (с)}$; $S = 10,4 \cdot 2,14 \approx 22,3 \text{ (м)}$.

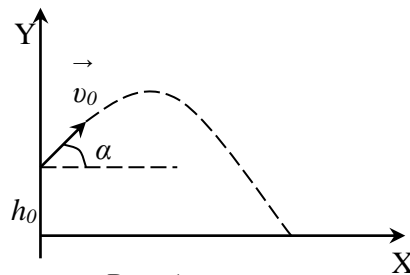


Рис. 1

Ответ: мяч упадет на расстоянии 22,3 м от основания дома.

Задача 4. Порожнему прицепу тягач сообщает ускорение $0,4 \text{ м/с}^2$, а груженому $0,1 \text{ м/с}^2$. Какое ускорение сообщает тягач обоим прицепах, соединенным вместе? Силу тяги тягача считать во всех случаях одинаковой.

$$a_1 = 0,4 \text{ м/с}^2$$

$$a_2 = 0,1 \text{ м/с}^2$$

$$F_1 = F_2 = F$$

$$a - ?$$

Решение

Запишем второй закон Ньютона для трех случаев:

$$F = m_1 a_1, \text{ где } m_1 = \frac{F}{a_1} - \text{масса порожнего прицепа};$$

$$F = m_2 a_2, \text{ где } m_2 = \frac{F}{a_2} - \text{масса груженого прицепа};$$

$$F = (m_1 + m_2) \cdot a.$$

Подставим значения масс в последнее уравнение, получим:

$$F = \left(\frac{F}{a_1} + \frac{F}{a_2} \right) a; \quad 1 = \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) a;$$

$$1 = \frac{a_1 + a_2}{a_1 a_2} a \Rightarrow a = \frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2}.$$

Проверка размерности: $[a] = \left[\frac{\frac{M}{c^2} \cdot \frac{M}{c^2}}{\frac{M}{c^2} + \frac{M}{c^2}} \right] = \left[\frac{M^2 \cdot c^2}{c^4 \cdot M} \right] = \left[\frac{M}{c^2} \right].$

Вычисления: $a = \frac{0,4 \cdot 0,1}{0,4 + 0,1} = 0,08 \text{ (м/с}^2\text{)}.$

Ответ: тягач сообщает обоим прицепах, соединенным вместе ускорение $0,08 \text{ м/с}^2$.

Задача 5. Конькобежец проехал по гладкой горизонтальной поверхности льда по инерции расстояние, равное 80 м. Какова начальная скорость конькобежца, если его масса равна 60 кг, а коэффициент трения равен 0,015?

$$S = 80 \text{ м}$$

$$v = 0$$

$$m = 60 \text{ кг}$$

$$\mu = 0,015$$

$$v_0 - ?$$

Решение

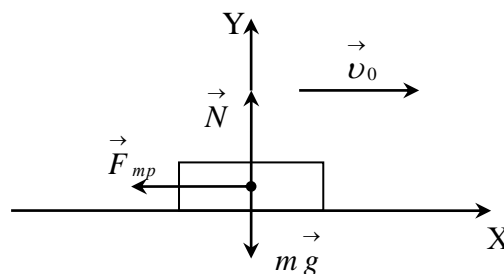


Рис. 1

Запишем II закон Ньютона в векторной форме: $\vec{N} + m \vec{g} + \vec{F}_{mp} = m \vec{a}.$

В проекции на ось X: $-F_{mp} = ma$; на ось Y: $N - mg = 0 \Rightarrow N = mg$, т.к. $F_{mp} = \mu N$, то $F_{mp} = \mu mg$.

С учетом этого уравнение движения будет иметь следующий вид: $-\mu mg = ma$; $-\mu g = a$.

Расстояние, пройденное телом до остановки можно определить по формуле:

$$S = \frac{v^2 - v_0^2}{-2a} = \frac{-v_0^2}{-2\mu g} = \frac{v_0^2}{2\mu g}, \text{ отсюда: } v_0 = \sqrt{2\mu g S}.$$

Проверка размерности: $[v_0] = \left[\sqrt{\frac{M}{c^2} \cdot M} \right] = \left[\sqrt{\frac{M^2}{c^2}} \right] = \left[\frac{M}{c} \right].$

Вычисление: $v_0 = \sqrt{2 \cdot 0,015 \cdot 10 \cdot 80} = 4,9 \text{ (м/с)}.$

Ответ: начальная скорость конькобежца равна 4,9 м/с.

Задача 6. Деревянный брусок массой 2 кг лежит на наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол 60° . С какой силой, направленной перпендикулярно к плоскости, необходимо прижать брусок, чтобы он не соскользнул? Коэффициент трения между бруском и плоскостью 0,4.

$m = 2 \text{ кг}$
 $\alpha = 60^\circ$
 $\mu = 0,4$

$F = ?$

Решение

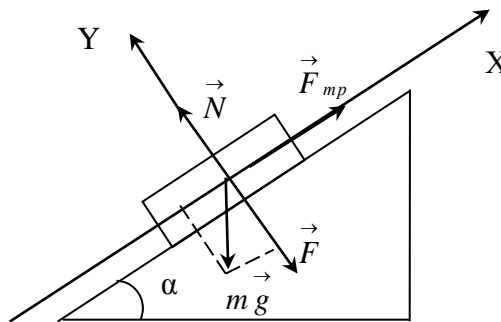


Рис. 1

На брусок действуют сила тяжести, сила реакции опоры, сила трения, сила F , с которой давят на брусок.

Запишем I закон Ньютона в векторной форме: $m \vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{mp} + \vec{F} = 0.$

Проекция этих сил на ось X: $F_{mp} - mg \cdot \sin \alpha = 0$; на ось Y: $F = mg \cdot \cos \alpha - N = 0$, отсюда $N = F + mg \cdot \cos \alpha$. Так как $F_{mp} = \mu N$, то $F_{mp} = \mu(F + mg \cdot \cos \alpha)$ – подставим в первое уравнение:

$$\mu(F + mg \cdot \cos \alpha) - mg \cdot \sin \alpha = 0;$$

$$\mu F + \mu mg \cdot \cos \alpha = mg \cdot \sin \alpha;$$

$$F = \frac{mg \cdot \sin \alpha - \mu mg \cdot \cos \alpha}{\mu}; F = mg \left(\frac{\sin \alpha}{\mu} - \cos \alpha \right).$$

Проверка размерности: $[F] = \left[\text{кг} \cdot \frac{M}{c^2} \right] = [H].$

Вычисление: $F = 2 \cdot 10 \cdot \left(\frac{0,86}{0,4} - 0,5 \right) = 33 \text{ (Н)}.$

Ответ: чтобы брусок не соскользнул, его нужно прижать с силой $F \geq 33H$.

Задача 7. Маленький шарик массы m , прикрепленный к вертикальной оси, движется вокруг этой оси в горизонтальной плоскости по окружности радиуса R с угловой скоростью ω . Если длина недеформированной пружины равна l_0 , то чему равна жесткость пружины?

Решение

m, R, ω, l_0

$k - ?$

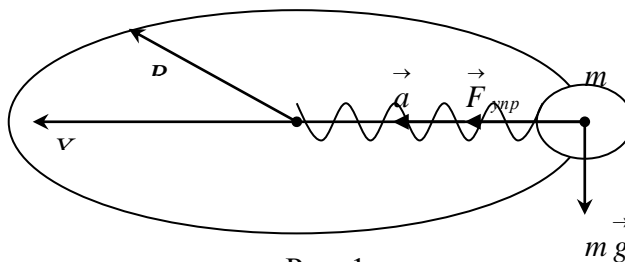


Рис. 1

Запишем II закон Ньютона в векторной форме: $\vec{F}_{\text{пруж}} + m \vec{g} = m \vec{a}$,

где a – центростремительное ускорение.

В проекции на ось X: $F_{\text{пруж}} = ma$, или: $k\Delta l = m\omega^2 R$. (1)

Т.к. $R = l_0 + \Delta l$ – длина деформированной пружины, то $\Delta l = R - l_0$.

Тогда уравнение (1) примет вид: $k = \frac{m\omega^2 R}{R - l_0}$.

Ответ: $k = \frac{m\omega^2 R}{R - l_0}$.

Задача 8. Ядро, летевшее горизонтально со скоростью 20 м/с, разорвалось на два осколка с массами $m_1 = 10 \text{ кг}$ и $m_2 = 5 \text{ кг}$. Скорость меньшего осколка равна и направлена так же, как и скорость ядра до раскола. Найти скорость и направление движения большего осколка.

Решение

$v = 20 \text{ м/с}$

$m_1 = 10 \text{ кг}$

$m_2 = 5 \text{ кг}$

$v_2 = 90 \text{ м/с}$

$v_1 - ?$

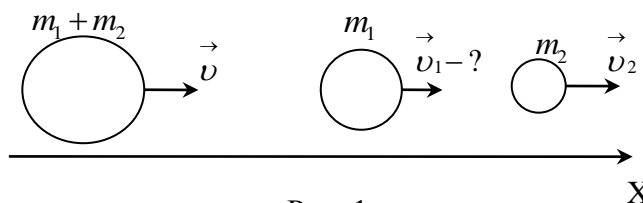


Рис. 1

Запишем закон сохранения импульса в векторной форме:

$$(m_1 + m_2)\vec{v} = m_2 \vec{v}_2 + m_1 \vec{v}_1.$$

Направим ось X в сторону движения ядра. В проекции на эту ось:

$$(m_1 + m_2)v = m_2v_2 + m_1v_1.$$

Отсюда найдем $v_1 = \frac{(m_1 + m_2)v - m_2v_2}{m_1}$.

Проверка размерности: $[v_1] = \left[\frac{(\text{кг} + \text{кг}) \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}} - \text{кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}}{\text{кг}} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}}}{\text{кг}} \right] = \left[\frac{\text{М}}{\text{с}} \right].$

Вычисление: $v_1 = \frac{(10 + 5) \cdot 20 - 5 \cdot 90}{10} = -15 \text{ (м/с)}.$

Ответ: больший осколок полетит в противоположную сторону со скоростью 15 м/с.

Задача 9. Груз массой m поднимается вверх с ускорением $a = 4 \text{ м/с}^2$ под действием постоянной силы в течение времени $t = 5 \text{ с}$. Если работа этой силы по подъему груза равна $A = 28 \text{ кДж}$, то чему равна масса груза?

Дано:

$$a = 4 \text{ м/с}^2$$

$$t = 5 \text{ с}$$

$$A = 28 \text{ кДж}$$

$m = ?$

Решение

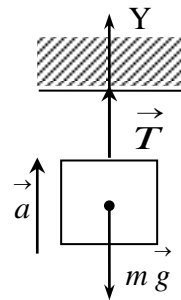


Рис. 1

Запишем второй закон Ньютона в векторной форме: $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$.

В проекции на ось Y: $T - mg = ma$, отсюда $T = m(g + a)$.

Работа равна $A = Th$, где h – высота подъема: $h = \frac{at^2}{2}$ – основное уравнение кинематики для равноускоренного движения.

Тогда $A = m(g + a) \frac{at^2}{2}$.

Отсюда определим массу груза: $m = \frac{2A}{(g + a)at^2}$.

Проверка размерности:

$$[m] = \left[\frac{\text{Дж}}{\left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2} + \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right) \cdot \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot \text{с}^2} \right] = \left[\frac{\text{Н} \cdot \text{М}}{\frac{\text{М} \cdot \text{М}}{\text{с}^2}} \right] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{М} \cdot \text{М} \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{М}^2} \right] = [\text{кг}].$$

Вычисления: $m = \frac{2 \cdot 28 \cdot 10^3}{(10 + 4) \cdot 4 \cdot 25} = 40 \text{ (кг)}.$

Ответ: масса груза 40 кг.

Задача 10. Брусок массой m скользит по горизонтальной поверхности стола и нагоняет брусок массой $6t$, скользящий по столу в том же направлении. В результате неупругого соударения бруски слипаются. Их скорости перед ударом были равны 7 м/с и $\frac{3}{7}v_0$. Коэффициент трения скольжения между брусками и столом $0,5$. На какое расстояние переместятся слипшиеся бруски к моменту, когда их скорость станет равной $\frac{2}{7}v_0$?

Решение

Запишем закон сохранения импульса в векторной форме:

$$m\vec{v}_0 + 6t\vec{v}_1 = (m + 6t)\vec{v}.$$

Тормозной путь определим по формуле: $S = \frac{v_2^2 - v^2}{2a}$,

где v – начальная скорость движения слипшихся брусков.

Ускорение определим из второго закона Ньютона в проекции на ось X :

$$-F_{mp} = ma; F_{mp} = \mu mg;$$

$$-\mu mg = ma; -\mu g = a.$$

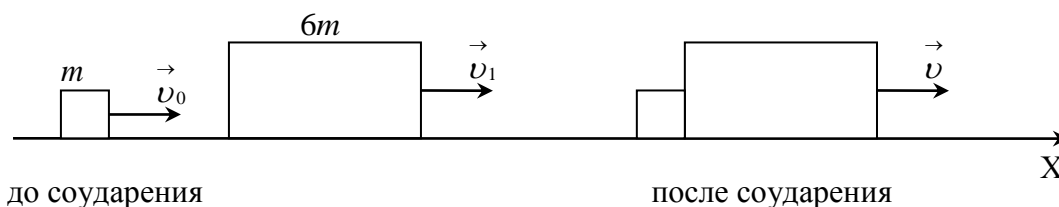


Рис. 1

Формула пути с учетом этого примет вид:

$$S = \frac{v_2^2 - v^2}{-2\mu g}. \quad (1)$$

Запишем закон сохранения импульса в проекции на ось X :

$$mv_0 + 6t\frac{v_0}{3} = (m + 6t)v; \quad 3tv_0 = 7tv; \quad v = \frac{3v_0}{7}.$$

Подставим в уравнение (1) и получим: $S = \frac{\left(\frac{2}{7}v_0\right)^2 - \left(\frac{3}{7}v_0\right)^2}{-2\mu g}$.

Проверка размерности: $[S] = \left[\frac{\frac{M^2}{c^2} - \frac{M^2}{c^2}}{\frac{M}{c^2}} \right] = \left[\frac{M^2}{c^2} \cdot \frac{c^2}{M} \right] = [M]$.

Вычисление: $S = \frac{5 \cdot 49}{49 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot 10} = 0,5 \text{ (м)}$.

Ответ: слипшиеся бруски переместятся на $0,5 \text{ м}$.

Задачи к контрольной работе № 1

101. Мотоциклист за первые 5 мин проехал 3 км, за последующие 8 мин – 9,6 км и за последние 6 мин – 5,4 км. Определить скорость движения мотоциклиста на каждом из трех участков пути; среднюю скорость за все время движения.

102. Товарный поезд длиной $L_1 = 630$ м и экспресс длиной $L_2 = 120$ м идут по двум параллельным путям в одном направлении со скоростями $v_1 = 48,6$ км/ч и $v_2 = 102,6$ км/ч соответственно. В течение какого времени экспресс будет обгонять товарный поезд?

103. С аэростата, находящегося на высоте 300 м, упал камень. Через какое время камень достигнет земли, если аэростат опускается со скоростью 5 м/с? Если аэростат поднимается со скоростью 5 м/с?

104. Мальчик бросил горизонтально мяч из окна, находящегося на высоте 20 м. Сколько времени летел мяч до поверхности земли, и с какой скоростью он был брошен, если он упал на расстоянии 6,0 м от основания дома?

105. Какую начальную скорость надо сообщить камню при бросании его вертикально вниз с моста высотой 20 м, чтобы он достиг поверхности воды через 1 с? На сколько дольше длилось бы падение камня с этой же высоты при отсутствии начальной скорости?

106. Зависимость пройденного телом пути от времени задается уравнением:

$S = A + Bt + Ct^2$, где $A = 3$ м, $B = 2$ м/с, $C = 1$ м/с². Найти среднюю скорость и среднее ускорение за первую и вторую секунды его движения.

107. Точка движется по окружности радиусом 2 см. Зависимость пути от времени: $S = C \cdot t^3$, где $C = 0,1$ см/с³. Найти нормальное и тангенциальное ускорения точки в момент, когда линейная скорость станет равной 0,3 м/с.

108. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 36$ км/ч и $v_2 = 54$ км/ч. Пассажир в первом поезде замечает, что второй поезд проходит мимо него в течение времени $t = 6$ с. Какова длина второго поезда?

109. Колесо, вращаясь равнозамедленно, при торможении уменьшило свою частоту за 1 мин с 300 до 180 об/мин. Найти угловое ускорение колеса и число оборотов, сделанное им за это время.

110. Точка движется по окружности радиусом 20 см с постоянным тангенциальным ускорением 5 м/с². Через какое время после начала движения нормальное ускорение точки будет равно тангенциальному?

111. Летчик, масса которого равна 80 кг, выполняет мертвую петлю радиусом 25 м. При этом скорость самолета равна 540 км/ч. С какой силой давит летчик на сиденье кресла в нижней точке петли?

112. Автомат выпускает 600 пуль в минуту. Масса каждой пули 4 г, ее начальная скорость 500 м/с. Найти среднюю силу отдачи при стрельбе.

