МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра нанотехнологий, микроэлектроники, общей и прикладной физики

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
____________ О.Г. Локтионова
«15» 02 2021 г.

Физика. 2.1.

Методические указания к выполнению практических работ для студентов направления подготовки
08.03.01 Строительство, 21.03.02 Землеустройство и кадастры, 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

Курск 2021

УДК 531

Составитель: Г.В. Карпова

Рецензент
Кандидат физико-математических наук Пауков В.М.

Физика 2.1: Методические указания к выполнению практических работ для студентов направлений подготовки 08.03.01 Строительство, 21.03.02 Землеустройство и кадастры, 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений. / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Карпова Г.В. Курск, 2021. 36 с.: ил. 9.

Излагаются методические рекомендации по выполнению практических работ, способствующие развитию индивидуального творческого мышления у студентов; активизации учебного процесса на протяжении всего периода изучения дисциплины; организация самостоятельной и индивидуальной работы.

Методические указания соответствуют требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования и учебному плану направления подготовки 08.03.01, 21.03.02, 08.05.01 степень (квалификация) – бакалавр. Предназначены для студентов всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60 х 84 1/16.
Усл. печ. л. 4,07. Уч.-изд. л. 3.68. Тираж 50 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ И ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Номера задач, которые студент должен включить в свое контрольное задание или контрольную работу, определяются по таблицам вариантов, которые составляются лектором потока.

Контрольное задание или контрольную работу нужно выполнять в тетради, в соответствии с установленной формой. Для замечаний преподавателя на странице тетради нужно оставлять поля.

В конце контрольного задания или контрольной работы необходимо указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении данного раздела физики (название учебника, автор, год издания). Это необходимо для того, чтобы преподаватель, проверяющий контрольную работу, в случае необходимости смог указать, что следует студенту изучить для завершения работы.

Решение задачи следует сопровождать краткими, но исчерпывающими пояснениями; в тех случаях, когда это необходимо, дать чертеж, выполненный с помощью чертежных принадлежностей. Решить задачу надо в общем виде, т.е. выразить искомую величину в буквенных обозначениях величин, заданных в условии задачи. При таком способе решения не производятся вычисления промежуточных величин. После получения расчетной формулы для проверки правильности полученного результата следует применить правило размерности. Числовые значения величин при подстановке их в расчетную формулу следует выражать только в единицах системы СИ. При подстановке в расчетную формулу, а также при записи ответа числовые значения величин следует записывать как произведение десятичной дроби на соответствующую степень десяти. Вычисления по расчетной формуле надо проводить с соблюдением правил приближенных вычислений. Это относится и к случаю, когда результат получен с применением калькулятора.

Практическое занятие №1

Кинематика и динамика криволинейного движения материальной точки. Кинематика и динамика вращательного движения материальной точки. Законы Ньютона.

Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике: Учеб. пособие для втузов.-7-е изд., перераб. и доп. -М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003.-640 с.

1.2 - 1.10, 1.16, 1.22 - 1.28, 1.30 - 1.32, 1.35 - 1.40, 1.44 - 1.50, 1.52, 1.55 - 1.63, 2.4, 2.5, 2.7 - 2.10, 2.12 - 2.18, 2.20, 2.25, 2.27 - 2.34, 3.3 - 3.5, 3.6, 3.7, 3.9 - 3.12, 3.14, 3.15, 3.32, 3.33.

Примеры решения задач.

1. Уравнение движения материальной точки вдоль оси X имеет вид $X=2+t-0{,}5t^2$. Найти: координату X, скорость |**v**| и ускорение |**a**| точки в момент времени t=2 с.

Решение. Координату X найдем, подставив в уравнение движения числовые значения коэффициентов A, B, C и времени t:

$$X=(2+1\cdot 2 - 0{,}5\ 2^2)=2 \text{ м}.$$

Мгновенная скорость относительно оси X есть первая производная от координаты по времени:

$$v=\frac{dx}{dt}=1-1{,}5t.$$

Ускорение точки найдем, взяв первую производную от скорости по времени:

$$a=\frac{dv}{dt}=-3t.$$

В момент времени t=2 с

$$v=(1-3\cdot 0{,}5\cdot 2)= -5 \text{ м/с};$$

$$a=6\cdot(-0{,}5)\cdot 2= -6 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: X=2 м; v= -5 м/с; a= -6 м/с^2.

2. Точка движется по кривой согласно уравнению $x=6t-t^3/8$. Найти среднюю скорость движения точки в промежутке времени от $t_1=2{,}0$ с до $t_2=6{,}0$ с.

Решение. При движении материальной точки в некотором направлении, она может совершать движение как в одном, так и в другом направлении, поэтому перед решением такого типа задач необходимо провести исследование: 1). При каком значении времени t скорость точки равна нулю? 2). С каким по знаку ускорением движется точка?

1). Для определения момента времени t, при котором скорость движения равна нулю, находим

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}\left(6t - \frac{t^3}{8}\right) = 6 - \frac{3t^2}{8} = 0.$$

Решая полученное уравнение, имеем:

$$6 - \frac{3t^2}{8} = 0;$$
$$t^2 = 16;$$
$$t = 4c.$$

Следовательно, в момент времени t=4с скорость материальной точки равна нулю.

2). Установим знак ускорения, с которым движется точка:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}\left(6 - \frac{3t^2}{8}\right) = -\frac{6t}{8} < 0.$$

Таким образом, в момент времени t=4с материальная точка, движущаяся в направлении возрастания x, изменит направление своего движения на противоположное.

По определению средняя скорость движения равна отношению пройденного пути к тому промежутку времени, в течение которого совершалось движение. В нашем случае

$$< v >= \frac{\Delta x_1 - \Delta x_2}{t},$$

где Δx_1 – расстояние, пройденное точкой за время от t=0 до t_1;

Δx_2 – расстояние, пройденное точкой за время от t_1 до t_2;

t – время движения точки.

$$\Delta x_1 = x_{t_1} - x_0; \Delta x_2 = x_{t_2} - x_{t_1}.$$

Тогда

$$< v >= \frac{x_{t_1} - x_0 + x_{t_1} - x_{t_2}}{t} = \frac{2x_{t_1} - x_0 - x_{t_2}}{t}.$$

Подставляя численные значения, будем иметь

$$< v >= \frac{2(6\cdot 4 - 4\cdot 4\cdot 4/8) - (6\cdot 2 - 2\cdot 2\cdot 2/8) - 6\cdot 6 + 6\cdot 6\cdot 6/8}{4} = 3 \text{ м/с}.$$

Ответ: <v>=3 м/с.

3. Маховик движется равноускоренно. Найти угол, который составляет вектор полного ускорения любой точки маховика с радиусом в тот момент, когда маховик совершит первые 2 оборота.