113. Диск массой 1 кг и диаметром 60 см вращается вокруг оси, проходящей через центр перпендикулярно его плоскости, делая 20 об/с. Какую работу надо совершить, чтобы остановить диск?
114. Горизонтально расположенный диск проигрывателя вращается с частотой 78 об/мин. На него поместили небольшой предмет. Предельное расстояние от предмета до оси вращения, при котором предмет удерживается на диске, равно 7 см. Каков коэффициент трения между предметом и диском?
115. На наклонной плоскости длиной 13 м и высотой 5 м лежит груз массой 26 кг. Коэффициент трения равен 0,5. Какую силу надо приложить к грузу вдоль этой плоскости, чтобы втащить груз? Чтобы стащить груз с этой плоскости?
116. Мальчик массой 50 кг, скатившись на санках с горки, проехал по горизонтальной дороге до остановки путь 20 м за 10 с. Найти силу трения и коэффициент трения.
117. Брусок массой 400 г, прикрепленный к динамометру, двигают равномерно по горизонтальной поверхности. Динамометр показывает при этом 1 Н. В другом случае брусок двигали по той же поверхности с ускорением. При этом динамометр уже показывал 2 Н. Каким было ускорение?
118. Поезд массой 500 т движется равнозамедленно при торможении, при этом его скорость уменьшается в течение 1 мин от 40 до 28 км/ч. Найти силу торможения.
119. Масса пассажира с лифтом 800 кг. С каким ускорением и в каком направлении движется лифт, если известно, что сила натяжения троса, поддерживающего лифт $T = 12$ кН.
120. Тело скользит по наклонной плоскости составляющей с горизонтом угол 45° . Пройдя расстояние 36,4 см тело приобретет скорость 2 м/с. Чему равен коэффициент трения тела о плоскость?
121. При вертикальном подъеме груза массой 2 кг на высоту 1 м постоянной силой была совершена работа 78,5 Дж. С каким ускорением поднимается груз?
122. Конькобежец, стоя на льду, бросил вперед пятикилограммовую гирию со скоростью 6 м/с. При этом он откатился назад, со скоростью 0,5 м/с. Определить массу конькобежца.
123. При ударе двух шаров скорость одного уменьшилась на 2 м/с, а скорость другого увеличилась на 0,5 м/с. Каково отношение масс этих шаров?
124. Из орудия массой 5 т вылетает снаряд массой 100 кг. Кинетическая энергия снаряда при вылете 7,5 кДж. Какую кинетическую энергию получает орудие вследствие отдачи?
125. Камень массой 2 кг упал с некоторой высоты. Падение продолжалось 1,43 с. Найти кинетическую и потенциальную энергию камня в средней точки пути. Сопротивлением воздуха пренебречь.

126. Молекула массой $4,65 \cdot 10^{-26}$ кг, летящая нормально к стенке сосуда со скоростью 600 м/с, ударяется о стенку упруго и отскакивает от него без потерь. Найти импульс силы $F \cdot \Delta t$, полученный стенкой за время удара.

127. Человек массой $m_1 = 70$ кг, бегущий со скоростью $v_1 = 9$ км/ч, догоняет тележку массой $m_2 = 190$ кг, движущуюся со скоростью $v_2 = 3,6$ км/ч, и вскакивает на нее. С какой скоростью станет двигаться тележка с человеком? С какой скоростью будет двигаться тележка с человеком, если человек до прыжка бежал навстречу тележке?

128. Орудие, жестко закрепленное на железнодорожной платформе, производит выстрел вдоль полотна железной дороги под углом $\alpha = 30^\circ$ к линии горизонта. Определить скорость v_2 отката платформы, если снаряд вылетает со скоростью $v_1 = 480$ м/с. Масса платформы с орудием и снарядами $m_2 = 18$ т, масса снаряда $m_1 = 60$ кг.

129. В деревянный шар массой $m_1 = 8$ кг, подвешенный на нити длиной $L = 1,8$ м, попадает горизонтально летящая пуля массой $m_2 = 4$ г. С какой скоростью летела пуля, если нить с шаром и застрявшей в нем пулей отклонилась от вертикали на угол $\alpha = 3^\circ$? Размером шара пренебречь. Удар пули считать прямым, центральным.

130. Шар массой $m_1 = 3$ кг движется со скоростью $v_1 = 2$ м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой $m_2 = 5$ кг. Какая работа будет совершена при деформации шаров? Удар считать абсолютно неупругим, прямым, центральным.

131. На барабан радиусом 0,5 м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой 10 кг. Найти момент инерции барабана, если известно, что груз опускается с ускорением $2,04$ м/с².

132. Обруч и диск одинаковой массы катятся без скольжения с одинаковой линейной скоростью. Кинетическая энергия обруча 4 Дж. Найти кинетическую энергию диска.

133. Найти линейную скорость движения центра масс обруча, скатывающегося без скольжения с наклонной плоскости. Начальная скорость равна нулю. Угол наклона плоскости 30° .

134. Маховик, момент инерции которого $63,6$ кг·м², вращается с постоянной угловой скоростью $31,4$ рад/с. Найти тормозящий момент, под действием которого маховик останавливается через 20 с.

135. На обод маховика диаметром $D = 60$ см намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m = 2$ кг. Определить момент инерции маховика, если он, вращаясь равноускоренно под действием силы тяжести груза, за время $t = 3$ с приобрел угловую скорость $\omega = 9$ рад/с.

136. Стержень вращается вокруг оси, проходящей через его середину, согласно уравнению $\varphi = At + Bt^3$, где $A = 2$ рад/с, $B = 0,2$ рад/с³. Определить вращающий момент M , действующий на стержень через время $t = 2$ с после начала вращения, если момент инерции стержня $J = 0,048$ кг·м².

137. Блок, имеющий форму диска массой $m = 0,4$ кг, вращается под действием силы натяжения нити, к концам которой подвешены грузы массами $m_1 = 0,3$ кг и $m_2 = 0,7$ кг. Определить силы натяжения нити T_1 и T_2 по обе стороны блока.

138. На скамье Жуковского сидит человек и держит на вытянутых руках гири массой $m = 5$ кг каждая. Расстояние от каждой гири до оси скамьи $l = 70$ см. Скамья вращается с частотой $n_1 = 1$ с⁻¹. Как изменится частота вращения скамьи, и какую работу произведет человек, если он сожмет руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до $l = 20$ см? Момент инерции человека и скамьи (вместе) относительно оси $J = 2,5$ кг·м².

139. На краю платформы в виде диска, вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси с частотой $n_1 = 8$ мин⁻¹, стоит человек массой $m_1 = 70$ кг. Когда человек перешел в центр платформы, она стала вращаться с частотой $n_2 = 10$ мин⁻¹. Определить массу m_2 платформы. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

140. Определить момент силы M , который необходимо приложить к блоку, вращающемуся с частотой $n = 12$ м⁻¹, чтобы он остановился в течение времени $\Delta t = 8$ с. Диаметр блока $D = 30$ см. Массу блока $m = 6$ кг считать равномерно распределенной по ободу.

141. К пружине подвешен груз массой 10 кг. Зная, что пружина под влиянием силы 9,8 Н растягивается на 1,5 см, определить период вертикальных колебаний груза.

142. Амплитуда гармонического колебания 5 см, период 4 с. Найти максимальную скорость колеблющейся точки и ее максимальное ускорение.

143. Найти разность фаз колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих на расстоянии 2 м друг от друга, если длина волны 1 м.

144. Смещение от положения равновесия точки, находящейся на расстоянии 4 см от источника колебаний в момент $t = T/6$ с равно половине амплитуды. Найти длину бегущей волны.

145. Найти длину волны колебания, период которого 10^{-14} с. Скорость распространения колебаний $3 \cdot 10^8$ м/с.

146. Начальная фаза гармонического колебания равна нулю. Через какую долю периода скорость точки будет равна половине ее максимальной скорости?

147. Точка совершает гармонические колебания $x = A \sin \omega t$, где $A = 5$ см, $\omega = 2$ с⁻¹. В момент времени, когда точка обладала потенциальной энергией 0,7 мДж, на нее действовала возвращающая сила в 5 мН. Найти этот момент времени.

148. Определить период колебаний математического маятника, если модуль его максимального перемещения 18 см и максимальная скорость 16 см/с.

149. Материальная точка совершает гармонические колебания так, что в начальный момент времени смещение $x_0 = 4$ см, скорость $v_0 = 10$ см/с. Определить амплитуду и начальную фазу колебаний, если их период $T = 2$ с.

150. Шарик массой 60 г колеблется с периодом 2 с. В начальный момент его смещение 4 см и он обладает энергией 0,002 Дж. Записать уравнение простого гармонического колебания шарика и закон изменения возвращающей силы с течением времени.

151. Найти скорость течения по трубе углекислого газа, если известно, что за полчаса через поперечное сечение трубы диаметром 2 см протекает 0,51 кг газа с плотностью $7,5 \text{ кг/м}^3$.

152. В сосуд льется вода, причем за 1 с наливается 0,2 л. Каков должен быть диаметр отверстия в дне сосуда, чтобы вода в нем держалась на постоянном уровне, равном 8,3 см?

153. В чан равномерной струей наливается вода. Приток воды $150 \text{ см}^3/\text{с}$. В дне чана имеется отверстие площадью $0,5 \text{ см}^2$. Какого уровня может достигнуть вода в чане?

154. Шарик всплывает с постоянной скоростью в жидкости, плотность которой в 4 раза больше плотности материала шарика. Во сколько раз сила трения, действующая на всплывающий шарик, больше веса этого шарика?

155. Какой наибольшей скорости может достичь дождевая капля диаметром 0,3 мм, если динамическая вязкость воздуха равна $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}\cdot\text{с}$?

156. Стальной шарик диаметром 1 мм падает с постоянной скоростью $0,185 \text{ см/с}$ в большом сосуде, наполненном касторовым маслом. Найти динамическую вязкость касторового масла.

157. Смесь свинцовых дробинок диаметром 3 мм и 1 мм опустили в бак с глицерином глубиной 1 м. На сколько позже упадут на дно дробинок меньшего диаметра по сравнению с дробинок большего диаметра? Динамическая вязкость при температуре опыта $14,7 \text{ г/см}\cdot\text{с}$.

158. В дне цилиндрического сосуда имеется круглое отверстие диаметром 1 см. Диаметр сосуда 0,5 м. Найти зависимость скорости понижения уровня воды в сосуде от высоты этого уровня. Найти численное значение этой скорости для высоты 0,2 м.

159. На столе стоит сосуд с водой, в боковой поверхности которого имеется малое отверстие, расположенное на расстоянии 25 см от дна сосуда и на расстоянии 16 см от уровня воды. Уровень воды в сосуде поддерживается постоянным. На каком расстоянии от отверстия (по горизонтали) струя воды падает на стол?

160. В восходящем потоке воздуха, скорость которого 2 см/с , находится пылинка, имеющая форму шарика диаметром 0,01 мм. Опускается или поднимается пылинка, если ее плотность на $2,3 \text{ г/см}^3$ больше плотности воздуха? Принять, что движение воздуха при обтекании пылинки является ламинарным.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2

Таблица вариантов к контрольной работе № 2

Алфавит	Номера задач по первой букве					
	фамилии		имени		отчества	
А, К, Ф	210	211	230	231	250	251
Б, Л, Х	209	212	229	232	249	252
В, М, Ц	208	213	228	233	248	253
Г, Н, Ч	207	214	227	234	247	254
Д, О, Ш	206	215	226	235	246	255
Е, П, Щ	205	216	225	236	245	256
Е, Р	204	217	224	237	244	257
Ж, С, Э	203	218	223	238	243	258
З, Т, Ю	202	219	222	239	242	259
И, У, Я	201	220	221	240	241	260

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Примеры решения задач

Задача 1. Какое давление создают 2 г азота, занимающие объем 820 см³ при температуре 7 °С?

Решение

$$\begin{aligned}
 N_2 \\
 m = 2 \text{ г} = 0,002 \text{ кг} \\
 M = 28 \text{ кг/кмоль} \\
 V = 820 \text{ см}^3 = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \\
 T = 7 + 273 = 280 \text{ К} \\
 R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кмоль}\cdot\text{К)} \\
 \hline
 p - ?
 \end{aligned}$$

Идеальные газы подчиняются уравнению состояния Менделеева – Клапейрона:

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

где p – давление газа, Па; V – объем газа, м³; m – масса газа, кг; M – молярная масса газа, кг/моль; R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К); T – абсолютная температура газа, К.

Выражая давление из уравнения Менделеева–Клапейрона получим:

$$p = \frac{mRT}{MV} = \frac{0,002 \cdot 8,31 \cdot 280}{28 \cdot 820 \cdot 10^{-6}} = 2,03 \cdot 10^5 \text{ Па} = 203 \text{ кПа.}$$

Ответ: давление равно 203 кПа.

Задача 2. Определить, сколько киломолей и молекул водорода содержится в объеме 50 м^3 под давлением 767 мм рт. ст. при температуре 18°С . Какова плотность и удельный объем газа?

Решение

$$\begin{array}{l}
 H_2 \\
 M = 2 \text{ кг/кмоль} \\
 V = 50 \text{ м}^3 \\
 T = 18 + 273 = 291 \text{ К} \\
 R = 8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кмоль}\cdot\text{К)} \\
 \hline
 \nu - ? \quad N - ? \quad \rho - ? \quad d - ?
 \end{array}$$

На основании уравнения Менделеева – Клапейрона:

$$pV = \nu RT,$$
 где p – давление газа, Па; V – объем газа, м^3 ; m – масса газа, кг; ν – число молей газа, кмоль; T – абсолютная температура газа, К.

Отсюда:
$$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{767 \cdot 133 \cdot 50}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 291} = 2,11 \text{ кмоль.}$$

Число молекул газа, содержащихся в данном объеме, находим, используя число Авогадро N_A (которое определяет, какое количество молекул содержится в одном киломоле). Общее количество молекул, находящихся в массе m данного газа, может быть установлено, так как известно число киломолей ν .

$$N = \nu \cdot N_A = 2,11 \cdot 6,02 \cdot 10^{26} = 12,7 \cdot 10^{26},$$

где $N_A = 6,02 \cdot 10^{26}$ – число Авогадро.

Плотность газа $\rho = \frac{m}{V}$ найдем из уравнения Менделеева – Клапейрона:

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

Таким образом,
$$\rho = \frac{pM}{RT} = \frac{767 \cdot 133 \cdot 2}{8,31 \cdot 10^3 \cdot 291} = 8,44 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3.$$

Удельный объем газа определим как:
$$d = \frac{V}{m} = \frac{RT}{pM} = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{8,44 \cdot 10^{-2}} = 11,9 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Ответ: $\nu = 2,11$ кмоль, число молекул – $12,7 \cdot 10^{26}$, плотность газа – $8,44 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$, удельный объем – $11,9 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Задача 3. Найти число молекул азота в 1 м^3 , если давление равно $2,69 \text{ атм}$, а средняя квадратичная скорость молекул равна 2400 м/с .

Решение

$$N_2$$

$$V = 1 \text{ м}^3$$

$$p = 2,69 \text{ атм} = 2,69 \cdot 133 \text{ Па}$$

$$\langle V_{\text{кв}} \rangle^2 = 2400 \text{ м/с}$$

$$n_0 - ?$$

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов имеет вид:

$$p = \frac{1}{3} n_0 m_0 \langle V_{\text{кв}} \rangle^2,$$

где p – давление газа, Па; n_0 – количество молекул в единице объема газа, м^{-3} ; m – масса одной молекулы, кг; $\langle V_{\text{кв}} \rangle^2$ – средняя квадратичная скорость молекул, м/с .

Масса одной молекулы $m = \frac{M}{N_A}$,

где M – масса 1 моля газа, кг; $N_A = 6,02 \cdot 10^{26}$ – число Авогадро.

Таким образом, получим:

$$n_0 = \frac{3pN_A}{M \cdot \langle V_{\text{кв}} \rangle^2} = \frac{3 \cdot 2,69 \cdot 1,01 \cdot 10^5 \cdot 6,02 \cdot 10^{26}}{28 \cdot 2,4^2 \cdot 10^6} = 4,2 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}.$$

Ответ: количество молекул в единице объема газа равно $4,24 \cdot 10^{24} \text{ м}^{-3}$.

Задача 4. Газ, занимающий объем 20 л при нормальных условиях, был изобарически нагрет до 80 °С. Определить работу расширения газа.

Решение

$$V = 20 \text{ л} = 0,02 \text{ м}^3$$

$$p_1 = p_2 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$T_1 = 273 \text{ К}$$

$$T_2 = 80 + 273 = 353 \text{ К}$$

$$A - ?$$

Работа расширения газа A при изобарическом процессе определяется по формуле:

$$A = \frac{m}{M} R \Delta T,$$

где m – масса газа, кг; M – молярная масса газа, кг/моль ; R – универсальная газовая постоянная, $\text{Дж/(кмоль} \cdot \text{К)}$; ΔT – разница температур, К .

Число молей газа $\frac{m}{M}$ определим из уравнения Менделеева – Клапейрона:

$$p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1 \quad \text{или} \quad \frac{m}{M} = \frac{p_1 V_1}{R T_1}.$$

Тогда: $A = \frac{p_1 V_1}{T_1} \Delta T = \frac{1,01 \cdot 10^5 \cdot 0,02}{273} \cdot 80 = 592 \text{ Дж}.$

Ответ: работа расширения газа равна 592 Дж.

Задача 5. В цилиндре под поршнем находится водород, который имеет массу 0,02 кг и начальную температуру 27 °С. Водород сначала расширился адиабатически, увеличив свой объем в 5 раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в 5 раз. Найти температуру в конце адиабатического расширения и работу, совершенную газом.

Решение

$$\begin{array}{l}
 H_2 \\
 m = 0,02 \text{ кг} \\
 M = 2 \text{ кг/кмоль} \\
 V_2/V_1 = 5 \\
 i = 5 \\
 T_1 = 27 + 273 = 300 \text{ К} \\
 \hline
 A - ? \quad T_2 - ?
 \end{array}$$

При адиабатном процессе температура и объем связаны соотношением: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$, где T_1, V_1 – температура и объем газа в начале адиабатного процесса газа, К и м³; T_2, V_2 – температура и объем газа в конце адиабатного процесса газа, К и м³, γ – показатель адиабаты.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v},$$

где C_p – теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг·К); C_v – теплоемкость при постоянном объеме, Дж/(кг·К). Для водорода $\gamma = 1,4$.

Выражая конечную температуру: $T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 300 \left(\frac{1}{5}\right)^{1,4-1} = 157 \text{ К}$.

Работу A_1 газа при адиабатном процессе можно определить по формуле:

$$A_1 = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2) = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R (T_1 - T_2),$$

где $i = 5$ – число степеней свободы для двухатомного газа.

$$A_1 = \frac{0,02 \cdot 5 \cdot 8,31 \cdot 10^3}{2 \cdot 2} (300 - 157) = 2,97 \cdot 10^4 \text{ Дж}.$$

Работа A_2 газа при изотермическом процессе можно определить по формуле:

$$A_2 = RT_2 \frac{m}{M} \ln \frac{V_2}{V_1} = 8,31 \cdot 10^3 \cdot 157 \frac{0,02}{2} \ln \frac{1}{5} = -2,1 \cdot 10^4 \text{ Дж}.$$

Знак «−» показывает, что при сжатии газа работа совершается над газом внешними силами. Полная работа, совершенная газом при описанных процессах, равна:

$$A = A_1 + A_2 = (2,97 - 2,1) 10^4 = 8,7 \cdot 10^3 = 8,7 \text{ кДж}.$$

Ответ: температура газа в конце адиабатного процесс равна 157 К, работа, совершенная газом, равна 8,7 кДж.

Задача 6. Температура нагревателя тепловой машины 500 К. Температура холодильника 400 К. Определить КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно, и полезную мощность, если нагреватель каждую секунду передает ей 1675 Дж теплоты.

Решение

$T_1 = 500 \text{ К}$
 $T_2 = 400 \text{ К}$
 $t = 1 \text{ с}$
 $Q = 1675 \text{ Дж}$

 $\eta - ? N - ?$

КПД тепловой машины, работающей по циклу Карно:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{или} \quad \eta = \frac{A}{Q},$$

где T_1 – температура нагревателя, К; T_2 – температура холодильника, К; A – полезная работа, совершенная машиной, Дж.

Из этих выражений находим: $A = \eta Q = Q \frac{T_1 - T_2}{T_1}$.

Произведя вычисления: $\eta = \frac{500 - 400}{500} = 0,2$.

Отсюда полезная работа: $A = 0,2 \cdot 1675 = 335 \text{ Дж}$.

Эта работа совершается за 1 с, следовательно, полезная мощность машины:

$$N = A/t = 335/1 = 335 \text{ Вт.}$$

Ответ: КПД тепловой машины равно 0,2; полезная мощность 335 Вт.

Задача 7. В центре квадрата, в каждой вершине которого находится заряд равный 2,4 нКл, помещен отрицательный заряд q_0 . Найти этот заряд, если на каждый заряд в вершине действует результирующая сила, равная 0,4 мН. Сторона квадрата 1 см.

Решение

$a = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$
 $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 2,4 \text{ нКл} =$
 $= 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$
 $F = 0,4 \text{ мН} = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$

 $q_0 - ?$

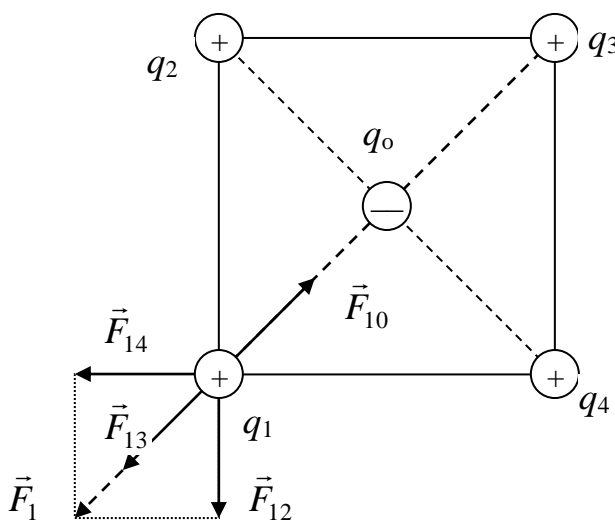


Рис. 1

Результирующая сила F , действующая на каждый из зарядов, находящихся в вершинах квадрата, равна $\vec{F} = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{14} + \vec{F}_{13}$.

$$F_{12} = F_{14} = k \frac{q^2}{a^2}; \quad F_1 = \sqrt{F_{12}^2 + F_{14}^2} = \sqrt{2} \cdot k \frac{q^2}{a^2},$$

$$F_{13} = k \frac{q^2}{r_{13}^2} = k \frac{q^2}{2a^2}; \quad F_{10} = k \frac{qq_0}{r_{10}^2} = k \frac{2qq_0}{a^2}.$$

Отсюда

$$F = k \frac{\sqrt{2}q^2}{a^2} + k \frac{q^2}{2a^2} - k \frac{2qq_0}{a^2};$$

$$2a^2 F = 2\sqrt{2}kq^2 + kq^2 - 4kqq_0;$$

$$4kqq_0 = 2\sqrt{2}kq^2 + kq^2 - 2a^2 F;$$

$$q_0 = \frac{2\sqrt{2}kq^2 + kq^2 - 2a^2 F}{4kq} = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл.}$$

Ответ: заряд равен 1,3 нКл.

Задача 8. Два заряда $q_1 = q$ и $q_2 = -4q$ находятся на расстоянии $r = 10$ см друг от друга. Третий заряд q_3 может перемещаться только вдоль прямой, проходящей через заряды. Определите положение заряда q_3 , при котором он будет находиться в равновесии.

Решение

$$\begin{array}{l} q_1 = q ; \\ q_2 = -4q ; \\ r = 10 \text{ см} \\ \hline x - ? \end{array}$$

Заряд будет находиться в равновесии, если $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 0$.
Из рисунка видно, что это условие может быть выполнено лишь на рис. 1, а.

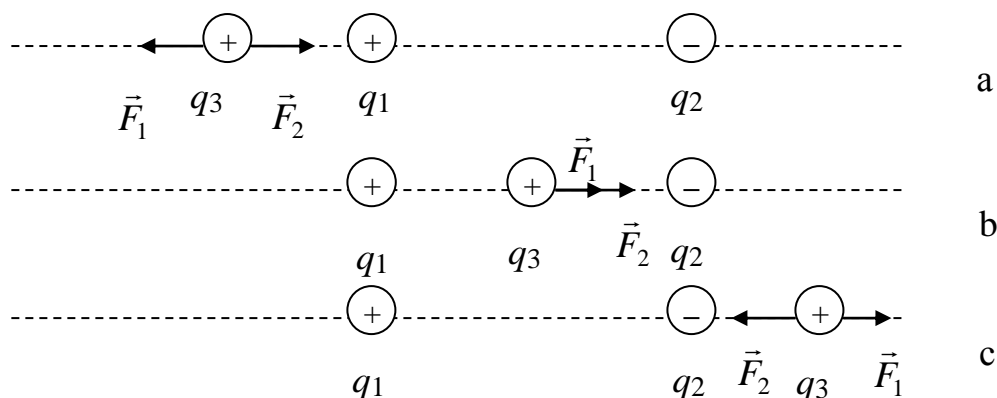


Рис. 1

Расстояние от меньшего по модулю заряда q_1 до q_3 на рис. 1,а обозначим через x . Тогда расстояние от заряда q_2 до заряда q_3 будет равно $(r+x)$.

Выражая в условии равновесия силы F_1 и F_2 в соответствии с законом Кулона, получим

$$k \frac{q_1 q_3}{x^2} = k \frac{q_2 q_3}{(r+x)^2}; \frac{q}{x^2} = \frac{4q}{(r+x)^2}; \frac{1}{x^2} = \frac{4}{r^2 + 2rx + x^2};$$

$$x_1 = r, \quad x_2 = -\frac{2}{3}r.$$

Физическому условию задачи удовлетворяет корень $x_1 = r$.

Ответ: $x = r$.

Задача 9. Электрическое поле создано двумя точечными зарядами $q_1 = 30$ нКл и $q_2 = -10$ нКл. Расстояние d между зарядами равно 20 см. Определите напряженность электрического поля в точке, находящейся на расстоянии $r_1 = 15$ см от первого и на расстоянии $r_2 = 10$ см от второго заряда.

$$q_1 = 30 \text{ нКл} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

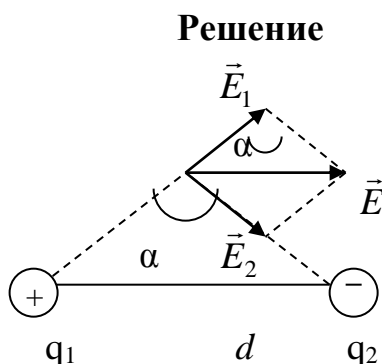
$$q_2 = -10 \text{ нКл} = -10 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$d = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$r_1 = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$$

$$r_2 = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$E - ?$



Согласно принципу суперпозиции:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \quad E_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1^2}, \quad E_2 = \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2^2};$$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos \alpha};$$

$$d^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos \alpha;$$

$$\cos \alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1 r_2} = 0,25;$$

$$E = 16,7 \text{ кВ/м.}$$

Ответ: напряженность поля равна 16,7 кВ/м.

Задача 10. Заряд $q = 1,5 \cdot 10^{-8}$ Кл равномерно распределен по кольцу радиуса $R = 0,2$ м. Найдите напряженность электрического поля в точке, находящейся на оси кольца на расстоянии $h = 0,15$ м от его центра.

$q = 1,510^{-9}$ Кл
$R = 0,2$ м
$h = 0,15$ м
$E = ?$

Решение

Заряд q не является точечным, поэтому кольцо разбивается на элементарные части с зарядом dq , которые можно считать точечными.

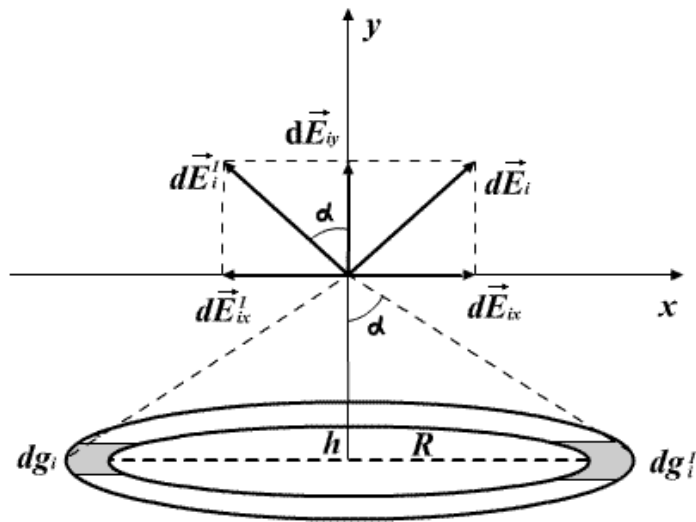


Рис. 1

$$dE_i = k \frac{dq_i}{r^2}, r = \sqrt{R^2 + h^2}.$$

Согласно принципу суперпозиции: $\vec{E} = \sum_{i=1}^n d\vec{E}_i$. Вектор $d\vec{E}_i$ можно разложить на составляющие dE_{ix} и dE_{iy} . Тогда $\vec{E} = \vec{i} \sum_{i=1}^n dE_{ix} + \vec{j} \sum_{j=1}^n dE_{iy}$, где \vec{i} и \vec{j} – единичные векторы (орты).

Очевидно, что $\vec{i} \sum_{i=1}^n dE_{ix} = 0$. Таким образом $\vec{E} = \vec{j} \sum_{j=1}^n dE_{iy}$.

$$dE_{iy} = dE_i \cdot \cos \alpha, \cos \alpha = \frac{h}{r} = \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}};$$

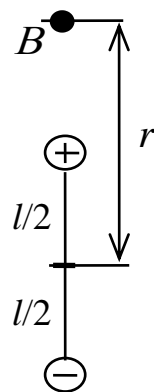
$$E = \sum_{i=1}^n dE_i \cdot \cos \alpha = \cos \alpha \sum_{i=1}^n k \frac{dq_i}{r^2} = k \frac{\cos \alpha}{r^2} \sum_{i=1}^n dq_i = k \frac{q \cos \alpha}{r^2} = k \frac{qh}{r^3} = k \frac{qh}{(R+h)^{3/2}}.$$

Ответ: напряженность равна $E = 1,3 \cdot 10^3$ В/м.

Задача 11. Заряд точечный $q_0 = -2 \cdot 10^{-10}$ Кл расположен на продолжении оси диполя, электрический момент которого $p_e = -1,5 \cdot 10^{-10}$ Кл·м, на расстоянии $r = 10$ см от его центра (ближе к положительному заряду диполя). Какую работу надо совершить, чтобы перенести этот заряд в симметрично расположенную точку по другую сторону диполя.

$q_0 = -2 \cdot 10^{-10} \text{ Кл}$ $p_e = -1,5 \cdot 10^{-10} \text{ Кл} \cdot \text{м}$ $r = 10 \text{ см}$
$A^* = ?$

Решение



С

Рис. 1

Работа A^* , совершаемая внешними силами при перемещении заряда в электрическом поле, равна работе сил поля взятой с обратным знаком:

$$A^* = -A = -q_0(\varphi_1 - \varphi_2),$$

где φ_1 и φ_2 – потенциалы точек В и С.

$$\varphi_1 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \left(r - \frac{l}{2}\right)} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \left(r + \frac{l}{2}\right)} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{l}{r^2 \left(1 - \frac{l^2}{4r^2}\right)},$$

$$\varphi_2 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \left(r + \frac{l}{2}\right)} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \left(r - \frac{l}{2}\right)} = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{l}{r^2 \left(1 - \frac{l^2}{4r^2}\right)}.$$

Если учесть, что $P_\ell = ql$ и при $r \gg l$ выражениями $\frac{l^2}{4r^2}$ в знаменателе можно пренебречь, то формулы для φ_1 и φ_2 принимают вид:

$$\varphi_1 = \frac{P_\ell}{4\pi\epsilon_0 r^2}, \quad \varphi_2 = -\frac{P_\ell}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

$$A^* = -2q_0 \frac{P_\ell}{4\pi\epsilon_0 r^2} = 5,4 \cdot 10^{-8} \text{ Дж.}$$

Ответ: работа равна $A^* = 54 \text{ нДж}$.

Задача 12. Тонкий стержень длиной $\ell = 10$ см равномерно заряжен зарядом $q = -3 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определите напряженность и потенциал поля в точке C , лежащей на оси стержня. На расстоянии x_0 от середины стержня до этой точки.

$x_0 = 20$ см
 $q = -3 \cdot 10^{-9}$ Кл
 $\ell = 10$ см

 $E_c = ?$
 $\varphi_c = ?$

Решение

Заряд не является точечным, поэтому стержень разбивается на элементарные отрезки dx , заряд dq на которых можно считать точечным.

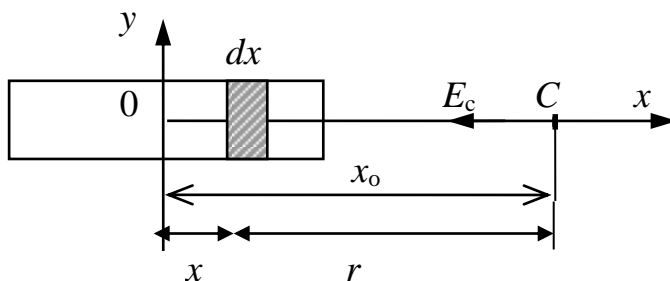


Рис. 1

Потенциал поля, создаваемый в точке C зарядом dq , равен:

$$d\varphi_c = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r},$$

где

$$r = x_0 - x, \quad dq = \frac{q}{\ell} dx.$$

Потенциал поля, создаваемый в точке C всем стержнем, находится интегрированием

$$\varphi = \int_{(q)} \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 r}.$$

Таким образом,

$$\varphi_c = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \ell} \int_{-\ell/2}^{\ell/2} \frac{dx}{x_0 - x} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \ell} \ln \frac{x_0 + \ell/2}{x_0 - \ell/2} = -138 \text{ В.}$$

Напряженность поля вдоль оси OX равна

$$E_x = -\frac{d\varphi}{dx} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \ell} \left(\frac{1}{x - \ell/2} - \frac{1}{x + \ell/2} \right).$$

Отсюда

$$E_c = \frac{d\varphi}{dx} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \ell} \left(\frac{1}{x - \ell/2} - \frac{1}{x + \ell/2} \right) = 720 \text{ В/м.}$$

Ответ: $\varphi_c = -138$ В; $E_c = 720$ В/м.

Задача 13. В плоский конденсатор влетает электрон со скоростью $V = 2 \cdot 10^7$ м/с, направленной параллельно пластинам конденсатора. На какое расстояние от своего первоначального направления сместится электрон за время пролета конденсатора? Расстояние между пластинами $d = 2$ см, длина пластин конденсатора $\ell = 5$ см, разность потенциалов между пластинами $U = 200$ В.