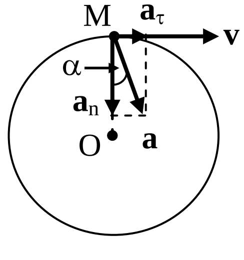

Рис. 1.1

Решение. Выберем любую точку «М» маховика и сделаем чертеж (рис. 1.1). Из чертежа можно установить, что

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{a_\tau}{a_n}.$$

Из законов кинематики вращательного движения известно, что

$$\omega_0^2 - \omega^2 = 2\,\varepsilon\varphi.$$

Так как по условию задачи

$$\omega_0 = 0,\ \varphi = 2\pi\cdot N,\ a_t = \varepsilon r,\ a_n = \omega^2 r,\ \omega^2 = 4\pi N\varepsilon.$$

Тогда

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2}{4\pi\varepsilon N} = 0{,}04.\ \alpha = 2°17'.$$

Ответ: $\alpha = 2°17'$.

4. По дуге окружности радиусом 10 м вращается точка. В некоторый момент времени нормальное ускорение точки равно 4,9 м/с^2. Вектор полного ускорения образует в этот момент с вектором нормального ускорения угол 60^o. Найти скорость и тангенциальное ускорение точки.

Решение. Известно, что нормальное ускорение характеризует изменение линейной скорости по направлению. Ее численное значение равно

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

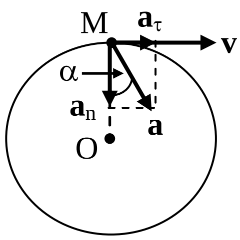

Рис. 1.2

откуда

$$v = \sqrt{a_n R}.$$

Полное линейное ускорение

$$\vec{a} = \vec{a} + \vec{a}_\tau.$$

Следовательно,

$$a_n = \sqrt{a^2 - a_\tau^2}.$$

Из предварительно построенного чертежа можно установить (рис. 1.2), что

$$a = \frac{a_n}{\cos\alpha},$$

тогда

$$a_\tau = \sqrt{\left(\frac{a_n}{\cos\alpha}\right)^2 - a_n^2} = a_n\cdot\operatorname{tg}\alpha.$$

Подставляя численные значения, будем иметь

$$v = \sqrt{4{,}9\cdot 10} = 7\ \text{м/с};$$

$$a_\tau = 4{,}9\cdot 1{,}73 = 8{,}5\ \text{м/с}^2.$$

Ответ: $v=7$ м/с; $a_\tau=8{,}5$ м/с^2.

5. Две материальные точки движутся согласно уравнениям $x_1=10+t-2t^2$ и $x_2=3+2t+0,2t^2$. В какой момент времени скорости этих точек одинаковы? Чему равны скорости и ускорения точек в момент времени t=3с?

Решение. Известно, что линейная скорость численно равна первой производной от перемещения по времени. В нашем случае, так как

$$x_1=10+t-2t^2 \quad \text{и} \quad x_2=3+2t+0,2t^2,$$

то

$$v_1=\frac{dx_1}{dt}=1-4t; \quad v_{21}=\frac{dx_2}{dt}=2+0,4t.$$

По условию задачи $v_1=v_2$, следовательно,

$$1-4t=2+0,4$$

откуда

$$-4,4t=1, \ t=-0,23 \text{ с}.$$

Знак «минус» означает, что скорости точек были равны до начала отсчета времени.

Линейное ускорение численно равно первой производной от скорости по времени. В нашем случае

$$a_1=\frac{dv_1}{dt}=-4 \text{ м/с}^2; \ a_2=0,4 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $t=-0,23$с; $a_1=-4$ м/с^2; $a_2=0,4$ м/с^2.

6. Деревянный брусок массой 350 г, находящийся на горизонтальной плоскости, привязан к нити, которая перекинута через блок. Другим концом нить прикреплена к грузу массой 265 г. Коэффициент трения между бруском и плоскостью 0,45. Пренебрегая массой блока и трением при его вращении, сопротивлением воздуха, считая нить невесомой и нерастяжимой, определить ускорение системы и натяжение нити (рис. 1.3).

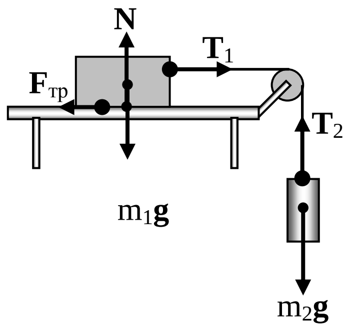

Рис. 1.3

Решение. Для решения задачи воспользуемся основными уравнениями динамики поступательного движения. Для этого рассмотрим силы, действующие на каждый груз в отдельности. На первый груз действуют: сила тяжести m**g**, реакция опоры **N**, сила натяжения нити $\mathbf{T}_1$ и сила трения **F**. На второй – сила тяжести m**g** и сила натяжения нити $\mathbf{T}_2$.

На основании второго закона Ньютона запишем уравнения движения каждого из грузов в векторной форме:

$$m_1\vec{a}_1=m_1\vec{g}+\vec{N}+\vec{T}_1+\vec{F}_{тр};$$

$$m_2\vec{a}_2=m_2\vec{g}+\vec{T}_2.$$

Так как нить невесома и нерастяжима, то $\mathbf{a}_1=\mathbf{a}_2=\mathbf{a}$, $\mathbf{T}_1=\mathbf{T}_2=\mathbf{T}$. С учетом данного замечания уравнения движения грузов будут иметь вид

$$m_1\vec{a} = m_1\vec{g} + \vec{N} + \vec{T} + \vec{F}_{тр};$$

$$m_2\vec{a} = m_2\vec{g} + \vec{T}.$$

Произвольно выбираем направление движения системы (например: левый груз движется слева направо, второй – вниз) и проектируем уравнения движения на выбранное направление. С учетом знаков проекций соответствующих векторов и $|\mathbf{F}_{тр}|=\mu m_1 g$, уравнения движения перепишем в виде

$$m_1 a = T - F_{тр} = T - \mu m_1 g;$$

$$m_2 a = m_2 g - T.$$

Имеем систему двух уравнений с двумя неизвестными, решая которую находим

$$a = \frac{m_2 - \mu m_1}{m_1 + m_2} g;$$

$$T = m_1 m_2 g\left(\frac{1+\mu}{m_1 + m_2}\right).$$

Проверив размерность и подставив численные значения входящих в полученные формулы величин, получаем

$$a = \frac{265 - 0{,}45 \cdot 350}{350 + 265} 9{,}8 = 1{,}7 \text{ м/с}^2;$$

$$T = 0{,}350 \cdot 0{,}265 \cdot 9{,}8\left(\frac{1 + 0{,}45}{0{,}350 + 0{,}265}\right) = 2{,}1 \text{ Н}.$$

Ответ: $a=1{,}7$ м/с^2, $T=2{,}1$ Н.

Практическое занятие №2

Работа, энергия, мощность. Законы сохранения.

Номера задач по: Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. Доп. И перераб. - СПб.: СпецЛит, 2002. 327 с.
2.36 - 2.42, 2.46, 2.62 - 2.69, 2.72, 2.73, 2.75 - 2.81, 2.116, 2.118, 2.122, 3.16 - 3.19, 3.21 - 3.24, 3.26, 3.28, 3.30, 3.31, 3.34 - 3.36, 3.40 - 3.44.

Примеры решения задач.

1. На спокойной воде пруда стоит лодка, длиной L и массой M, перпендикулярно берегу, обращенная к нему носом. На корме стоит человек

массой m. На какое расстояние S удалится лодка от берега, если человек перейдет с кормы на нос лодки? Трением о воду и о воздух пренебречь.

Решение. Для простоты решения будем считать, что человек идет по лодке с постоянной скоростью. Лодка в этом случае также будет двигаться равномерно. Поэтому путь s, пройденный лодкой относительно берега, определим по формуле:

$$S = vt,$$

где v – скорость лодки относительно берега;

t – время движения лодки.

Скорость v лодки найдем, пользуясь законом сохранения импульса (количества движения). Так как по условию задачи система *человек-лодка* изолированная и в начальный момент относительно берега была в покое, то по закону сохранения импульса, опустив знак минус, получим:

$$Mv = mu,$$

где u – скорость человека относительно берега.

Отсюда

$$v = \frac{mu}{M}.$$

Время t движения лодки равно времени перемещения человека по лодке, т.е.

$$t = \frac{S}{u} = \frac{L - S}{u},$$

где S – путь, пройденный человеком относительно берега.

Подставив полученные выражения v и t, найдем

$$S = \frac{mu\left(L - S\right)}{Mu} = \frac{m\left(L - S\right)}{M}.$$

Откуда

$$S = \frac{mL}{m + M}.$$

Ответ: $S = \dfrac{mL}{m + M}$.

2. При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх пуля массой 20 г поднялась на высоту 5 м. Определить жесткость k пружины пистолета, если она была сжата на 10 см. Массой пружины пренебречь.

Решение. Для решения задачи воспользуемся законом сохранения энергии в механике. Но прежде проследим за энергетическими превращениями, с которыми связан выстрел.

При зарядке пистолета сжимается пружина. При этом совершается работа A_1, в результате чего пружина приобретает потенциальную энергию W_{p1}. При выстреле потенциальная энергия пружины переходит в кинетическую энергию W_{K2} пули, затем при подъеме ее на высоту h превращается в потенциальную энергию W_{p2} пули.

Если пренебречь потерями энергии в этой цепочке энергетических превращений, то на основании закона сохранения энергии можно записать

$$A=W_{p2}.$$

Выразим работу A_1. Сила $\mathbf{F}_1$, сжимающая пружину, является переменной. В каждый данный момент времени она по направлению противоположна силе упругости $\mathbf{F}$ и численно равна ей. Сила упругости, возникающая в пружине при ее деформации, определяется по закону Гука:

$$F=-kx,$$

где x – абсолютная деформация пружины.

Работу переменной силы вычислим как сумму элементарных работ. Элементарная работа при сжатии пружины на dx выразится формулой

$$dA_1=F_1\cdot dx, \text{ или } dA_1=kx\cdot dx.$$

Интегрируя в пределах от 0 до s, получим

$$A_1 = k\int_0^S x\cdot dx = \frac{kS^2}{2}.$$

Потенциальная энергия пули на высоте h определяется по формуле

$$W_2=mgh,$$

где g – ускорение свободного падения.

Таким образом, имеем

$$\frac{kS^2}{2} = mgh.$$

Откуда

$$k = \frac{2mgh}{S^2}.$$

Теперь можем подставить числовые значения и произвести вычисления

$$k = \frac{2\cdot 0,02\cdot 9,81\cdot 5}{0,01} = 196 \text{ Н/м}=0,2 \text{ кН/м}.$$

Ответ: k=0,2 кН/м.

3. Круглая платформа радиуса R=1,00 м, момент инерции которой $I=130$ кг·м^2, вращается по инерции вокруг вертикальной оси, делая $n_1=1,00$ об/с. На краю платформы стоит человек, масса которого m=70 кг (рис. 1.4). Сколько оборотов в секунду n_2 будет совершать платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.

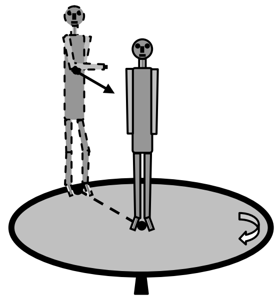

Рис. 1.4

Решение. Перемещаясь по платформе, человек взаимодействует с ней. О характере этого взаимодействия нам ничего не известно, поэтому основное уравнение динамики вращательного движения к платформе применить невозможно. В этой задаче нет оснований и для применения закона сохранения энергии, поскольку не исключено, что, перемещаясь по вращающейся платформе, человек будет совершать работу, изменяя механическую энергию вращающейся системы *платформа–человек*.

Согласно условию задачи, платформа с человеком вращается по инерции. Это означает, что результирующий момент всех внешних сил, приложенных к вращающейся системе, равен нулю. Следовательно, для системы *платформа–человек* выполняется закон сохранения момента импульса, который запишем так:

$$L_1 = L_2. \tag{1}$$

Начальный момент импульса системы L_1 (человек стоит на краю платформы) и конечный момент импульса L_2 (человек стоит в центре платформы) соответственно равны:

$$L_1 = I_1\omega_1 = (I + mR^2)\cdot 2\pi n_1; \tag{2}$$

$$L_2 = I_2\omega_2 = I\cdot 2\pi n_2, \tag{3}$$

где mR^2 – момент инерции человека;

$I_1 = I + mR^2$ – начальный момент инерции системы;

I – момент инерции платформы;

ω_1 – начальная угловая скорость системы;

n_1 – начальное число оборотов системы;

$I_2=I$ – конечный момент инерции системы;

ω_2 – конечная угловая скорость системы;

n_2 – конечное число оборотов системы.

Решая систему уравнений (1)–(3), для конечного числа оборотов системы будем иметь:

$$n_2 = \frac{n_1(I + mR^2)}{I}.$$

Проверив размерность полученного результата, подставив числовые значения физических величин в системе СИ, произведем вычисления:

$$n_2 = \frac{1{,}00\cdot(130 + 70\cdot 1{,}00^2)}{130} = 1{,}54 \text{ об/с.}$$

Ответ: $n_2=1{,}54$ *об/с.*

Практическое занятие №3

Уравнение гармонических колебаний. Угловая частота колебаний. Скорость точки, совершающей гармонические колебания. Ускорение при гармонических колебаниях. Частота биений, возникающих при сложении двух колебаний. Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки.