Решение

$$V_0 = 2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$d = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\ell = 5 \text{ см}$$

$$U = 200 \text{ В}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$S = ?$$

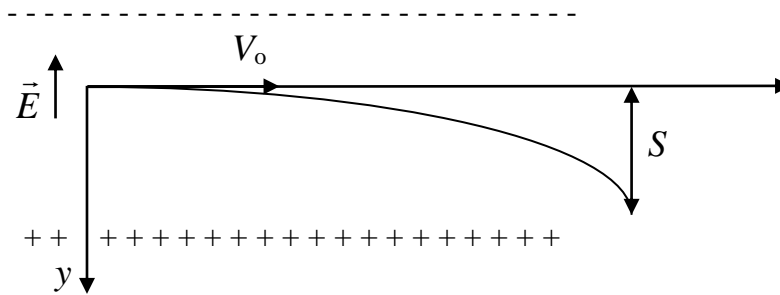


Рис. 1

Движение электрона вдоль оси OX является равномерным, вдоль оси OY – равноускоренным.

$$S = \frac{at^2}{2},$$

где a – ускорение, приобретаемое электроном под действием силы $F = eE$.

$$E = \frac{U}{d}, \quad t = \frac{\ell}{V_0}, \quad eE = ma, \quad a = \frac{eE}{m}.$$

Отсюда

$$S = \frac{eE\ell^2}{2mV_0^2} = \frac{eU\ell^2}{2mdV_0^2} = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5,5 \text{ мм}.$$

Ответ: $S = 5,5$ мм.

Задача 14. Плоский воздушный конденсатор с площадью S пластины, равной 500 см^2 , подключен к источнику тока, ЭДС которого равен 300 В. Определить работу A внешних сил по раздвигению пластин от расстояния $d_1 = 1$ см до $d_3 = 3$ см в двух случаях: 1) пластины перед раздвигением отключаются от источника тока; 2) пластины в процессе раздвигения остаются подключенными к нему.

Решение

Работа внешних сил равна изменению энергии конденсатора:

$$A = W_2 - W_1.$$

1) Заряд на обкладках конденсатора остается постоянным, так как конденсатор отключен от источника:

$$q = C_1 \Delta\phi = \text{const}, \text{ где } \Delta\phi \text{ равна ЭДС источника } U.$$

$$S = 500 \text{ см}^2 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$U = 300 \text{ В}$$

$$d_1 = 1 \text{ см}$$

$$d_3 = 3 \text{ см}$$

$$A = ?$$

$$A = \frac{q^2}{2C_2} - \frac{q^2}{2C_1} = \frac{q^2}{2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right) = \frac{\varepsilon^2}{2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_1} \right);$$

$$C_1 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_1}, C_2 = \frac{\varepsilon_0 S}{d_2}.$$

$$A = \frac{q^2}{2} \left(\frac{d_2}{\varepsilon_0 S} - \frac{d_1}{\varepsilon_0 S} \right) = \frac{q^2}{2\varepsilon_0 S} (d_2 - d_1) = 3,98 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$

2) Пластины остаются подключенными к источнику тока, и система не является изолированной. Заряд с пластин при их раздвижении перемещается к клеммам батареи. В этом случае остается неизменной разность потенциалов между пластинами $\Delta\varphi = U$, поэтому энергию конденсатора удобно представить в виде: $W = \frac{CU^2}{2}$,

тогда $A = W_2 - W_1 = \frac{U^2}{2} (C_2 - C_1)$.

Таким образом

$$A = \frac{U^2}{2} \left(\frac{\varepsilon_0 S}{d_2} - \frac{\varepsilon_0 S}{d_1} \right) = \frac{U^2 \varepsilon_0 S}{2} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) = 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ Дж.}$$

Ответ: 1) $A = 3,98 \cdot 10^{-6}$ Дж; 2) $A = 1,33 \cdot 10^{-6}$ Дж.

Задача 15. Расстояние d между пластинами плоского конденсатора равно 2 мм, разность потенциалов $U = 1,8$ кВ. Диэлектрик – стекло. Определите диэлектрическую восприимчивость χ стекла и поверхностную плотность σ' связанных зарядов на поверхности стекла.

$d = 2$ мм	Решение
$U = 1,8$ кВ	$\varepsilon = 1 + \chi; \quad \chi = \varepsilon - 1 = 6;$
$\varepsilon = 7,0$	$\sigma' = P,$
$\sigma' - ?$	где P – поляризованность диэлектрика.
	$P = \chi \varepsilon_0 E,$
	где $E = U/d$ – напряженность поля в диэлектрике.
Отсюда	$\sigma' = \chi \varepsilon_0 (U/d) = 47,7 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/м}^2.$

Ответ: $\chi = 6, \sigma' = 47,7 \cdot 10^{-6}$ Кл/м².

Задача 16. Плоская квадратная пластина со стороной $a = 0,1$ м находится на некотором расстоянии от бесконечной, равномерно заряженной плоскости ($\sigma = 1$ мкКл/м²). Плоскость пластины составляет угол $\beta = 30^\circ$ с линиями поля. Найти поток Φ вектора электрической напряженности через эту пластину.

Решение

$$a = 0,1 \text{ м}$$

$$\sigma = 1 \text{ мкКл/м}^2$$

$$\beta = 30^\circ$$

$$\Phi - ?$$

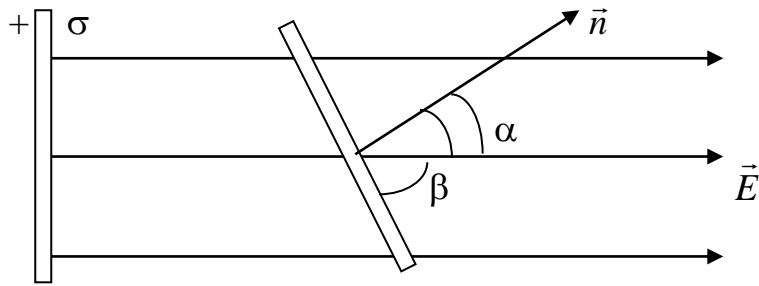


Рис. 1

Заряженная плоскость создает однородное электрическое поле с напряженностью

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}. \text{ Таким образом } \Phi = E \cdot S \cdot \cos\alpha.$$

Учитывая, что $\cos\alpha = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) = \sin\beta$, окончательно получаем

$$\Phi = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} a^2 \sin\beta = 280 \text{ В}\cdot\text{м}.$$

Ответ: $\Phi = 280 \text{ В}\cdot\text{м}.$

Задача 17. В центре сферы, радиусом $R = 20 \text{ см}$, находится точечный заряд $q = 10^{-2} \text{ мкКл}$. Определить поток вектора напряженности через часть сферической поверхности площадью $S = 20 \text{ см}^2$.

Решение

$$R = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$q = 10^{-2} \text{ мкКл}$$

$$S = 20 \text{ см}^2 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\Phi - ?$$

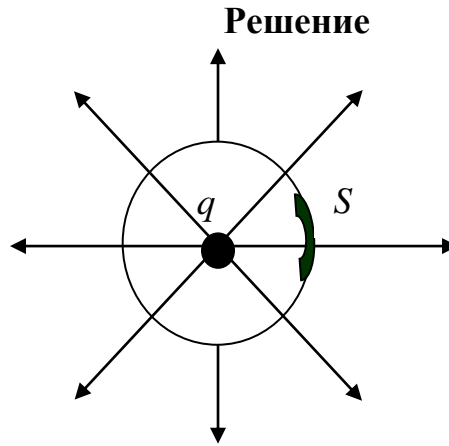


Рис. 1

Поток Φ_R через всю сферическую поверхность можно определить по теореме

Остроградского – Гаусса: $\Phi_R = \frac{1}{\epsilon_0} q.$

Искомая часть этого потока, проходящая через S , определяется соотношением

$$\Phi = \frac{S}{4\pi R^2} \Phi_R = 4,5 \text{ В}\cdot\text{м}.$$

Ответ: $\Phi = 4,5 \text{ В}\cdot\text{м}.$

Задачи к контрольной работе № 2

201. Какое число молекул содержится в 1 г водяного пара?

202. Молекула азота летит со скоростью 430 м/с. Найти количество движения этой молекулы.

203. Баллон вместимостью $V = 20$ л заполнен азотом при температуре $T = 400$ К. Когда часть газа израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta p = 200$ кПа. Определить массу m израсходованного газа. Процесс считать изотермическим.

204. В сосуде находится 14 г азота и 9 г водорода при температуре 10 °С и давлении 1 МПа. Найти молярную массу смеси.

205. 12 г газа занимают объем $4 \cdot 10^{-3}$ м³ при температуре 7 °С. После нагревания газа, при постоянном давлении, его плотность стала равна $6 \cdot 10^{-4}$ г/см³. До какой температуры нагрели газ?

206. Во сколько раз плотность воздуха, заполняющего помещение зимой (7 °С), больше его плотности летом (30 °С)? Давление одинаково.

207. Газ нагревается от 27 °С до 127 °С. На сколько изменится при этом средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул газа?

208. Найти отношение средних квадратичных скоростей молекул гелия и азота при одинаковых температурах.

209. Какой объем занимают 10 г кислорода при давлении 750 мм рт.ст. и температуре 20 °С?

210. Чему равна энергия вращательного движения молекул, содержащихся в 1 кг азота при температуре 7 °С?

211. Какое количество теплоты надо сообщить 12 г кислорода, чтобы нагреть его на 50 °С при постоянном давлении?

212. 7 г углекислого газа было нагрето на 10 °С в условиях свободного расширения. Найти работу расширения газа и изменение его внутренней энергии.

213. При адиабатическом сжатии 1 кмоль двухатомного газа была совершена работа 146 кДж. На сколько увеличилась температура газа при сжатии?

214. Открытая стеклянная колба вместимостью 250 см³ нагрета до 127 °С. После этого ее горлышко опущено в воду, температура которой 7 °С. Давление постоянное. Какой объем займет воздух в колбе после охлаждения? Сколько воды войдет в колбу?

215. 2 кмоль углекислого газа нагревают при постоянном давлении на 50 °С. Найти изменение его внутренней энергии и количество теплоты, сообщенное газу.

216. При адиабатном сжатии давление воздуха было увеличено от $p_1 = 50$ кПа до $p_2 = 0,5$ МПа. Затем при неизменном объеме температура воздуха была понижена до первоначальной. Определить давление p_3 газа в конце процесса.

217. Газ, занимающий объем 22 дм³ под давлением 105 Н/м², был изобарически нагрет от 20 °С до 100 °С. Определить работу расширения газа.

218. Объем водорода при изотермическом расширении при температуре $T = 300$ К увеличился в $n = 3$ раза. Определить работу A , совершенную газом, и теплоту Q , полученную при этом. Масса m водорода равна 200 г.
219. Определить работу A , которую совершит азот, если ему при постоянном давлении сообщить количество теплоты $Q = 21$ кДж. Найти также изменение ΔU внутренней энергии газа.
220. Определить количество теплоты Q , которое надо сообщить кислороду объемом $V = 50$ л при его изохорном нагревании, чтобы давление газа повысилось на $\Delta p = 0,5$ МПа.
221. Бутылка, наполненная газом, плотно закрыта пробкой площадью сечения 2 см². Сила трения, удерживающая пробку, равна 8 Н. Давление газа в бутылке и наружное давление равны 100 кПа, начальная температура 270 К. Какое дополнительное давление надо создать, чтобы преодолеть силу трения? Какое давление надо создать изнутри, чтобы пробка вылетела из бутылки? До какой температуры надо для этого нагреть газ?
222. Некоторая масса сухого воздуха поднимается в атмосфере в широком потоке такого же воздуха; теплообмен этой массы с внешними телами отсутствует. Каково изменение температуры воздуха при подъеме на высоту 500 м?
223. Идеальная тепловая машина работает по циклу Карно. Определить КПД цикла, если известно, что за один цикл была произведена работа 2,94 кДж, и холодильнику было передано 13,4 кДж.
224. Определить изменение энтропии при нагревании 30 см³ железа от 20 до 100 °С.
225. Газ, совершающий цикл Карно, получает теплоту $Q_1 = 84$ кДж. Определить работу A газа, если температура T_1 теплоотдатчика в три раза выше температуры T_2 теплоприемника.
226. 2 кг воды нагреваются от 10 до 100 °С и при этой температуре обращаются в пар. Определите изменение энтропии.
227. Во сколько раз увеличится коэффициент полезного действия η цикла Карно при повышении температуры теплоотдатчика от $T_1 = 380$ К до $T_1' = 560$ К? Температура теплоприемника $T_2 = 280$ К.
228. Воздушный пузырек диаметром 2,2 мкм находится в воде у самой ее поверхности. Определить плотность воздуха в пузырьке, если воздух над поверхностью воды находится при нормальных условиях.
229. Какая энергия выделится при слиянии двух капель ртути диаметром 0,8 мм и 7,2 мм в одну?
230. Определить давление p внутри воздушного пузырька диаметром $d = 4$ мм, находящегося в воде на глубине 2 м. Считать атмосферное давление нормальным.

231. В вертикально направленном однородном электрическом поле находится пылинка массой 10^{-9} г и зарядом $3,2 \cdot 10^{-17}$ Кл. Найти напряженность электрического поля, если сила тяжести пылинки уравновешена силой электрического поля.

232. Постоянные потенциалы двух проводников относительно земли соответственно равны 24 В и -8 В. Какую работу нужно совершить, чтобы перенести заряд $8 \cdot 10^{-7}$ Кл со второго проводника на первый?

233. С какой скоростью достигают анода электронной лампы электроны, испускаемые катодом, если напряжение между анодом и катодом равно 200 В? Начальной скоростью электронов пренебречь.

234. Определить напряженность поля в точке, лежащей посередине между зарядами $q_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл и $q_2 = -4 \cdot 10^{-7}$ Кл, находящихся в скипидаре на расстоянии 10 см друг от друга. Диэлектрическая проницаемость скипидара 2,2.

235. Площадь пластины слюдяного конденсатора 36 см^2 , толщина слоя диэлектрика 0,14 см. Вычислить емкость, заряд и энергию конденсатора, если разность потенциалов на его обкладках 300 В, $\epsilon_{\text{слюды}} = 2,1$.

236. На сколько изменится потенциал земного шара, если сообщить ему заряд 7 Кл? Радиус земного шара 6400 км.

237. Три одинаковых точечных заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = 2 \text{ нКл}$ находятся в вершинах равностороннего треугольника со сторонами $a = 10$ см. Определить модуль и направление силы F , действующей на один из зарядов со стороны двух других.

238. Два одинаково заряженных шарика подвешены в одной точке на нитях одинаковой длины. При этом нити разошлись на угол α . Шарика погружают в масло. Какова плотность ρ масла, если угол расхождения нитей при погружении в масло остается неизменным? Плотность материала шариков $\rho = 7,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, диэлектрическая проницаемость масла $\epsilon = 2,2$.

239. Четыре одинаковых заряда $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 40 \text{ нКл}$ закреплены в вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см. Найти силу, действующую на один из этих зарядов со стороны трех остальных.

240. Два положительных заряда Q и $9Q$ закреплены на расстоянии 100 см друг от друга. Определить, в какой точке на прямой, проходящей через заряды, следует поместить третий заряд так, чтобы он находился в равновесии. Указать, какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы он находился в равновесии. Указать, какой знак должен иметь этот заряд для того, чтобы равновесие было устойчивым, если перемещения зарядов возможны только вдоль прямой, проходящей через закрепленные заряды.

241. Четыре лампы, рассчитанные на напряжение 3 В и силу тока 0,3 А, надо подключить параллельно и питать от источника напряжения 5,4 В. Резистор какого сопротивления надо включить последовательно лампам?

242. К источнику тока, внутреннее сопротивление которого 2 Ом, параллельно подключены две лампочки сопротивлением по 8 Ом каждая. Амперметр в неразветвленной части цепи показывает 2 А. Что покажет амперметр, если одна из ламп перегорит?

243. Какой длины нужно взять кусок стальной проволоки сечением $0,2 \text{ мм}^2$, чтобы присоединив его к полюсам элемента с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением 7,2 Ом, получить в цепи ток 250 мА? Удельное сопротивление стали $0,12 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

244. Генератор с ЭДС 150 В и внутренним сопротивлением 0,4 Ом питает 200 ламп сопротивлением по 320 Ом каждая, включенных параллельно. Каково напряжение на зажимах генератора? Сопротивлением проводящих проводов пренебречь.

245. Амперметр имеет сопротивление 0,02 Ом. Его шкала рассчитана на 1,2 А. Шунт какого сопротивления надо поставить к амперметру, чтобы можно было измерять токи силой до 6 А?

246. ЭДС батареи 6 В, ее внутреннее сопротивление 0,5 Ом, сопротивление внешней цепи 11,5 Ом. Найти силу тока в цепи, напряжение на зажимах батареи и падение напряжения внутри батареи.

247. К полюсам источника тока присоединили поочередно резисторы сопротивлением 4,5 и 10 Ом. При этом сила тока в цепи оказалась равной 0,2 и 0,7 А соответственно. Найти ЭДС источника и его внутреннее сопротивление.

248. Медная и железная проволоки одинаковой длины включены параллельно в цепь, причем железная проволока имеет вдвое больший диаметр. По медной проволоке протекает ток 60 мА. Какова сила тока в железной проволоке?

249. К источнику тока с электродвижущей силой 7,5 В и внутренним сопротивлением 0,5 Ом подключили внешнее сопротивление 7 Ом. Определить падение напряжения на внешнем сопротивлении.

250. К полюсам источника с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением 0,8 Ом присоединили кусок никелиновой проволоки длиной 2,7 м и сечением $0,21 \text{ мм}^2$. Каково напряжение на зажимах источника?

251. Сколько времени потребуется лифту, чтобы подняться на высоту 50 м, если масса его кабины 1,2 т, сила тока в двигателе 8 А, а напряжение на нем 380 В? Считайте КПД превращения электроэнергии в полезную работу равным 80 %.

252. Чему равна сила тока в двигателе насоса, если при КПД 85 % насос ежеминутно подает 200 л воды на высоту 40 м? Напряжение питания двигателя 220 В.

253. Верно ли, что кипятильник с сопротивлением 97 Ом должен работать 15 минут, чтобы выделить 900 кДж теплоты?

254. В спирали электроплитки мощностью 500 Вт выделилось 690 кДж теплоты. Сколько времени была включена плитка?