Номера задач по: Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. Доп. И перераб. - СПб.: СпецЛит, 2002. 327 с.
12.2, 12.6 - 12.12, 12.15 - 12.18, 12.20 - 12.21, 12.23 - 12.26, 12.30 - 12.33, 12.38 - 12.42. 12.43, 12.45, 12.46-12.50, 12.52, 12.56, 12.57, 12.59-12.66.

Примеры решения задач.

1. Материальная точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебательных движениях, происходящих согласно уравнениям $x = \cos\omega t$ и $y = 2\cos\frac{\omega t}{2}$. Найти уравнение траектории движения точки и построить траекторию с соблюдением масштаба.

Решение. Для отыскания уравнения траектории движения точки необходимо из уравнений движения исключить время. В рассматриваемом случае применяем формулу косинуса половинного угла

$$\cos^2\frac{\alpha}{2} = \frac{1+\cos\alpha}{2}.$$

Для рассматриваемого случая

$$\cos\frac{\omega t}{2} = \sqrt{\frac{1+\cos\omega t}{2}};$$

Имеем

$$y = 2\cos\frac{\omega t}{2} = 2\sqrt{\frac{1+\cos\omega t}{2}}.$$

Так как $\cos\omega t = x$, то

$$y = 2\sqrt{\frac{1+x}{2}} = \sqrt{2(x+1)}.$$

Полученное уравнение и является уравнением траектории движения, которое представляет собой уравнение параболы, ось которой лежит на оси OX. Из уравнений движения точки амплитуда колебаний точки по оси OX равна 1, по оси OY – 2. Следовательно, абсциссы всех точек траектории заключены в пределах от -1 до +1, а ординаты от 0 до +2.

Для построения траектории движения по его уравнению найдем значения y, соответствующие ряду значений x, удовлетворяющих условию x<1:

x	-1,00	-0,75	-0,50	-0,25	0	0,25	0,50	0,75	1,00
$y = \sqrt{2x+2}$	0	0,71	1,00	1,22	1,41	1,58	1,73	1,87	2,00

По данным таблицы можно построить траекторию движения материальной точки (рис. 1.5).

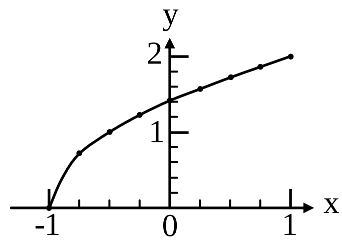

Рис. 1.5

2. Стержень длиной 4 см колеблется около оси, перпендикулярной стержню и проходящей через один из его концов. Определить период колебаний такого маятника (рис. 1.6).

Решение. Такой стержень можно рассматривать как некоторый физический маятник.

Физический маятник – твердое тело, способное совершать колебательное движение относительно оси, на которой оно подвешено. При этом ось колебаний не проходит через центр тяжести.

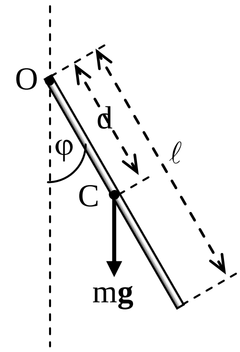

Рис. 1.6

Уравнение движения физического маятника, при малых углах отклонения, имеет вид:

$$I\frac{d^2\varphi}{dt^2} + mgd\,\varphi = 0.$$

где m – масса физического маятника;

I – его момент инерции относительно оси колебаний;

d – кратчайшее расстояние между осями, одна из которых параллельна данной и проходит через центр тяжести;

φ – угол отклонения маятника от положения равновесия.

Решением этого уравнения является выражение вида

$$\varphi=\varphi_o \sin(\omega t + \alpha).$$

Решая дифференциальное уравнение второго порядка, для периода колебаний физического маятника можно получить

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgd}},$$

где $L_{пр} = \dfrac{I}{md}$ – приведенная длина физического маятника.

В рассматриваемом случае момент инерции физического маятника

определяем по теореме Штейнера:

$$I=I_0+mr^2,$$

где $I_0=m\ell^2/12$ – момент инерции стержня относительно оси, проходящей через центр тяжести;

$r=\ell/2=$ – расстояние от одного из концов стержня до центра тяжести.

Подставив значения I и r для момента инерции стержня, будем иметь:

$$I = \frac{m\ell^2}{12} + \frac{m\ell^2}{4} = \frac{m\ell^2}{3}.$$

По условию задачи d=l/2. Тогда период колебаний стержня

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{2\ell}{3g}}.$$

Размерность полученного результата очевидна. Подставляя численные значения величин, входящих в формулу, и произведя вычисления, определяем период колебаний стержня:

$$T = 2\cdot 3{,}14\sqrt{\frac{2\cdot 0{,}3}{3\cdot 9{,}8}} = 0{,}9\,\text{с}.$$

Ответ: T=0,9c.

3. Материальная точка массой 0,01 кг совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид $x=0{,}2\cdot\sin 8\pi t$. Найти возвращающую силу в момент времени t=0,1с.

Решение. Так как материальная точка совершает гармонические колебания, то сила, действующая на нее, является квазиупругой и, следовательно, может быть выражена соотношением:

$$F_в=-kx,$$

где k – коэффициент квазиупругой силы;

$x=0{,}2\cdot\sin 8\pi t$ – смещение колеблющейся точки.

Коэффициент k выразим через круговую или циклическую частоту:

$$k=m\omega^2.$$

Подставив значения x и k в формулу возвращающей силы, будем иметь

$$F_{в=}m\omega^2x=m\omega^2A\cdot\sin\omega t.$$

Проверив размерности левой и правой частей уравнения, подставив численные значения, произведем вычисления:

$$F=0{,}01\cdot 64\cdot 3{,}14^2\cdot 0{,}2\cdot\sin(0{,}8\cdot 3{,}14)= 0{,}75Н.$$

Ответ: F=0,75H.

4. В незатухающей бегущей волне задана точка М, отстоящая от источника колебаний на расстоянии $y=\lambda/12$ в направлении распространения волны. Амплитуда колебаний А=0,050 м. Считая в начальный момент времени смещение точки Р, находящейся в источнике, максимальным, определить смещение от положения равновесия точки М для момента времени t=T/6, а также разность фаз колебаний точек М и Р.

Решение. Смещение точки М можно найти с помощью уравнения бегущей волны

$$x = A \cdot \sin\left[\omega\left(t - \frac{y}{c}\right) + \varphi_0\right],$$

где x – смещение точки от положения равновесия, находящейся на расстоянии y от источника гармонических колебаний;

A – амплитуда колебаний;

ω – циклическая частота;

φ_0 – начальная фаза колебаний.