255. За 2 часа работы электрокамина через его спирали прошел заряд 33 кКл. Какое количество теплоты камин передал комнате, если сопротивление его спирали составляет 50 Ом?

256. Сопротивление спирали электроплитки составляет 70 Ом. За полтора часа ее работы по ней прошел заряд 17 кКл. Какое количество теплоты плитка передала окружающим телам?

257. В электрочайнике (11 кВт, КПД 75 %) закипела вода. Какая масса воды выкипит, если еще 2,5 минуты не выключать чайник?

258. Определите мощность электрического чайника, если в нем за 20 мин 1,4 кг воды нагревается от 20 °С до 100 °С при КПД 60 %.

259. Определить КПД нагревателя, который, обладая мощностью 3,4 кВт, нагревает 2 кг воды от 10 °С до кипения за 5 мин.

260. Сколько времени потребуется для нагревания 2 кг воды от 20 до 100 °С в электрическом чайнике мощностью 600 Вт, если его КПД 80 %?

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 3

Таблица вариантов к контрольной работе № 3

Алфавит	Номера задач по первой букве					
	фамилии		имени		отчества	
А, К, Ф	310	311	330	331	350	351
Б, Л, Х	309	312	329	332	349	352
В, М, Ц	308	313	328	333	348	353
Г, Н, Ч	307	314	327	334	347	354
Д, О, Ш	306	315	326	335	346	355
Е, П, Щ	305	316	325	336	345	356
Е, Р	304	317	324	337	344	357
Ж, С, Э	303	318	323	338	343	358
З, Т, Ю	302	319	322	339	342	359
И, У, Я	301	320	321	340	341	360

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Примеры решения задач

Задача 1. Бесконечно длинный тонкий проводник с током $I = 50$ А имеет изгиб (плоскую петлю) радиусом $R = 10$ см. Определить в точке O магнитную индукцию B поля, создаваемого этим током.

Решение

$I = 50 \text{ А}$
$R = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$
$B = ?$

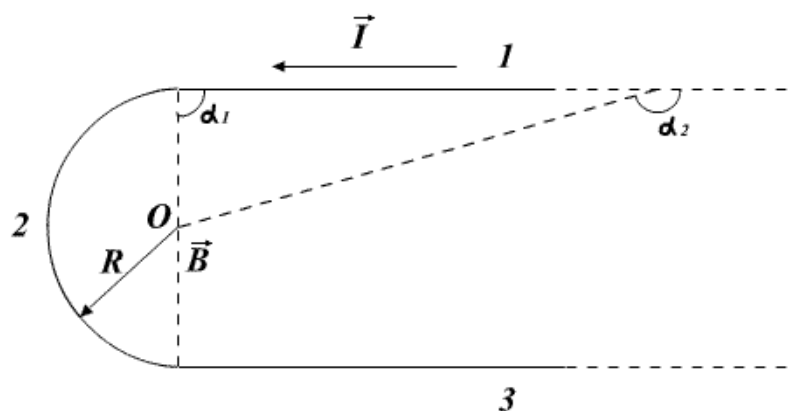


Рис. 1

Магнитная индукция в точке O согласно принципа суперпозиции равна $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3$, где $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$ – магнитные индукции поля в точке O , создаваемые током, текущим соответственно на первом, втором и третьем участках проводника.

Векторы $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$ в соответствии с правилом буравчика направлены перпендикулярно плоскости чертежа в одну сторону (к нам), то есть геометрическое суммирование можно заменить алгебраическим $B = B_1 + B_2 + B_3$.

$$B_1 = B_3 = \frac{\mu_o I}{4\pi R} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2);$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{2}, \quad \alpha_1 \rightarrow \pi, \quad \cos\alpha_1 = 0, \quad \cos\alpha_2 = -1.$$

$$\text{Отсюда } B_1 = B_3 = \frac{\mu_o I}{4\pi R}.$$

Магнитная индукция B_2 в точке O создается половиной кругового проводника с током, поэтому $B_2 = \frac{\mu_o I}{4R}$. Таким образом,

$$B = \frac{\mu_o I}{4\pi R} + \frac{\mu_o I}{4\pi R} + \frac{\mu_o I}{4R} = \frac{\mu_o I}{4R} (2 + \pi) = 8,07 \cdot 10^{-4} \text{ Тл.}$$

Ответ: магнитная индукция равна $B = 8,05 \cdot 10^{-4} \text{ Тл.}$

Задача 2. По двум бесконечно длинным прямым параллельным проводам текут токи $I_1 = 20 \text{ А}$ и $I_2 = 30 \text{ А}$ в одном направлении. Расстояние d между проводами равно 10 см. Вычислить напряженность магнитного поля H в точке, удаленной от обоих проводов на одинаковое расстояние $r = 10 \text{ см}$.

Решение

$I_1 = 20 \text{ A}$
$I_2 = 30 \text{ A}$
$d = 10 \text{ см}$
$r = 10 \text{ см}$
$H = ?$

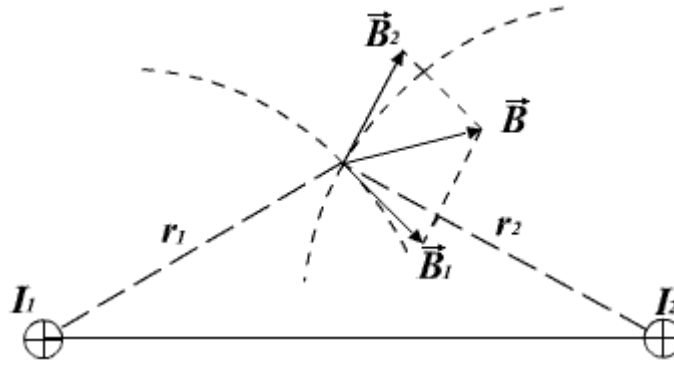


Рис. 1

Напряженность магнитного поля в точке A согласно принципа суперпозиции равна $\vec{H} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2$. $H_1 = \frac{I_1}{2\pi r}$, $H_2 = \frac{I_2}{2\pi r}$. Результирующая напряженность по модулю и направлению является диагональю параллелограмма, построенного на векторах \vec{H}_1 и \vec{H}_2

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 + 2H_1 H_2 \cos\alpha}, \text{ где } \alpha = 60^\circ.$$

Отсюда $H = \sqrt{\left(\frac{I_1}{2\pi r}\right)^2 + \left(\frac{I_2}{2\pi r}\right)^2 + 2\left(\frac{I_1 I_2}{4\pi^2 r^2}\right) \cos\alpha} = 69,2 \frac{\text{A}}{\text{м}}$.

Ответ: напряженность магнитного поля равна $H = 69,2 \text{ A/м}$.

Задача 3. Провод в виде тонкого полукольца радиусом $R = 10 \text{ см}$ находится в однородном магнитном поле ($B = 50 \text{ мТл}$). По проводу течет ток $I = 10 \text{ A}$. Найти силу \vec{F} , действующую на провод, если плоскость полукольца перпендикулярна линиям магнитной индукции, а проводящие провода находятся вне поля.

Решение

$R = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$
$B = 50 \text{ мТл} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$
$I = 10 \text{ A}$
$F = ?$

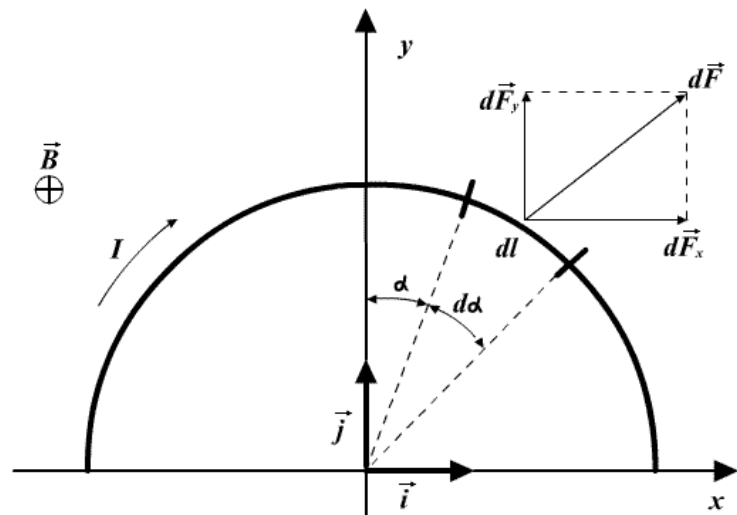


Рис. 1

Выделим на проводе малый элемент $d\ell$ с током I . На этот элемент тока действует сила Ампера. Направление этой силы определяется по правилу векторного произведения или по правилу левой руки.

Ввиду симметрии провода координатные оси удобно выбрать, как показано на рисунке.

$$d\vec{F} = \vec{i} dF_x + \vec{j} dF_y.$$

Сила $d\vec{F}$, действующая на весь провод, равна $\vec{F} = \int_{\alpha} d\vec{F} = \vec{i} \int_{\alpha} dF_x + \vec{j} \int_{\alpha} dF_y$. Из соображений симметрии $\int_{\alpha} dF_x = 0$. Тогда $\vec{F} = \vec{j} \int_{\alpha} dF_y$, $dF_y = dF \cos \alpha$. Так как вектор перпендикулярен вектору \vec{B} , то $dF = J \cdot B \cdot d\ell$.

Из рисунка видно, что $d\ell = R d\alpha$.

Проинтегрировав последнее выражение в пределах от $-\pi/2$ до $\pi/2$, имеем:

$$\vec{F} = \vec{j} I R B \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \alpha d\alpha = 2 \vec{j} I B R.$$

Сила \vec{F} сонаправлена с единичным вектором \vec{j} .

$$F = 2 I B R = 1 \text{ Н}.$$

Ответ: сила, действующая на провод равна $F = 1 \text{ Н}$.

Задача 4. Электрон в атоме водорода движется вокруг ядра по круговой орбите некоторого радиуса. Найти отношение магнитного момента P_m эквивалентного кругового тока к моменту импульса L орбитального движения электрона. Заряд электрона и его массу считать известными.

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$P_m / L - ?$$

Решение

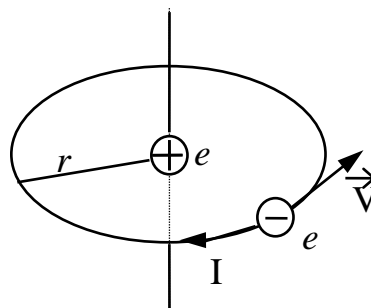


Рис. 1

Эквивалентный круговой ток обусловлен движением электрона по круговой орбите с периодом T .

$$I = \frac{e}{T}, \quad T = \frac{2\pi r}{V},$$

где V – скорость движения электрона по круговой орбите.

Магнитный момент кругового тока равен:

$$P_m = I \cdot S = e \frac{V}{2\pi r} \pi r^2 = \frac{e\pi r V}{2}.$$

Момент импульса электрона определяется по формуле $L = mVr$.

Отсюда $\frac{P_m}{L} = \frac{eVr}{2mVr} = \frac{e}{2m} = 87,9 \cdot 10^9 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}.$

Ответ: $\frac{P_m}{L} = 87,9 \cdot 10^9 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}.$

Задача 5. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 9$ мТл по винтовой линии, радиус которой равен 1 см и шаг $h = 7,8$ см. Определить период T обращения электрона и его скорость V .

Решение

$B = 9$ мТл
 $R = 1$ см = 0,1 м
 $h = 7,8$ см = $7,8 \cdot 10^{-2}$ м
 $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

$T - ?$
 $V - ?$

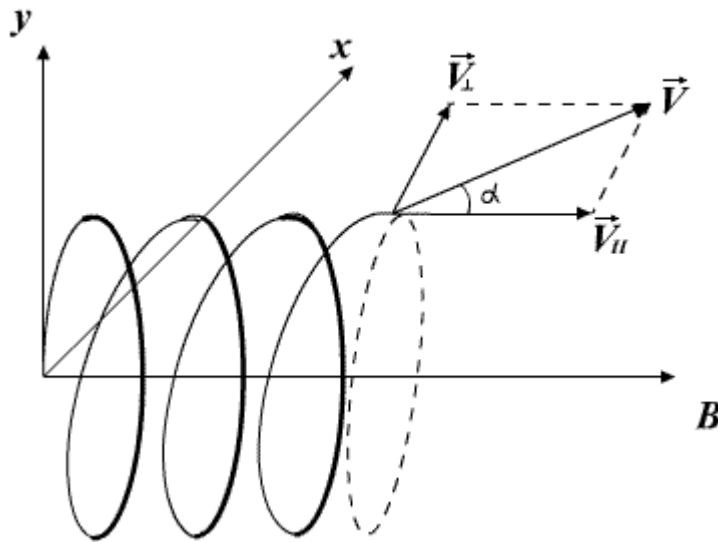


Рис. 1

Электрон в магнитном поле движется по винтовой линии под действием силы Лоренца. Вектор скорости V составляет угол α с направлением вектора магнитной индукции \vec{B} . Электрон движется по окружности радиуса R в плоскости, перпендикулярной линиям индукции со скоростью $V_y = V \cdot \sin \alpha$; одновременно он движется и вдоль поля со скоростью $v_x = v_o \cos \alpha$.

Уравнение движения электрона по окружности имеет вид $m \frac{V_y^2}{R} = |e| V_y B$. Отсюда

$$V_y = \frac{R|e|B}{m}, \quad V = \frac{R|e|B}{m \sin \alpha}.$$

Шаг винтовой линии h равен пути, пройденному электроном вдоль поля за время, равное периоду обращения электрона T по окружности $h = V_x \cdot T = V \cdot \cos \alpha \cdot T$, где

$$T = \frac{2\pi R}{V_y} = \frac{2\pi r}{V \sin \alpha}. \quad \text{Таким образом, } h = V \cos \alpha \frac{2\pi R}{V \sin \alpha} = 2\pi R \operatorname{ctg} \alpha, \quad \text{и угол } \alpha \text{ равен}$$

$$\alpha = \operatorname{arccctg} \frac{h}{2\pi R} \approx 39^\circ 15'.$$

Подставив значение $\sin \alpha$ в формулу для скорости V , получаем $V = 2,5 \cdot 10^7$ м/с.

Период обращения электрона $T = 3,97 \cdot 10^{-9}$ с.

Ответ: скорость равна $V = 2,5 \cdot 10^7$ м/с, период $T = 3,97 \cdot 10^{-9}$ с.

Задача 6. Линии напряженности однородного электрического поля и линии индукции однородного магнитного поля взаимно перпендикулярны. Напряженность электрического поля 1 кВ/м, а индукция магнитного поля 1 мТл. Какими должны быть направление и модуль скорости электрона, чтобы его движение было прямолинейным?

Решение

$E = 1 \text{ кВ/м} = 10^3 \text{ В/м}$
$B = 1 \text{ мТл} = 10^{-3} \text{ Тл}$
$V = ?$

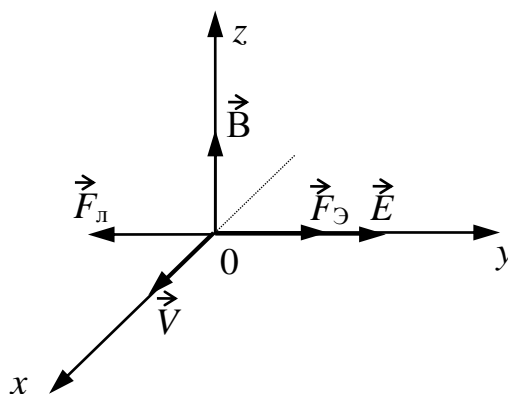


Рис. 1

На электрон действуют две силы:

1) сила Лоренца $\vec{F}_L = e[\vec{V}\vec{B}]$, направленная перпендикулярно скорости \vec{V} и вектору магнитной индукции \vec{B} ;

2) кулоновская сила $\vec{F}_Э = e\vec{E}$, совпадающая по направлению с вектором напряженности электрического поля.

По первому закону Ньютона не будет испытывать отклонения при своем движении, если $\vec{F}_L + \vec{F}_Э = 0$ или $eE - eVB = 0$. Отсюда $V = \frac{E}{B} = 10^6$ м/с.

Ответ: скорость электрона $V = 10^6$ м/с.

Задача 7. Сколько витков имеет катушка, индуктивность которой $L = 1$ мГн, если при токе $I = 1$ А магнитный поток сквозь катушку $\Phi = 2$ мкВб?

Решение

$$L = 1 \text{ мГн}$$

$$\Phi = 2 \text{ мкВб}$$

$$N = ?$$

Магнитный поток сквозь катушку равен $\Phi = \frac{LJ}{N}$.

Отсюда число витков $N = \frac{LJ}{\Phi} = 500$.

Ответ: число витков $N = 500$.

Задача 8. Железное кольцо диаметром $D = 11,4$ см имеет обмотку из $N = 200$ витков, по которой течет ток $I_1 = 15$ А. Какой ток I_2 должен проходить через обмотку, чтобы индукция в сердечнике осталась прежней, если в кольце сделать зазор шириной $b = 1$ мм? Найти магнитную проницаемость μ материала сердечника при этих условиях.

Решение

$$D = 11,4 \text{ см}$$

$$N = 200$$

$$I_1 = 15 \text{ А}$$

$$b = 1 \text{ мм}$$

$$B = \text{const}$$

$$I_2 = ?$$

Напряженность магнитного поля по средней линии кольца без воздушного зазора равна:

$$H_1 = \frac{I_1 N}{\ell} = \frac{I_1 N}{\pi D} = 8200 \text{ А/м},$$

где $\ell = \pi D$ – длина средней линии кольца.

Пользуясь графиком зависимости индукции B от напряженности H магнитного поля для железа, который находится в конце любого задачника по физике, определим индукцию магнитного поля в кольце. $B = 1,8$ Тл.