Используя условие задачи, преобразуем это уравнение так, чтобы в него вошли длина волны λ, и период T колебаний. Учитывая соотношение между периодом колебаний и циклической частотой и равенство $\lambda = cT = \frac{c}{\nu}$, где T – период колебаний, $\nu = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ – частота колебаний, получим

$$x = A \cdot \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{cT}\right) + \varphi_0\right] = A \cdot \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda}\right) + \varphi_0\right]. \qquad (1)$$

Чтобы найти начальную фазу φ_0, воспользуемся начальными условиями задачи: если t=0, y=0, то x=A. При этих значениях t, y, x из уравнения (1) имеем

$$\sin \varphi_0 = 1.$$

Откуда

$$\varphi_0 = \frac{\pi}{2}.$$

Подставив числовые значения величин, A, t/T, y/λ, φ_0 в уравнение (1), получим первый ответ:

$$x = 0{,}050 \cdot \sin\left[2 \cdot 3{,}14\left(\frac{1}{6} - \frac{1}{12}\right) + \frac{3{,}14}{2}\right] = 0{,}044 \text{ м}.$$

Для вычисления разности фаз (φ_M – φ_P) колебаний точек M, P учтем, что для точки P координата y=0. Следовательно, в любой момент t фаза точки P, т.е. аргумент синуса в уравнении (1), равна

$$\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_0\right).$$

Тогда

$$\varphi_M - \varphi_P = \left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda}\right) + \varphi_0\right] - \left[2\pi\frac{t}{T} + \varphi_0\right] = -2\pi\frac{y}{\lambda}. \qquad (2)$$

Подставив в формулу (2) числовые значения, найдем

$$\varphi_M - \varphi_P = -2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{12} = -\frac{\pi}{6}.$$

Знак «минус» в полученном результате указывает на то, что колебания точки М отстают по фазе от колебаний источника на угол $\frac{\pi}{6}$.

$$\varphi_M - \varphi_P = -2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{12} = -\frac{\pi}{6}.$$

Ответ: x=0,044 м; φ_M-φ_P=-π/6.

5. Плоская волна распространяется вдоль прямой со скоростью v=20 м/с. Две точки, находящиеся на этой прямой на расстояниях x_1=12 м и x_2=15 м от источника волн, колеблются с разностью фаз Δφ=0,75π. Найти длину волны λ, написать уравнение волны и найти смещение указанных точек в момент t=1,2 с, если амплитуда колебаний A=0,1 м.

Решение. Точки, находящиеся друг от друга на расстоянии, равном длине волны, λ колеблются с разностью фаз, равной 2π; точки находящиеся на любом расстоянии Δx, колеблются с разностью фаз, равной

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot \Delta x}{\lambda} = \frac{2\pi(x_2 - x_1)}{\lambda}.$$

Решая это равенство относительно λ, получаем

$$\lambda = \frac{2\pi(x_2 - x_1)}{\Delta\varphi}. \qquad (1)$$

Подставив числовые значения величин, входящих в выражение (1), и выполнив арифметические действия, получим

$$\lambda = \frac{2 \cdot 3{,}14(15 - 12)}{0{,}75 \cdot 3{,}14} = 8 \text{ м}.$$

Для того чтобы написать уравнение плоской волны, необходимо найти циклическую частоту ω. Так как ω=2π/T $\left(T = \frac{\lambda}{v}\right)$, то

$$\omega = \frac{2\pi v}{\lambda} = \frac{2\pi \cdot 20}{8} = 5\pi\tilde{n}\ \text{с}^{-1}.$$

Зная амплитуду колебаний A, циклическую частоту ω и скорость v распространения волны, можно написать уравнение плоской волны для данного случая:

$$y = A \cdot \cos\omega\left(t - \frac{x}{v}\right), \qquad (2)$$

где A=0,1 м; ω=5π c^{-1}, v=20 м/с.

Чтобы найти смещение указанных точек, достаточно в уравнение (2) подставить значения t и x:

$$y_1 = 0{,}1 \cdot \cos 5\pi\left(1{,}2 - \frac{12}{20}\right) = -0{,}1 \text{ м};$$

$$y_2 = 0{,}1 \cdot \cos 5\pi\left(1{,}2 - \frac{15}{20}\right) = -0{,}071 \text{ м.}$$

Ответ: $\lambda = 8$ *м; y_1=-0,1 м; y_2=-0,071 м.*

6. Источник звука частотой 18 кГц приближается к неподвижно установленному резонатору, настроенному на акустическую волну λ=1,75 см. Какой скоростью должен обладать источник звука, чтобы возбуждаемые им звуковые волны вызвали колебания резонатора? Температура воздуха 17 ^{0}С.

Решение. Согласно принципу Доплера, частота звука, воспринимаемая наблюдателем, зависит от скорости движения источника звука и скорости движения наблюдателя

$$\nu' = \nu \frac{c + v}{c - u}, \tag{1}$$

где ν – частота звуковых волн, излучаемых источником;

c – скорость звука в данной среде;

u – скорость движения источника звука;

v – скорость движения наблюдателя;

ν' – частота волн, воспринимаемых наблюдателем.

Учитывая, что наблюдатель остается неподвижным, т.е. что v=0, из формулы (1) получим

$$\nu' = \nu \frac{c}{c - u}. \tag{2}$$

Отсюда

$$u = c\left(1 - \frac{\nu}{\nu'}\right). \tag{3}$$

В выражении (3) неизвестны числовые значения скорости звука c и частоты ν'.

Скорость звука в газах зависит от природы газа и от температуры и определяется по формуле

$$c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}}, \tag{4}$$

где $\gamma = \dfrac{C_p}{C_V}$ – отношение молярных теплоемкостей газа;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура газа;

μ – молярная масса газа.

Чтобы волны, приходящие к резонатору, вызвали его колебания, частота воспринимаемых резонатором волн ν' должна совпадать с собственной частотой резонатора $\nu_{рез}$, т.е.

$$\nu' = \nu_{рез} = \frac{c}{\lambda_{рез}}, \qquad (5)$$

где $\lambda_{рез}$ – длина волны собственных колебаний резонатора.

Подставив выражение c из формулы (4) и ν' из формулы (5) в формулу (3), получим

$$u = c\left(1 - \frac{\nu\lambda_{рез}}{c}\right) = c - \nu\lambda_{рез}$$

или

$$u = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} - \nu\lambda_{рез}. \qquad (6)$$

Подставив числовые значения в соотношение (6), будем иметь

$$u = \sqrt{\frac{1{,}4 \cdot 8{,}31 \cdot 290}{29 \cdot 10^{-3}}} - 1{,}8 \cdot 10^4 \cdot 0{,}017 = 36 \text{ м/с.}$$

Ответ: u=36 м/с.

Практическое занятие №4

Физическая кинетика. Явления переноса

Номера задач по: Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. Доп. И перераб. - СПб.: СпецЛит, 2002. 327 с.
5.134, 5.137, 5.138 – 5.140, 5.145, 5.150, 5.15, 5.154, 5.155, 5.157.