Пренебрегая рассеянием магнитного потока, можно принять, что индукция поля в воздушном зазоре равна индукции в железе.

По закону полного тока $H_1 \ell + H_0 b = I_2 N$, где $H_0 = \frac{B}{\mu_0}$ – напряженность поля в зазоре.

Отсюда ток $I_2 = \frac{H \ell + H_0 b}{N} = 21,8 \text{ А}$.

Пользуясь выражением для магнитного поля сквозь тороид, сердечник которой составлен из двух частей, запишем формулу для магнитной индукции в виде:

$$B = \frac{I_2 N}{\frac{\ell}{\mu_0 \mu} + \frac{b}{\mu_0}}.$$

Отсюда магнитная проницаемость железа равна $\mu = \frac{B \ell}{I_2 N \mu_0 - B b} \approx 180$.

Ответ: ток равен $I_2 = 21,8$ А, магнитная проницаемость $\mu \approx 180$.

Задача 9. Проводник с активной длиной 15 см движется со скоростью 10 м/с перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля с индукцией 2 Тл. Какая сила тока возникает в проводнике, если его замкнуть накоротко? Сопротивление цепи 0,5 Ом.

Решение

$l = 15 \text{ см}$
$V = 10 \text{ м/с}$
$B = 2 \text{ Тл}$
$R = 0,5 \text{ Ом.}$
$I - ?$

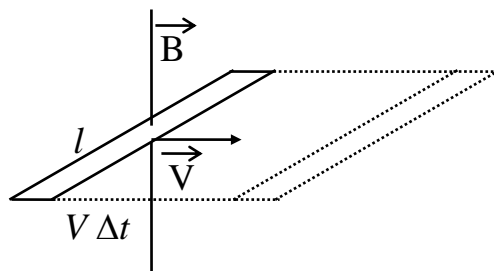


Рис. 1

При движении проводника в магнитном поле в нем индуцируется ЭДС индукции, равная $\varepsilon_{in} = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$, где $\Delta\Phi = B \cdot \Delta S$, ΔS – площадь, которую описывает проводник при своем движении; $\Delta S = \ell V \Delta t$. Отсюда $\varepsilon_{in} = \frac{B \ell V \Delta t}{\Delta t} = B \ell V$. Сила тока, возникающая в проводнике $I = \frac{\varepsilon_{in}}{R} = \frac{B \ell V}{R} = 6 \text{ А.}$

Ответ: сила тока равна $I = 6 \text{ А.}$

Задача 10. В однородном магнитном поле с индукцией 0,35 Тл равномерно с частотой 480 мин⁻¹ вращается рамка, содержащая 500 витков площадью 50 см². Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям индукции. Определить максимальную ЭДС индукции, возникшую в рамке.

Решение

$B = 0,35 \text{ Тл}$
$\nu = 480 \text{ мин}^{-1}$
$N = 500 \text{ витков}$
$S = 50 \text{ см}^2 =$ $= 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$
$\varepsilon_{in} - ?$

ЭДС индукции, возникающая в рамке, равна:

$$\varepsilon_{in} = - \frac{d\Phi}{dt},$$

где $\Phi = N B S \cos \omega t$ – магнитный поток, сцепленный с рамкой.

$\omega = 2 \pi \nu$ – циклическая частота.

$$\varepsilon_{in} = N B S \omega \sin \omega t = N B S 2 \pi \nu \sin \omega t.$$

$$\varepsilon_{\max} = N B S 2 \pi \nu = 44 B.$$

Ответ: $\varepsilon_{\max} = 44 \text{ В.}$

Задача 11. Рамка, имеющая форму квадрата, помещена в однородное магнитное поле индукции 0,1 Тл. Перпендикуляр к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол 60° . Определить длину стороны рамки, если известно, что среднее значение ЭДС индукции, возникающей в рамке при выключении тока в течение 0,03 с, равно 10 мВ.

Решение

$B_1 = 0,1 \text{ Тл}$
$B_2 = 0$
$\varepsilon_{in} = 10 \text{ мВ}$
$\Delta t = 0,032 \text{ с}$
$\alpha - ?$

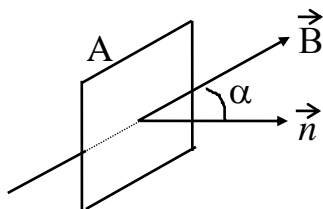


Рис. 1

ЭДС индукции, возникающая в рамке, равна:

$$\varepsilon_{in} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S,$$

где $\Delta\Phi = \Delta B \cdot S \cos \alpha$ – изменение магнитного потока за время Δt .

$$\Delta B = B_2 - B_1 = -B_1, \quad S = a^2.$$

$$\varepsilon_{in} = \frac{B_1 a^2 \cos \alpha}{\Delta t}. \text{ Отсюда } a = \sqrt{\frac{\varepsilon_{in} \Delta t \cos \alpha}{B_1}} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Ответ: $a = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$

Задача 12. Уравнение изменения со временем разности потенциалов на обкладках конденсатора в колебательном контуре имеет вид $U = 50 \cos 10^4 \pi t$. Емкость конденсатора $C = 0,1 \text{ мкФ}$. Найти период T колебаний, индуктивность контура L , закон изменения со временем тока I в цепи и длину волны λ , соответствующую этому контуру.

Решение

$U = 50 \cos 10^4 \pi t$
$C = 0,1 \text{ мкФ}$
$T - ?$
$L - ?$
$\lambda - ?$
$I = I(t) - ?$

Из уравнения $U = 50 \cos 10^4 \pi t$ следует, что $U_0 = 50$; $\omega = 10^4 \text{ рад/с}$.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \text{ Отсюда } L = \frac{1}{C\omega^2} = 0,01 \text{ Гн.}$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}, \quad \lambda = VT = V 2\pi\sqrt{LC},$$

где $V = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – скорость электромагнитных волн.

$$\lambda = 6 \cdot 10^4 \text{ м.}$$

Закон изменения тока I от времени имеет вид $I = I_0 \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$,

где $I_0 = q_0 \omega = U_0 C \omega$. Отсюда закон изменения тока в рассматриваемом контуре имеет вид:

$$I = -U_0 C \cdot \omega \sin \omega t = -157 \cdot 10^{-3} \sin 10^4 \pi t \text{ А.}$$

Ответ: $L = 0,01$ Гн; $T = 2 \cdot 10^{-4}$ с; $\lambda = 6 \cdot 10^4$ м; $I = -157 \cdot 10^{-3} \sin 10^4 \pi t$ А.

Задача 13. Колебательный контур состоит из катушки с индуктивностью $L = 1,2$ мГн и конденсатора переменной емкости от $C_1 = 12 \cdot 10^{-12}$ Ф до $C_2 = 80 \cdot 10^{-12}$ Ф. Определить диапазон длин электромагнитных волн, которые могут вызвать резонанс в этом контуре. Активное сопротивление контура принять равным нулю.

Решение

$$\begin{aligned} L &= 1,2 \text{ мГн} \\ C_1 &= 12 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \\ C_2 &= 80 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} \\ V &= 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} \end{aligned}$$

Длина λ электромагнитной волны, которая может вызвать резонанс в контуре, равна $\lambda = V \cdot T$, где V – скорость электромагнитной волны, $T = 2\pi\sqrt{LC}$ – период колебаний.

$$\lambda_1 - ?, \quad \lambda_2 - ?$$

Следовательно,

$$\lambda_1 = 2\pi V \sqrt{LC_1} = 226 \text{ м}, \quad \lambda_2 = 2\pi V \sqrt{LC_2} = 585 \text{ м}.$$

Ответ: $\lambda_1 = 226$ м, $\lambda_2 = 585$ м.

Задача 14. В колебательном контуре с индуктивностью $0,4$ Гн и емкостью 20 мкФ максимальное значение силы тока равно $0,1$ мА. Каким будет напряжение на конденсаторе в момент, когда энергия электрического и магнитного полей будут равны? Колебания считать незатухающими.

Решение

$$\begin{aligned} L &= 0,4 \text{ Гн} \\ C &= 10 \text{ мкФ} = 10^{-5} \text{ Ф} \\ I_{\max} &= 0,1 \text{ мА} = 10^{-4} \text{ А} \\ W_{\text{Э}} &= W_{\text{М}} \end{aligned}$$

Энергия колебательного контура в любой момент времени равна сумме энергий электрического и магнитного полей.

$$W_{\text{Э}} + W_{\text{М}} = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \text{const}. \quad \frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2}.$$

$$U - ?$$

Согласно закона сохранения энергии:

$$W_{\text{Э}} + W_{\text{М}} = \frac{LI_{\max}^2}{2}. \quad W_{\text{Э}} = W_{\text{М}}. \quad \frac{1}{2} \frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{CU^2}{2}. \quad \text{Отсюда } U = I_{\max} \sqrt{\frac{L}{2C}} = 0,02 \text{ В}.$$

Ответ: $U = 0,02$ В.

Задачи к контрольной работе № 3

301. На проводник длиной 50 см с током 2 А однородное магнитное поле с магнитной индукцией 0,7 Тл действует с силой 0,05 Н. Определить угол между направлением тока и вектором магнитной индукции.

302. На провод обмотки электродвигателя при силе тока 20 А действует сила 1 Н. Определите магнитную индукцию в месте расположения провода, если его длина 20 см.

303. По горизонтально расположенному проводнику длиной 20 см и массой 4 г течет ток 10 А. Найдите индукцию (модуль и направление) магнитного поля, в которое нужно поместить проводник, чтобы сила тяжести уравновесилась силой Ампера.

304. На провод обмотки якоря электродвигателя при силе тока 20 А действует сила 7 Н. Определите магнитную индукцию поля в месте расположения провода, если длина провода 0,2 м.

305. С какой силой действует магнитное поле с индукцией 10 мТл на проводник, в котором сила тока 50 А, если длина активной части проводника 0,1 м? Поле и ток взаимно перпендикулярны.

306. Однородное магнитное поле с индукцией 200 мТл действует на помещенный в него проводник длиной 50 см с силой 0,7 мН. Определите силу тока в проводнике, если угол между направлением тока и индукцией магнитного поля равен 45° .

307. На прямолинейный проводник, расположенный в однородном магнитном поле с индукцией 0,05 Тл под углом 30° к полю, действует сила 0,5 Н при пропускании по нему тока 20 А. Какова длина проводника?

308. Проводник длиной 0,15 м с током 8 А перпендикулярен вектору магнитной индукции однородного поля, модуль которого 0,4 Тл. Определить работу поля по перемещению проводника на 2,5 мм.

309. С какой средней силой действовало магнитное поле с индукцией 0,2 Тл на проводник длиной 0,3 м, если в проводнике ток равномерно возрастал от нуля до 10 А?

310. По круговому витку радиусом 10 см циркулирует ток 4 А. Определить напряженность и индукцию магнитного поля в центре витка.

311. Квадратная рамка помещена в однородное магнитное поле. Нормаль к плоскости рамки составляет с направлением магнитного поля угол 60° . Сторона рамки 19 см. Определите индукцию магнитного поля, если известно, что среднее значение ЭДС индукции, возникающей в рамке при выключении поля в течение 0,01 с, равно 50 мВ.

312. Проволочный виток диаметром 5 см и сопротивлением 0,02 Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,3 Тл. Плоскость витка составляет угол 40° с линиями индукции. Какой заряд протечет по витку при равномерном уменьшении магнитного поля до нуля?

313. Кольцо из проволоки сопротивлением 10^{-3} Ом находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,4 Тл. Определить заряд, который потечет по кольцу, если

его выдернуть из поля. Площадь кольца 10 см^2 , а плоскость составляет угол 90° с линиями магнитной индукции.

314. Проволочный виток радиусом 4 см находится в однородном магнитном поле с индукцией $0,2 \text{ Тл}$. Плоскость витка составляет с линиями индукции угол 30° . Определить поток магнитной индукции, пронизывающий виток.

315. При равномерном изменении магнитного потока, пронизывающего контур проводника на $6,6 \text{ Вб}$, ЭДС индукции в контуре была равна $7,2 \text{ В}$. Найти время изменения магнитного потока.

316. С какой скоростью надо перемещать проводник, длина активной части которого 1 м под углом 60° к линиям индукции магнитного поля, чтобы в проводнике возбуждалась ЭДС индукции в 7 В ? Индукция магнитного поля $0,2 \text{ Тл}$.

317. Самолет, имеющий размах крыльев $31,7 \text{ м}$, летит горизонтально со скоростью 400 км/ч . Определить разность потенциалов на концах крыльев, если вертикальная составляющая индукции магнитного поля Земли $5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$.

318. Магнитный поток, пронизывающий замкнутый проволочный контур с сопротивлением $0,5 \text{ Ом}$, равномерно увеличился с $0,2 \text{ мВб}$ до 7 мВб . Какой заряд прошел за это время через поперечное сечение проводника при равномерном изменении потока. Сила тока, ЭДС – постоянны.

319. Горизонтальный стержень длиной 1 м вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через один из его концов. Ось вращения параллельна магнитному полю с индукцией 50 мкТл . При какой частоте вращения стержня разность потенциалов на его концах $U = 7 \text{ мВ}$?

320. Автомобиль движется со скоростью 120 км/ч . Определить разность потенциалов на концах передней оси машины, если длина оси 180 см , а вертикальная составляющая вектора индукции магнитного поля земли равна $5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$.

321. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $5 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$ со скоростью 10^7 м/с , направленной перпендикулярно линиям индукции. Найти силу, действующую на электрон в магнитном поле, и радиус окружности, по которой он движется.

322. Найдите кинетическую энергию протона, движущегося в магнитном поле по окружности радиусом 50 см . Индукция поля 100 мТл .

323. В направлении, перпендикулярном линиям магнитной индукции, влетает в магнитное поле электрон со скоростью 10^7 м/с . Найти индукцию поля, если электрон описал в поле окружность радиусом 1 см .

324. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 6 \text{ кВ}$, влетает в однородное магнитное поле под углом в 30° . Найти радиус винтовой линии, если $B = 1,3 \text{ Тл}$.

325. Электрон, ускоренный разностью потенциалов $U = 10 \text{ кВ}$, влетает в однородное магнитное поле под углом в 60° . Найти шаг винтовой линии, если $B = 1,3 \text{ Тл}$.

326. Магнитное поле с $B = 5$ Тл, направлено перпендикулярно электрическому полю напряженностью $E = 10$ В/см. Пучок электронов летит с некоторой скоростью V , в пространство, где расположены эти поля, их скорость перпендикулярна плоскости, в которой лежат E и B . Найти скорость электронов, если при одновременном действии обоих полей пучок электронов не испытывает отклонения.

327. Циклотрон предназначен для ускорения протонов до энергии 5 МэВ. Определить наибольший радиус орбиты, по которой движется протон, если индукция магнитного поля циклотрона 1 Тл.

328. Сравнить отношение q/m для протона и электрона, если они, влетая со скоростью 10^6 м/с, в однородное магнитное поле напряженностью 3 А/м, движутся по окружности радиуса 9 см.

329. Магнитное поле с $B = 3$ Тл направлено перпендикулярно электрическому с напряженностью $E = 6$ В/см. Пучок электронов влетает с некоторой скоростью v , в пространство, где расположены эти поля. Скорость электронов перпендикулярна плоскости, в которой лежат E и B . Найти радиус кривизны траектории электронов, если включено только магнитное поле.

330. Найти отношение q/m для заряженной частицы, если она, влетая со скоростью 10^8 м/с в однородное магнитное поле напряженностью 2,5 А/м, движется по окружности радиуса 8,3 см.

331. Поток магнитной индукции сквозь соленоид равен $5 \cdot 10^{-6}$ Вб. Найти магнитный момент этого соленоида, если его длина 25 см.

332. Сколько ампер-витков потребуется для того, чтобы внутри соленоида малого диаметра и длиной 30 см объемная плотность энергии магнитного поля стала равна $7,75$ Дж/м³.

333. В обмотке трансформатора с индуктивностью 0,6 Гн сила тока равна 20 А. Определите энергию магнитного поля, запасенную обмоткой. Как изменится энергия магнитного поля, если сила тока в обмотке уменьшится в 2 раза?

334. Сколько витков имеет катушка индуктивностью 10^{-3} Гн, если при силе тока 1 А магнитный поток через поперечное сечение равен $2 \cdot 10^{-6}$ Вб? Чему равна энергия магнитного поля катушки?

335. Катушка с железным сердечником сечением 20 см² имеет индуктивность $2 \cdot 10^{-2}$ Гн. Какова должна быть сила тока, чтобы индукция поля в сердечнике была 10^{-3} Тл, число витков равно 1000?

336. Найти индуктивность проводника, в котором равномерное изменение силы тока на 2 А в течение 0,25 с возбуждает ЭДС самоиндукции 20 мВ.

337. Какой магнитный поток пронизывал каждый виток катушки, имеющей 1000 витков, если при равномерном исчезновении магнитного поля за время $t = 7$ мс в катушке индуцируется ЭДС 100 В?

338. По катушке с индуктивностью 8 мкГн течет ток силой 6 А. Определите среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре, если сила тока изменяется практически до нуля за время $t = 5$ мс.
339. Соленоид имеет индуктивность $2 \cdot 10^{-7}$ Гн. При какой силе тока энергия магнитного поля внутри соленоида равна 10^{-3} Дж?
340. В катушку с площадью поперечного сечения $S = 20$ см² и числом витков $N = 500$ вставлен сердечник. Индуктивность катушки с сердечником 0,28 Гн при $I = 5$ А. Найти магнитную проницаемость сердечника.
341. Эффективная сила тока равна 7 А. Какова средняя сила тока?
342. При каком эффективном значении напряжения по обмотке катушки, имеющей омическое сопротивление 35 Ом и индуктивность 0,1 Гн, пойдет ток 3 А? Частота тока 50 Гц.
343. Какой емкости надо взять конденсатор, чтобы его сопротивление было таким же, как у реостата сопротивлением 500 Ом, если частота тока равна 50 Гц?
344. В катушке с омическим сопротивлением 10 Ом при частоте 50 Гц получается сдвиг фазы между напряжением и током, равный 60° . Определите индуктивность катушки.
345. На картонный цилиндр длиной 50 см и диаметром 5 см навиты 500 витков медного провода диаметром 0,5 мм. При какой частоте полное сопротивление такой катушки в 2 раза больше ее омического сопротивления?
346. К сети переменного тока (120 В; 50 Гц) присоединены параллельно конденсатор (20 мкФ) и катушка (100 Ом; 0,5 Гн). Определите силы тока в конденсаторе, катушке и общую силу тока.
347. Измерительные приборы на щитке у генератора переменного тока показывают силу тока 540 А, напряжение 235 В и мощность 108 кВт. Каков сдвиг фазы?
348. Определите потери мощности в проводке от магистрали к потребителю при следующих данных: передаваемая мощность 100 кВт; напряжение на станции 220 В; сопротивление проводки 0,01 Ом, сдвиг фазы 37° .
349. Параллельно соединенные реостат (60 Ом) и катушка (20 Ом; 0,05 Гн) присоединены к сети переменного тока (50 Гц). По катушке идет ток 4 А. Какой ток идет по реостату и чему равен полный ток, идущий от источника?
350. Мгновенное значение ЭДС синусоидального тока для фазы 30° равно 120 В. Каково амплитудное и эффективное значение ЭДС?
351. В цепь включены конденсатор емкостью 2 мкФ и катушка индуктивностью 0,05 Гн. При какой частоте тока в этой цепи будет резонанс?
352. Напряжение на концах участка цепи изменяется по закону $u = U_0 \sin(\omega t + \pi/6)$ В. В момент времени $t = T/12$ с мгновенное значение напряжения 10 В. Определить амплитудное значение напряжения и циклическую частоту колебаний, если период колебаний 0,01 с.

353. Напряжение на обкладках конденсатора изменяется с течением времени по закону $u = 100\sin(10^4\pi t)$ В. Емкость конденсатора 10^{-8} Ф. Найти период колебаний и индуктивность контура.

354. Каков диапазон частот собственных колебаний контура, если его индуктивность 0,1 мГн, а емкость изменяется от 50 до 5000 пФ?

355. Какую индуктивность надо включить в колебательный контур, чтобы при емкости в 2 мкФ получить звуковую частоту 1000 Гц? Сопротивлением контура пренебречь.

356. Колебательный контур состоит из индуктивности в 10^{-2} Гн, емкости 0,405 мкФ и сопротивления 2 Ом. Во сколько раз уменьшится разность потенциалов на обкладках за один период?

357. Чему равно отношение энергии магнитного поля колебательного контура к энергии его электрического поля для момента времени $t = T/8$ с?

358. На какой диапазон волн можно настроить контур, если его индуктивность 2 мГн, а емкость меняется от 6 пФ до 4,8 пФ?

359. Батарея, состоящая из двух конденсаторов электроемкостью по 2 мкФ каждый, разряжается через катушку индуктивностью 1 мГн и сопротивлением 50 Ом. Возникнут ли при этом колебания, если конденсаторы соединены: а) параллельно; б) последовательно?

360. Максимальное напряжение в колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивностью 5 мкГн и конденсатора емкостью 0,013 мкФ, равно 1,2 В. Определить эффективную силу тока в контуре, максимальное значение магнитного потока, если число витков равно 28.

КОНРОЛЬНАЯ РАБОТА №4

Таблица вариантов к контрольной работе № 4

Алфавит	Номера задач по первой букве					
	фамилии		имени		отчества	
А, К, Ф	410	411	430	431	450	451
Б, Л, Х	409	412	429	432	449	452
В, М, Ц	408	413	428	433	448	453
Г, Н, Ч	407	414	427	434	447	454
Д, О, Ш	406	415	426	435	446	455
Е, П, Щ	405	416	425	436	445	456
Е, Р	404	417	424	437	444	457
Ж, С, Э	403	418	423	438	443	458
З, Т, Ю	402	419	422	439	442	459
И, У, Я	401	420	421	440	441	460

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА. ЭЛЕМЕНТЫ КВАНТОВОЙ ОПТИКИ И КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ. ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. На поверхности стекла находится пленка воды с показателем преломления $n = 1,3$. На нее падает свет с длиной волны $\lambda = 0,68$ мкм под углом падения $\alpha = 30^\circ$. Найти скорость, с которой уменьшается толщина пленки (из-за испарения), если интенсивность отраженного света меняется таким образом, что промежуток времени между последовательными максимумами отражения $\Delta t = 15$ мин.

Решение

$\lambda = 0,68$ мкм
 $\alpha = 30^\circ$
 $\Delta t = 15$ мин = 0,25 ч
 $n = 1,3$

 $v - ?$

Воспользуемся формулой оптической разности хода волн при отражении от пленки воды, находящейся в воздухе:

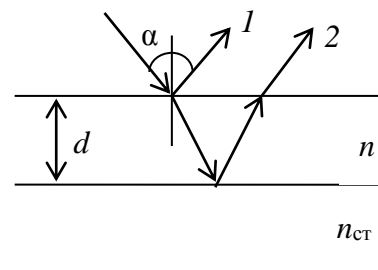


Рис. 1

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} \pm \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

где d – толщина пленки, м; n – показатель преломления пленки; α – угол падения; λ – длина волны, падающего на пленку, света, м.

В нашем случае пленка воды находится на стекле ($n_{\text{ст}} = 1,5$), поэтому потеря полуволны $\lambda/2$, учитывающая отражение света от оптически более плотной среды, имеет место для обеих когерентных волн: отраженная от верхней поверхности пленки (1) и вышедшая из пленки (2), которая отражается от более плотной среды (стекло) (см. рис.1). Следовательно, в формуле (1) величина $\lambda/2$ будет отсутствовать. Тогда условие максимума отражения для первоначальной толщины пленки d_1 запишется:

$$2d_1\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = m\lambda, \quad (2)$$

где m – целое число (порядок интерференции). Через время Δt толщина пленки из-за испарения уменьшится и станет равной $d_2 < d_1$. При этом разность хода волн также уменьшится (см. формулу (1)). Следующий максимум отражения будет наблюдаться, когда разность хода уменьшится на длину волны λ и станет равной $m\lambda - \lambda = (m - 1)\lambda$. В результате условие максимума для толщины пленки d_2 запишется:

$$2d_2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = (m - 1)\lambda. \quad (3)$$

Из (2) и (3) получим изменение толщины пленки:

$$d_1 - d_2 = \frac{\lambda}{2\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}. \quad (4)$$

Это изменение толщины произошло за время Δt . Следовательно, скорость, с которой уменьшается толщина пленки $v = (d_1 - d_2)/\Delta t$, или, учитывая (4), получим ответ задачи:

$$v = \frac{\lambda}{2\Delta t\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = 1,1 \text{ мкм/ч.}$$

Ответ: скорость, с которой уменьшается толщина пленки равна 1,1 мкм/ч.

Пример 2. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом, падающим по нормали к поверхности пластинки. Радиусы двух соседних темных колец $r_m = 4,00$ мм и $r_{m+1} = 4,38$ мм. Радиус кривизны линзы $R = 6,4$ м. Найти порядковые номера колец и длину волны света λ . Наблюдение ведется в отраженном свете.

Решение

Радиус темного кольца Ньютона в отраженном свете:

$$r_m = \sqrt{m\lambda R}, \quad (1)$$

где m – номер кольца. Очевидно, номера соседних колец отличаются на единицу. Тогда радиус $(m + 1)$ -го кольца:

$$\begin{array}{l} r_m = 4,00 \text{ мм} = 4,00 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ r_{m+1} = 4,38 \text{ мм} = 4,38 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ R = 6,4 \text{ м} \\ \hline m - ?, \lambda - ? \end{array}$$

$$r_{m+1} = \sqrt{(m+1)\lambda R}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) имеем:

$$\frac{r_m}{r_{m+1}} = \sqrt{\frac{m}{m+1}},$$

откуда
$$m = \frac{r_m^2}{(r_{m+1} - r_m)(r_{m+1} + r_m)} = 5.$$

Очевидно, номер соседнего кольца $m + 1 = 6$.

Длину волны λ выразим из (1) и учтем найденное число m . В результате получим:

$$\lambda = \frac{r_m^2}{mR} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 0,5 \text{ мкм}.$$

Ответ: номера кольца $m + 1 = 6$, длина волны света $\lambda = 0,5$ мкм.

Пример 3. Дифракционная решетка содержит 100 штрихов на 1 мм длины. Определить длину волны монохроматического света, падающего на решетку нормально, если угол между направлениями на симметричные максимумы первого порядка $\alpha = 8^\circ$.

Решение

$$\begin{array}{l} n = 100 \text{ мм}^{-1} = 10^5 \text{ м}^{-1} \\ \alpha = 8^\circ \\ \lambda = ? \end{array}$$

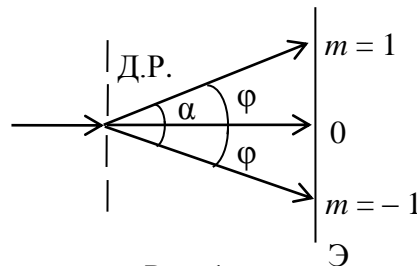


Рис. 1

Используем формулу дифракционной решетки:

$$d \sin \varphi = m\lambda, \quad (1)$$

где d – постоянная решетки; φ – угол дифракции; m – порядок дифракционного максимума. У нас $d = 1/n$, $\varphi = \alpha/2$ (см. рис.1), $m = 1$, т. к. рассматриваются максимумы первого порядка. В результате из формулы (1) имеем:

$$\lambda = \frac{1}{n} \sin \frac{\alpha}{2},$$

откуда длина волны $\lambda = 7 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 0,7 \text{ мкм}$.

Ответ: длина волны света, падающего на решетку, равна 0,7 мкм.

Пример 4. На каком расстоянии друг от друга находятся на экране две линии спектра первого порядка ртути с длинами волн $\lambda_1 = 577$ нм и $\lambda_2 = 579$ нм? Спектр проецируется на экран линзой, помещенной вблизи дифракционной решетки с периодом $d = 2,0$ мкм. Расстояние от линзы до экрана (фокусное расстояние линзы) $L = 1,6$ м. Лучи от ртутной лампы падают на решетку нормально.

Решение

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 577 \text{ нм} = 5,77 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\ \lambda_2 &= 579 \text{ нм} = 5,79 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\ m &= 1 \\ d &= 2,0 \text{ мкм} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ м} \\ L &= 1,6 \text{ м} \\ \Delta l &= ? \end{aligned}$$

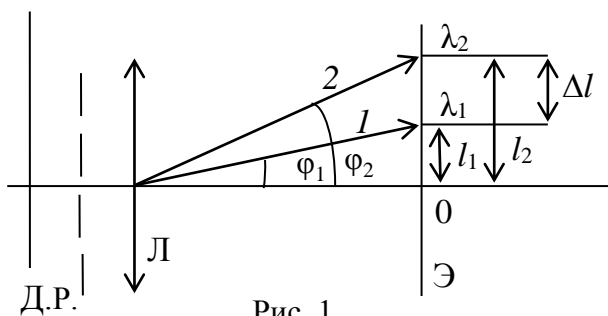


Рис. 1

Расстояние между двумя линиями данного спектра (см. рис.1):

$$\Delta l = l_2 - l_1,$$

где $l_1 = L \operatorname{tg} \varphi_1$; $l_2 = L \operatorname{tg} \varphi_2$. Тогда:

$$\Delta l = L(\operatorname{tg} \varphi_2 - \operatorname{tg} \varphi_1). \quad (1)$$

Используем формулу дифракционной решетки:

$$d \sin \varphi = m \lambda, \quad (2)$$

где d – период (постоянная) решетки; φ – угол дифракции; m – порядок дифракционного спектра, в нашей задаче $m = 1$; λ – длина волны, соответствующая определенной линии в спектре. Применяя формулу решетки (2) для длин волн λ_1 и λ_2 , получим:

$$\sin \varphi_1 = \lambda_1 / d; \quad \sin \varphi_2 = \lambda_2 / d, \quad (3)$$

откуда $\varphi_1 = \arcsin(\lambda_1 / d) = 16^\circ 46'$; $\varphi_2 = \arcsin(\lambda_2 / d) = 16^\circ 50'$.

Подставим эти углы в (1), и найдем искомое расстояние между линиями спектра ртути:

$$\Delta l = L(\operatorname{tg} \arcsin \frac{\lambda_2}{d} - \operatorname{tg} \arcsin \frac{\lambda_1}{d}).$$

Используя числовые данные задачи, получим:

$$\Delta l = 2,1 \text{ мм.}$$

Ответ: на расстоянии 2,1 мм друг от друга находятся на экране две линии спектра первого порядка ртути с длинами волн $\lambda_1 = 577$ нм и $\lambda_2 = 579$ нм.

Пример 5. Луч естественного света отражается от стеклянного дна сосуда, наполненного водой. При каком угле падения α_B , отраженный от дна сосуда свет, будет полностью поляризован? Показатель преломления воды $n_B = 1,33$, стекла $n_{ст} = 1,52$.

Решение

$$\frac{n_B = 1,33}{n_{ст} = 1,52}$$

$$\alpha_B - ?$$

Согласно закону Брюстера, отраженный от диэлектрика свет, является полностью поляризованным, если тангенс угла падения (угол Брюстера α_B) равен относительному показателю преломления второй среды (у нас стекло) относительно первой (вода):

$$\operatorname{tg}\alpha_B = n_{21}, \quad (1)$$

где n_{21} выражается через абсолютные показатели преломления $n_{21} = n_2/n_1$. По условию задачи $n_1 = n_B$, $n_2 = n_{ст}$. Следовательно, закон Брюстера (1) запишется:

$$\operatorname{tg}\alpha_B = n_{ст}/n_B,$$

откуда

$$\alpha_B = \operatorname{arctg}(n_{ст}/n_B) = 48^\circ 48'.$$

Ответ: при угле $48^\circ 48'$ отраженный от дна сосуда свет, будет полностью поляризован.

Пример 6. Во сколько раз уменьшится интенсивность естественного света, прошедшего через два николя (поляризатор и анализатор), плоскости пропускания (главные плоскости) которых образуют между собой угол $\alpha = 30^\circ$? В каждом николе за счет поглощения и отражения теряется $k = 10\% = 0,1$ падающего на него светового потока.

Решение

$$\frac{\alpha = 30^\circ}{k = 0,10}$$

$$I_{ест}/I - ?$$

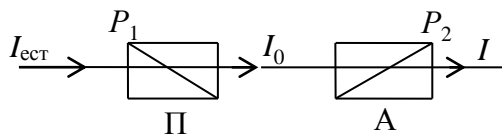


Рис. 1

Интенсивность естественного света $I_{ест}$ в первом николе (поляризаторе П, см. рис. 1) в результате двойного лучепреломления уменьшится в два раза. Кроме этого теряется $k = 0,1$ интенсивности в результате поглощения и отражения света в поляризаторе. Таким образом, интенсивность света, вышедшего из поляризатора (см. рис. 1):

$$I_0 = \frac{1}{2} I_{ест} (1 - k). \quad (1)$$

Запишем закон Малюса без учета потери интенсивности на поглощение и отражение во втором николе (анализаторе):

$$I = I_0 \cos^2 \alpha, \quad (2)$$

где I – интенсивность света вышедшего из анализатора; α – угол между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора (на рис. 1 P_1 и P_2). Если учесть потери интенсивности на поглощение и отражение света в анализаторе, то (2) запишется:

$$I = I_0(1 - k) \cos^2 \alpha. \quad (3)$$

Подставим сюда (1):

$$I = \frac{1}{2} I_{\text{ест}} (1 - k)^2 \cos^2 \alpha,$$

откуда искомое уменьшение интенсивности света, прошедшего через два николя:

$$\frac{I_{\text{ест}}}{I} = \frac{2}{(1 - k)^2 \cos^2 \alpha} = 3,3.$$

Ответ: интенсивность света уменьшится в 3,3 раза.

Пример 7. При нагревании абсолютно черного тела длина волны, на которую приходится максимум энергетической светимости, изменилась от $\lambda_{m1} = 690$ нм до $\lambda_{m2} = 500$ нм. Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость тела R^* ?

Решение

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_{m1} = 690 \text{ нм} \\ \lambda_{m2} = 500 \text{ нм} \\ R_2^* / R_1^* = ? \end{array} \right|$$

Используем закон Стефана – Больцмана

$$R^* = \sigma T^4, \quad (1)$$

где R^* – энергетическая светимость абсолютно черного тела, т. е. энергия, излучаемая с единичной поверхности тела за единицу времени во всем интервале длин волн; σ – постоянная Стефана – Больцмана; T – термодинамическая температура. Температуру найдем из закона смещения Вина:

$$\lambda_m = b / T, \quad (2)$$

где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум энергетической светимости абсолютно черного тела; b – постоянная Вина. Выражая из формулы (2) температуру T и подставляя ее в формулу (1), получим:

$$R^* = \sigma (b / \lambda_m)^4. \quad (3)$$

Запишем энергетическую светимость для двух длин волн λ_{m1} и λ_{m2} :

$$R_1^* = \sigma (b / \lambda_{m1})^4, \quad R_2^* = \sigma (b / \lambda_{m2})^4.$$

Откуда искомое отношение:

$$R_2^* / R_1^* = (\lambda_{m1} / \lambda_{m2})^4 = 3,63.$$

Ответ: энергетическая светимость тела увеличилась в 3,63 раза.