Примеры решения задач.

1. В боковую поверхность цилиндрического сосуда радиусом R=2 см вставлен горизонтальный капилляр, внутренний радиус которого r=1 мм и длина ℓ=2 см. В сосуд налито касторовое масло, динамическая вязкость которого η=1,2 Па·с (рис. 1.7). Найти зависимость скорости v понижения уровня касторового масла в сосуде от высоты h этого уровня над капилляром. Найти значение этой скорости при h=26 см.

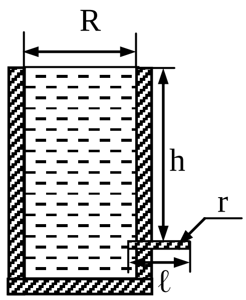

Рис. 1.7

Решение. Скорость понижения уровня касторового масла в сосуде зависит от скорости протекания масла через капилляр.

Объем масла, протекающего за время t через капилляр, определяется формулой Пуазейля

$$V = \pi r^4 t \Delta p / (8\ell\eta),$$

где r – радиус капилляра;

Δp – изменение давления на концах капилляра;

ℓ – длина капилляра;

η – динамическая вязкость жидкости (касторового масла).

Разность давлений на концах капиллярах обусловлена гидростатическим давлением слоя жидкости, т.е.

$$\Delta p=\rho gh.$$

С другой стороны,

$$V=S'v't=\pi r^2v't,$$

где v' – скорость протекания масла через капилляр.

Решая совместно вышенаписанные уравнения относительно v, получим

$$v'=r^2\rho gh/(8\ell\eta).$$

В силу теоремы о неразрывности струи

$$v_1S_1=v_2S_2\ ,$$

где v – скорость понижения уровня масла в сосуде;

S – площадь поперечного сечения сосуда.

Окончательно для скорости понижения уровня масла в сосуде, будем иметь

$$v=r^4\rho gh/8\ell\eta R^2.$$

Подставляя значения величин входящих в полученную формулу в единицах СИ, произведя вычисление, окончательно будем иметь

$$v=(1\cdot10^{-3})^4\cdot0{,}96\cdot10^3\cdot9{,}8\cdot0{,}26/8\cdot2\cdot10^{-2}\cdot1{,}2\cdot2^2=3\cdot10^{-5}\text{ м/с}.$$

Ответ: v=3·10⁻⁵ м/с.

2. К пружинным весам подвешена тонкая металлическая пластина. Нижний ее край длиной L=10,0 см приведен в соприкосновение с поверхностью жидкости, которая полностью смачивает пластину. После этого пластину начинают медленно поднимать. Перед ее отрывом от жидкости поверхность последней принимает сложную форму, изображенную на рисунке 1.8. При этом свободная поверхность жидкости у границы с пластиной располагается приблизительно в вертикальной плоскости. Зная, что для отрыва пластины потребовалась сила $F=0{,}45\cdot10^{-3}$ кгс, определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

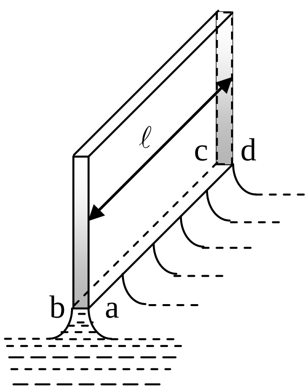

Рис. 1.8

Решение. Чтобы найти коэффициент поверхностного натяжения, нужно, как это следует из формулы б=F/ℓ, необходимо знать силу поверхностного натяжения, действующую на единицу длины какого–либо контура, ограничивающего поверхность жидкости. Таким контуром является линия соприкосновения свободной поверхности жидкости с пластиной, имеющей форму очень узкого прямоугольника. Следовательно, ее длина равна 2L (длиной двух других сторон пренебрегаем).

На пластину вдоль каждой единицы длины этого контура действует со стороны жидкости сила поверхностного натяжения, равная коэффициенту поверхностного натяжения. Векторы этих сил перпендикулярны контуру и являются касательными к свободной поверхности жидкости. Поэтому в условиях данной задачи они направлены вертикально вниз и, следовательно, параллельны друг другу. Поэтому результирующая сила поверхностного натяжения $F_н$, действующая на пластину, также направлена вертикально вниз и равна сумме сил, действующих на отдельные элементы контура, т.е.

$$F=2L\sigma.$$

Для отрыва пластины от жидкости необходимо приложить силу F, направленную вертикально вверх, которая бы уравновесила силу поверхностного натяжения. Следовательно,

$$F_н=F=2L\sigma.$$

Откуда

$$\sigma=F/2L.$$

Выразим входящие в формулу величины в единицах СИ: L=0,100 м, $F=4{,}4\cdot10^{-3}$ Н. Выполнив вычисление, найдем

$$\sigma=4{,}4\cdot10^{-3}/2\cdot0{,}100=22\cdot10^{-3}\ Н/м.$$

Примечание. *Существенно, что в данной задаче пластина была тонкой, так что площадью ее соприкосновения с жидкостью, площадью прямоугольника, можно было пренебречь. В противном случае необходимо учитывать отрицательное давление, создаваемое в жидкости около пластины вследствие кривизны ее поверхности. Тогда соотношение* $F_н=F$ *оказывается неверным. Кроме того, для толстой пластины силы поверхностного натяжения, приложенные к отдельным элементам прямоугольного контура, не будут даже приблизительно параллельны друг другу и поэтому соотношение* $F_н=2L\sigma$ *также перестанет выполняться. Решение задачи в случае толстой пластины становится сложным.*

Ответ: $\sigma=22\cdot10^{-3}$ *Н/м.*

3. Какую работу против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы выдуть мыльный пузырь радиусом 0,05 м? Чему равно избыточное давление внутри пузыря (рис. 1.9)?

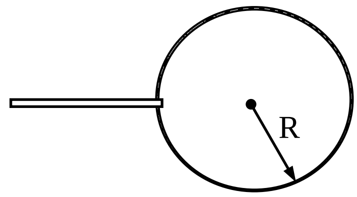

Рис. 1.9

Решение. Мыльный пузырь представляет собой очень тонкую мыльную пленку мыльной воды приблизительно сферической формы. Эта пленка имеет две поверхности – наружную и внутреннюю. Пренебрегая толщиной пленки и считая, поэтому радиусы сфер одинаковыми, их общая площадь будет равна

$$S=8\pi R^2.$$

Поскольку до образования пузыря поверхность мыльной воды, из которой он выдут, была весьма мала, можно считать, что записанное соотношение выражает изменение (увеличение) площади поверхности мыльной воды на ΔS.