Пример 8. Какова мощность излучения, падающего на зачерненный шарик радиусом $r = 2,0$ см, если его температура поддерживается на $\Delta t = 27$ °С выше температуры окружающей среды, которая равна $t_1 = 20$ °С? Тепло теряется только на излучение.

Решение

$$\begin{array}{l} r = 2,0 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ \Delta t = 27 \text{ °С} \\ t_1 = 20 \text{ °С} \\ \hline \Delta\Phi - ? \end{array}$$

Запишем закон Стефана – Больцмана

$$R^* = \sigma T^4, \quad (1)$$

где R^* – энергетическая светимость абсолютно черного тела (энергия, излучаемая с единицы поверхности за единицу времени); σ – постоянная Стефана–Больцмана. Поток Φ , излучаемый телом, равен энергии, излучаемой со всей поверхности тела за единицу времени во всем интервале длин волн. Из этого следует $\Phi = R^*S$. Принимая зачерненный шарик за абсолютно черное тело и учитывая (1), запишем поток для температуры $T_1 = t_1 + 273 = 293$ К и $T_2 = T_1 + \Delta T = 320$ К, где $\Delta T = \Delta t = 27$ К:

$$\Phi_1 = \sigma T_1^4 S; \quad \Phi_2 = \sigma T_2^4 S, \quad (2)$$

где $S = 4\pi r^2$ – площадь поверхности шарика. Очевидно, искомый поток $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$, или с учетом (2), получим:

$$\Delta\Phi = 4\pi\sigma r^2 (T_2^4 - T_1^4) = 0,89 \text{ Вт.}$$

Ответ: мощность излучения равна 0,89 Вт.

Пример 9. Найти частоту света, выбивающего с поверхности металла электроны, которые задерживаются напряжением $U_3 = 3,0$ В. Красная граница фотоэффекта $\nu_0 = 6,0 \cdot 10^{14}$ Гц.

Решение

$$\begin{array}{l} U_3 = 3,0 \text{ В} \\ \nu_0 = 6,0 \cdot 10^{14} \text{ Гц} \\ \hline \nu - ? \end{array}$$

Воспользуемся уравнением Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A + \frac{mv_m^2}{2}$$

где h – постоянная Планка; ν – искомая частота света; A – работа выхода электронов из металла; m – масса электрона; v_m – максимальная скорость электронов, вылетающих из металла. Красная граница фотоэффекта ν_0 равна такой частоте света, при которой $v_m = 0$. Тогда при $\nu = \nu_0$ уравнение (1) примет вид:

$$h\nu_0 = A. \quad (2)$$

По условию задачи при задерживающем напряжении U_3 самые быстрые электроны, имеющие скорость v_m , полностью задерживаются электрическим полем, т. е. максимальная кинетическая энергия таких электронов равна работе электрического поля

$mv_m^2 / 2 = eU_3$, где e – элементарный заряд, равный по модулю заряду электрона. Тогда уравнение (1) с учетом (2) запишется:

$$h\nu = h\nu_0 + eU_3,$$

откуда искомая частота света

$$\nu = \nu_0 + \frac{eU_3}{h} = 1,3 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

Ответ: частота света равна $1,3 \cdot 10^{15}$ Гц.

Пример 10. Фотон с энергией $\varepsilon = 250$ кэВ рассеялся под углом $\alpha = 120^\circ$ на покоившемся электроне. Определить энергию рассеянного фотона ε' .

Решение

$\varepsilon = 250 \text{ кэВ} = 0,250 \text{ МэВ}$
$\alpha = 120^\circ$
$\varepsilon' - ?$

Энергию рассеянного ε' и падающего ε фотонов можно выразить через постоянную Планка h , скорость света в вакууме c и длину волны рассеянного λ' и падающего λ фотонов

$$\varepsilon' = hc / \lambda', \quad \varepsilon = hc / \lambda. \quad (1)$$

Рассеяние фотона на электроне описывается формулой Комптона

$$\lambda' - \lambda = 2 \frac{h}{mc} \sin^2 \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

где m – масса электрона; α – угол рассеяния. Подставим в эту формулу длины волн λ' и λ , найденные из (1), и из полученного уравнения выразим искомую энергию ε'

$$\varepsilon' = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{2\varepsilon}{mc^2} \sin^2 \frac{\alpha}{2}}.$$

Учитывая числовые данные задачи и энергию покоя электрона $mc^2 = 0,51$ МэВ. В результате получим численный ответ

$$\varepsilon' = 0,144 \text{ МэВ.}$$

Ответ: энергия рассеянного фотона равна $0,144$ МэВ.

Пример 11. На поверхность площадью $S = 10 \text{ см}^2$ нормально падает пучок фотонов интенсивностью $n = 10^{18} \text{ с}^{-1}$. Длина волны падающего света $\lambda = 500 \text{ нм}$. Определить световое давление на поверхность, если коэффициент отражения $\rho = 0,7$.

Решение

$$\begin{aligned} S &= 10 \text{ см}^2 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \\ n &= 10^{18} \text{ с}^{-1} \\ \lambda &= 500 \text{ нм} = 5,0 \cdot 10^{-7} \text{ м} \\ \rho &= 0,70 \end{aligned}$$

$P = ?$

При нормальном падении света давление определяется по формуле

$$P = \frac{E}{c}(1 + \rho), \quad (1)$$

где E – световая энергия, падающая на единицу поверхности за единицу времени, т. е. это плотность светового потока; c – скорость света в вакууме; ρ – коэффициент отражения, равный отношению интенсивности света, отраженного от поверхности, к интенсивности падающего света. Энергия пучка фотонов интенсивностью n равна $\Phi = n\varepsilon$, где n – число фотонов, падающих на поверхность за 1 с; $\varepsilon = hc/\lambda$ – энергия фотона; h – постоянная Планка. Таким образом,

$$\Phi = nhc / \lambda. \quad (2)$$

Величина Φ означает поток или мощность светового пучка, падающего на поверхность площадью S . Энергия, падающая на единичную поверхность за единицу времени, $E = \Phi/S$. Тогда с учетом (2) давление света (1) равно:

$$P = \frac{nh}{\lambda S}(1 + \rho).$$

Подставляя сюда числовые данные задачи и табличное значение постоянной Планка h , получим:

$$P = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} = 2,2 \text{ мкПа}.$$

Ответ: давление света равно 2,2 мкПа.

Задачи к контрольной работе № 4

401. На тонкую пленку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Отраженный от нее свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину d_{\min} пленки, если показатель преломления материала пленки $n = 1,4$.

402. На тонкий стеклянный клин падает нормально свет с длиной волны 0,6 мкм. Расстояние между соседними интерференционными полосами в отраженном свете равно 0,5 мм. Показатель преломления стекла 1,5. Определить угол между поверхностями клина.

403. На тонкий стеклянный клин падает нормально монохроматический свет. Наименьшая толщина клина, с которой видны интерференционные полосы в отраженном свете, равна 0,1 мкм. Расстояние между полосами 2 мм. Найти угол между поверхностями клина. Показатель преломления стекла 1,5.

404. В опыте Юнга одна из щелей перекрывалась прозрачной пластинкой толщиной 10 мкм, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, первоначально занятое восьмой светлой полосой. Найти показатель преломления пластинки, если длина волны света 0,6 мкм.

405. Расстояние L от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 м. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной $l = 1$ см укладывается $N = 10$ темных интерференционных полос. Длина волны $\lambda = 0,7$ мкм.

406. Расстояние между двумя когерентными источниками 1,1 мм, а расстояние от источников до экрана 2,5 м. Источники испускают монохроматический свет с длиной волны 0,55 мкм. Определить число интерференционных полос, приходящихся на 1 см длины экрана.

407. На щель шириной 0,2 мм падает нормально параллельный пучок монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм. Найти расстояние между первыми дифракционными минимумами на экране, удаленном от щели на 0,5 м.

408. На пленку из глицерина толщиной 0,3 мкм падает белый свет. Каким будет казаться цвет пленки в отраженном свете, если угол падения лучей 45° ?

409. При падении света из воздуха на диэлектрик отраженный луч полностью поляризован. Угол преломления равен 30° . Чему равен показатель преломления диэлектрика?

410. На мыльную пленку падает белый свет под углом 60° . При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в красный цвет ($\lambda = 0,65$ мкм)? Показатель преломления мыльной воды 1,33.

411. Какую разность длин волн может разрешить дифракционная решетка шириной 2 см и периодом 5 мкм в области красных лучей ($\lambda = 0,7$ мкм) в спектре второго порядка?

412. На грань кристалла каменной соли падает узкий пучок рентгеновских лучей ($\lambda = 0,15$ нм). Под каким углом к поверхности кристалла должны падать лучи, чтобы наблюдался дифракционный максимум первого порядка? Расстояние между атомными плоскостями кристалла равно 0,285 нм.

413. Расстояние между атомными плоскостями кристалла кальцита равно 0,3 нм. Определить, при какой длине волны рентгеновского излучения второй дифракционный максимум будет наблюдаться при отражении лучей под углом 30° к поверхности кристалла.

414. Чему должна быть равна ширина дифракционной решетки с периодом 20 мкм, чтобы в спектре первого порядка был разрешен дублет $\lambda = 404,4$ нм и $\lambda = 404,7$ нм?

415. На дифракционную решетку с периодом 4,8 мкм падает нормально свет. Какие спектральные линии, соответствующие длинам волн, лежащим в пределах видимого спектра, будут совпадать в направлении ($\varphi = 30^\circ$)?

416. Постоянная дифракционной решетки равна 2,5 мкм. Определить наибольший порядок спектра, общее число главных максимумов в дифракционной картине и угол дифракции в спектре третьего порядка при нормальном падении монохроматического света с длиной волны 0,59 мкм.

417. На узкую щель нормально падает плоская монохроматическая световая волна ($\lambda = 628$ нм). Чему равна ширина щели, если второй дифракционный максимум наблюдается под углом $1^\circ 30'$?

418. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света ($\lambda = 0,5$ мкм). Посередине между экраном и источником света помещена диафрагма с круглым отверстием. При каком наименьшем радиусе отверстия центр дифракционной картины будет темным?

419. Свет от монохроматического источника ($\lambda = 0,6$ мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром 1,2 мм. Темным или светлым будет центр дифракционной картины на экране, находящемся на расстоянии 0,3 м от диафрагмы?

420. На поверхность дифракционной решетки нормально к ее поверхности падает монохроматический свет. Постоянная дифракционной решетки в $n = 4,6$ раза больше длины световой волны. Найти общее число M дифракционных максимумов, которые теоретически можно наблюдать в данном случае.

421. Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Степень поляризации преломленного луча составляет 0,105. Найти коэффициент отражения света.

422. Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Коэффициент пропускания света равен 0,915. Найти степень поляризации преломленного луча.

423. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы свет, отраженный от поверхности воды, был максимально поляризован?

424. Естественный свет падает на кристалл алмаза под углом полной поляризации. Найти угол преломления света.

425. Естественный свет падает на поверхность диэлектрика под углом полной поляризации. Коэффициент отражения света равен 0,095. Найти степень поляризации преломленного луча.

426. Естественный свет проходит через два поляризатора, угол между главными плоскостями которых равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света после прохождения этой системы? Считать, что каждый поляризатор отражает и поглощает 10 % падающего на них света.

427. Естественный свет проходит через два поляризатора, угол между главными плоскостями которых 60° . Во сколько раз изменится интенсивность света, прошедшего эту систему, если угол между плоскостями поляризаторов уменьшить в два раза?

428. Чему равен угол между главными плоскостями двух поляризаторов, если интенсивность естественного света, прошедшего через них, уменьшилась в 5,4 раза? Считать, что каждый поляризатор отражает и поглощает 14 % падающего на них света.
429. Параллельный пучок света переходит из глицерина в стекло так, что пучок, отраженный от границы раздела этих сред, оказывается максимально поляризованным. Определить угол γ между падающим и преломленным пучками.
430. Угол падения ε_1 луча на поверхность стекла равен 60° . При этом отраженный пучок света оказался максимально поляризованным. Определить угол ε_2 преломления луча.
431. Давление света с длиной волны 0,6 мкм, падающего нормально на черную поверхность, равно 2 мкПа. Определить число фотонов, падающих за секунду на 1 см^2 этой поверхности.
432. Красной границе фотоэффекта для алюминия соответствует длина волны 0,332 мкм. Найти длину волны монохроматической световой волны, падающей на алюминиевый электрод, если фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов 1 В.
433. Гамма-фотон с энергией 0,51 МэВ испытал комптоновское рассеяние на свободном электроны строго назад. Определить кинетическую энергию электрона отдачи. До столкновения электрон покоился.
434. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вылетающих из вольфрамового электрода, освещаемого ультрафиолетовым светом с длиной волны 0,2 мкм.
435. Первоначально покоившийся свободный электрон в результате комптоновского рассеяния на нем гамма-фотона с энергией 0,51 МэВ приобрел кинетическую энергию, равную 0,17 МэВ. Чему равен угол рассеяния фотона?
436. Давление света, нормально падающего на поверхность, 3 мкПа. Определить концентрацию фотонов вблизи поверхности, если длина волны света 0,45 мкм, а коэффициент отражения 0,36.
437. Катод вакуумного фотоэлемента освещается светом с длиной волны 0,405 мкм. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов 1,2 В. Найти работу выхода электронов из катода.
438. Определить давление солнечных лучей, нормально падающих на зеркальную поверхность. Интенсивность солнечного излучения $1,37 \text{ кВт/м}^2$.
439. Найти задерживающую разность потенциалов для фотоэлектронов, испускаемых при освещении цезиевого электрода ультрафиолетовым излучением с длиной волны 0,3 мкм.
440. На цинковую пластинку направлен монохроматический пучок света. Фототок прекращается при задерживающей разности потенциала 7,5 В. Определить длину волны падающего света.

441. Найти период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного изотопа, если его активность за время $t = 10$ сут уменьшилась на 24 % по сравнению с первоначальной.

442. Определить, какая доля радиоактивного изотопа ${}^{225}_{89}\text{Ac}$ распадается в течение времени $t = 6$ сут.

443. Активность A некоторого изотопа за время $t = 10$ сут уменьшилось на 20 %. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого изотопа.

444. Определить массу изотопа ${}^{131}_{53}\text{I}$, имеющего активность 37 ГБк.

445. Найти среднюю продолжительность жизни τ атома радиоактивного изотопа кобальта ${}^{60}_{27}\text{Co}$.

446. Счетчик α -частиц, установленный вблизи радиоактивного изотопа, при первом измерении регистрировал $N_1 = 1400$ частиц в минуту, а через время $t = 4$ ч только $N_2 = 400$. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.

447. Во сколько раз уменьшится активность изотопа ${}^{32}_{15}\text{P}$ через время $t = 20$ сут?

448. На сколько процентов уменьшится активность изотопа иридия ${}^{192}_{77}\text{Ir}$ за время $t = 15$ сут?

449. Определить число N ядер, распадающихся в течение времени: 1) $t_1 = 1$ мин; 2) $t_2 = 5$ сут, в радиоактивном изотопе фосфора ${}^{32}_{15}\text{P}$ массой $m = 1$ мг.

450. Из каждого миллиона атомов радиоактивного изотопа каждую секунду распадается 200 атомов. Определить период полураспада $T_{1/2}$ изотопа.

451. Мезоны космических лучей достигают поверхности Земли с самыми разнообразными скоростями. Найти релятивистское сокращение размеров мезона, скорость которого равна 95 % скорости света.

452. При какой относительной скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25 %?

453. Два самолета, летящие на одной высоте с одинаковой скоростью, одновременно вылетают из точки, расположенной на экваторе, и облетают Землю по экватору в противоположных направлениях – с востока на запад и с запада на восток. На борту самолетов установлены сверхточные атомные часы. Чему равна разность показаний часов к концу полета?

454. Найдите конечную скорость ракеты, у которой скорость истечения газа из сопла равна c . Начальная масса ракеты с топливом m_0 , конечная масса m . Начальная скорость ракеты равна нулю.

455. Найти скорость мезона, если его полная энергия в 10 раз больше энергии покоя.

456. Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его продольные размеры стали меньше в 2 раза?

457. При какой скорости масса движущегося электрона вдвое больше массы покоя?
458. Электрон и позитрон образуются фотоном с энергией 2,62 МэВ. Какова была в момент возникновения полная кинетическая энергия электрона и позитрона?
459. На сколько увеличится масса α -частицы при ускорении ее от начальной скорости, равной нулю, до скорости, равной 0,9 скорости света?
460. Найти изменение энергии соответствующее изменению массы на 1 а.е.м.

Библиографический список

1. Грабовский, Р. И. Курс физики : учеб. пособие для вузов / Р. И. Грабовский ; доп. м-вом образов. и науки РФ. – СПб. : Лань, 2009. – 608 с
2. Трофимова, Т. И. Сборник задач по курсу физики с решениями : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова ; рек. м-вом образов. и науки РФ. – 4-е изд. – М. : Высш. шк., 2008. – 405 с.
3. Трофимова, Т. И. Курс физики [Текст] : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова ; рек. м-вом образов. РФ. – 16-е изд., стереотип. – М. : Академия, 2008. – 560 с.
4. Волькенштейн, В. С. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : для студ. тех. вузов / В. С. Волькенштейн. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб. : Книжный мир, 2008.
5. Трофимова, Т. И. Физика в таблицах и формулах : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова ; рек. М-вом образования РФ. – 3-е изд., испр. – М. : Академия, 2006. – 448 с.
6. Трофимова, Т. И. Краткий курс физики : учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. – 5-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2006. – 352 с.