Увеличение поверхности жидкости на ΔS связано с увеличениием поверхностной энергии

$$\Delta W=\sigma\Delta S.$$

Совершаемая при выдувании пузыря работа против сил поверхностного натяжения идет на увеличение поверхностной энергии

$$A=\Delta W=8\pi R^2\sigma.$$

Для определения избыточного давления внутри пузыря учтем, что каждая из двух сферических поверхностей пузыря (наружная и внутренняя) производит вследствие своей кривизны давление на воздух внутри пузыря. Это давление, производимое каждой сферой, можно найти по формуле Лапласа, имея в виду, что радиусы кривизны всех нормальных сечений для сферы равны ее радиусу, следовательно, $R_1=R_2=R$. Таким образом, избыточное давление воздуха внутри пузыря

$$\Delta p=2p_{пов}=4\sigma/R.$$

Взяв из таблицы значение для мыльной воды ($\sigma=40\cdot10^{-3}$ Н/м) и выполнив вычисление, получим

$$A=\Delta W=8\cdot3{,}14\cdot(0{,}05)^2\cdot40\cdot10^{-3}=2{,}5\cdot10^{-3}\ \text{Дж}.$$

$$\Delta p=4\cdot40\cdot10^{-3}/0{,}05=3{,}2\ \text{Па}.$$

Ответ: $A=2{,}5\cdot10^{-3}$ *Дж=2,5 мДж;* $\Delta p=3{,}2$ *Па.*

8. Найти плотность масла в гидравлической системе пресса при давлении $500\cdot10^5$ Па, если плотность его при 20 ^oC и давлении $1{,}013\cdot10^5$ Па равна 910 кг/м^3, а коэффициент сжатия равен $6\cdot10^{-10}$м^2/Н.

Решение. По определению, коэффициент сжатия

$$K=-dV/V\cdot dp,$$

где dV – изменение объема;
V – первоначальный объем;
dp – изменение давления.

Разделяя переменные имеем

$$-dV/V=K\cdot dp.$$

Проинтегрируем это выражение в заданных пределах:

$$-\int_{V_Н}^{V_К} dV/V=\int_{P_Н}^{P_К} K\cdot dp.$$

Получаем

$$\mathrm{Ln}(V_к/V_н)=-K\Delta p;\quad \text{или}\quad V_к=V_н\exp(-K\Delta p)\approx V_н(1-K\Delta p).$$

Так как плотность $\rho=m/V$, то

$$m/V_к=m/V_н(1-K\Delta p),$$

т.е.

$$\rho_к=\rho_н/(1-K\Delta p).$$

Подставляя значения величин входящих в полученную формулу в единицах СИ, произведя вычисление, окончательно будем иметь

$$\rho_к=910/(1-6\cdot10^{-10}\cdot499\cdot10^5)=938 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: $\rho_к=938$ *кг/м*^{3}.

Практическое занятие №5

Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов. Уравнение состояния идеального газа. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана

Номера задач по: Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. Доп. И перераб. - СПб.: СпецЛит, 2002. 327 с.

5.1, 5.5, 5.6, 5.8, 5.20, 5.27, 5.32, 5.45, 5.55, 5.58, 5.59, 5.60, 5.116, 5.118.

Примеры решения задач.

1. Определить молярную массу смеси $\mu_{см}$ кислорода массой m_1=25 г и азота массой m_2=75 г.

Решение. Молярная масса $\mu_{см}$ смеси, это отношение массы смеси $m_{см}$ к количеству вещества $\nu_{см}$ смеси:

$$\mu_{см}=m_{см}/\nu_{см}.$$

Масса смеси равна сумме масс компонентов смеси:

$$m_{см}=m_1+m_2.$$

Количество вещества смеси равно сумме количеств вещества компонентов

$$\nu_{см}=\nu_1+\nu_2=\frac{m_1}{\mu_2}+\frac{m_2}{\mu_2}.$$

Подставив выражения $m_{см}$ и $\nu_{см}$ в ранее записанную формулу для молярной массы получим

$$\mu_{см}=\frac{(m_1+m_2)}{\frac{m_1}{\mu_1}+\frac{m_2}{\mu_2}}.$$

где $\mu_1=32\cdot10^{-3}$ кг/моль, $\mu_2=28\cdot10^{-3}$ кг/моль.

Подставив значение величин и произведя вычисление, будем иметь $\mu_{см}=28{,}9.10^{-3}$ кг/моль.

Ответ: $\mu_{см}=28{,}9\cdot10^{-3}$ *кг/моль.*

2. В баллоне объемом 10 л находится гелий под давлением p_1=1 МПа и при температуре Т=300 К. После того как из баллона было взято m=10 г гелия, температура газа понизилась до Т=290 К. Определить давление гелия оставшегося в баллоне.

Решение. Для решения задачи воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона, применив его дважды к начальному и конечному состояниям газа:

$$p_1V = \frac{m_1}{\mu}RT_1;$$

$$p_2V = \frac{m_2}{\mu}RT_2,$$

где m_1, m_2 – масса гелия в баллоне в начальном и конечном состояниях;
μ – молярная масса гелия;
R – универсальная газовая постоянная;
T_1 и T_2 – температуры газа в начальном и конечном состояниях.

Массы m_1 и m_2 гелия найдем из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$m_1=p_1\mu V/RT_1,$$

$$m_2=\mu p_2V/RT_2.$$

Тогда масса гелия оставшегося в баллоне будет равна

$$m = m_1 - m_2 = \frac{\mu p_1 V}{RT_1} - \frac{\mu p_2 V}{RT_2}.$$

Для давления (р) гелия, оставшегося в баллоне, будем иметь:

$$p = \left(\frac{\mu p_1 V}{RT_1} - m\right)\frac{RT_2}{\mu V}$$

или

$$p = \frac{T_2}{T_1}p_1 - \frac{mRT_2}{\mu V}.$$

Численно

$$p = \left(\frac{290}{300}\cdot 10^6 - \frac{10^{-2}\cdot 8{,}31}{4\cdot 10^{-3}\cdot 10^{-2}}\cdot 290\right)\cdot 3{,}64\cdot 10^5 = 0{,}364\ \text{МПа}.$$

Ответ: р=0,364 МПа.

3. Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре Т=350 К, а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул кислорода массой 4 г.

Решение. Согласно теореме о равномерном распределении энергии по степеням свободы, на каждую степень свободы приходится энергия:

$$< W_к > = \frac{i}{2}kT,$$

где k – постоянная Больцмана;
Т – абсолютная температура.

Молекула кислорода двухатомная, поведение такой молекулы описывается 5-ю степенями свободы (три из них приписываются поступательному движению и две – вращательному).

Следовательно, кинетическая энергия вращательного движения молекулы кислорода может быть рассчитана по формуле:

$$<W_{вр}>=2\cdot<W_{к}>=2\cdot(1/2)\ kT=kT.$$

Энергия вращательного движения всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода, может быть определена как произведение числа молекул N на энергию одной молекулы:

$$W_{к}=N<W_{вр}>=NkT.$$

Число молекул определяется соотношением:

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

где μ– молекулярная масса кислорода;

m – его масса;

N_A – число Авогадро.

Таким образом:

$$<W_{к}>=\frac{m}{\mu}N_A kT.$$

Подставив численные значения, предварительно выразив их в системе СИ, будем иметь:

$$<W_{вр}>=1{,}38\cdot10^{-23}\cdot350=4{,}83\cdot10^{-21}\text{ Дж}.$$

$$W_{к}=6{,}02\cdot10^{23}\frac{4\cdot10^{-3}}{32\cdot10^{-3}}\cdot4{,}83\cdot10^{21}\text{Дж}=364\text{ Дж}.$$

Ответ: $W_{к}=364$ *Дж.*

4. В сосуде находится количество $\nu=10^{-7}$ моль кислорода и масса $m_2=10^{-6}$ г азота. Температура смеси 100 ^{o}C, давление в сосуде p=133 мПа. Найти объем сосуда, парциальные давления кислорода и азота и число молекул в единице объема.

Решение. Для решения задачи воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона, записанным для смеси газов в виде

$$pV=\frac{m}{\mu_{см}}RT=\nu_{см}RT,$$

где $\nu_{см}=\nu_1+\nu_1=(\nu_1+m_2/\mu_2)$ – число молей или киломолей газов составляющих смесь.

Имеем

$$pV=(\nu_1+m_2/\mu_2)RT.$$

Отсюда

$$V=(\nu_1+m_2/\mu_2)(RT/p).$$

Парциальные давления компонентов образующих смесь определяем так же из уравнения Менделеева-Клапейрона, записанным для каждого из газов

$$p_1V=\nu_1RT \quad \text{и} \quad p_2V=(m_2/\mu_2)RT.$$

Откуда для парциальных давлений кислорода и азота соответственно имеем

$$p_1=\nu_1RT/V \quad \text{и} \quad p_2=m_2RT/\mu_2V.$$

Для определения числа молекул в единице объема необходимо воспользоваться основным уравнением молекулярно – кинетической теории для давления

$$p=n_okT.$$

Из него

$$n_o=p/kT.$$

Подставляя в ранее полученные формулы ы системе СИ для объема, парциальных давлений кислорода и азота и числа молекул в единице объема, имеем:

$$V=\left(10^{-7}+\frac{10^{-6}}{28\cdot 10^{-3}}\right)\cdot\frac{8{,}31\cdot 373}{133\cdot 10^{-3}}=3{,}2\cdot 10^{-3}\ \text{м}^3;$$

$$p_1=10^{-7}\cdot\frac{8{,}31\cdot 373}{3{,}2\cdot 10^{-3}}=98\ \text{мПа};$$

$$p_2=\frac{10^{-9}8{,}31\cdot 373}{28\cdot 10^{-3}\cdot 3{,}2\cdot 10^{-3}}=35\ \text{мПа};$$

$$n=\frac{133\cdot 10^{-3}}{1{,}38\cdot 10^{-23}\cdot 373}=2{,}6\cdot 10^{19}\ \text{м}^{-3}.$$

Ответ: $V=3{,}2\cdot 10^{-3}$ *м*^{3}; $p_1=98$ *мПа*; $p_2=35$ *мПа*; $n=2{,}6\cdot 10^{19}$ *м*$^{-3}$.

5. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном давлении и при постоянном объеме неона и водорода, принимая газы за идеальные.

Решение. Между молярными и удельными теплоемкостями идеального газа при постоянном давлении и при постоянном объеме существует связь:

$$C_p=\mu c_p \quad \text{и} \quad Cv=\mu c_v,$$

где $C_p=\frac{i+2}{2}R$, а $C_V=\frac{i}{2}R.$

Таким образом, для удельных теплоемкостей имеем

$$c_p=\frac{i+2}{2}\frac{R}{\mu}, \quad \text{а} \quad c_V=\frac{i}{2\mu}R.$$

Зная, что неон одноатомный газ, то для него число степеней свободы $i=3$, $m=20\cdot 10^{-3}$ кг/моль, а водород двухатомный газ для него число степеней свободы i=5, $\mu=27\cdot10^{-3}$ кг/моль. Подставляя в каждую из выше записанных формул значения числп степеней свободы и значение универсальной газовой постоянной, вычисляем удельные теплоемкости для:

1) неона

$$c_p = \frac{3+2}{2}\frac{8{,}31}{20\cdot10^{-3}} = 1{,}04\cdot10^3\,\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$c_V = \frac{3}{2}\frac{8{,}31}{20\cdot10^{-3}} = 6{,}24\cdot10^2\,\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

2) водорода

$$c_p = \frac{5+2}{2}\frac{8{,}31}{2\cdot10^{-3}} = 1{,}46\cdot10^4\,\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К});$$

$$c_V = \frac{5}{2}\frac{8{,}31}{2\cdot10^{-3}} = 1{,}04\cdot10^4\,\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К}).$$

Ответ: 1) $c_p = 1{,}04\cdot10^3\,\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $c_V = 6{,}24\cdot10^2\,\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

2) $c_p = 1{,}46\cdot10^4\,\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$*;* $c_V = 1{,}04\cdot10^4\,\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$.

Практическое занятие №6

Термодинамика изопроцессов и циклов

Номера задач по: Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. Доп. И перераб. - СПб.: СпецЛит, 2002. 327 с.
5.66, 5.68, 5.69, 5.79 – 5.81, 5.89, 5.160 – 5.162, 5.175, 5.178, 5.186, 5.190, 5.194, 5.198, 5.199, 5.216, 5.219, 5.226, 5.228.

Примеры решения задач.

1. Нагреватель тепловой машины, работающий по обратимому циклу Карно, имеет температуру t_1=200 ^{o}C. Определить температуру T_2 охладителя, если при получении от нагревателя количества теплоты Q_1=1 Дж машина совершает работу A=0,4 Дж. Потери на трение и теплоотдачу не учитывать.

Решение. Температуру охладителя найдем, воспользовавшись выражением для термического КПД машины, работающей по циклу Карно:

$$\eta=(T_1-T_2)/T_1.$$

Отсюда

$$T_2=T_1(1-\eta).$$

Термический КПД тепловой машины выражает отношение количества теплоты, которое превращено в механическую работу A, к количеству теплоты Q_1, которое получено рабочим телом тепловой машины из внешней среды (от нагревателя):

$$\eta=A/Q_1.$$

Подставив это выражение, найдем

$$T_2=T_1(1-A/Q_1).$$

Учтя, что T_1=473 К, после вычисления будем иметь

$$T_2=473(1-0{,}4/1)=284\ К.$$

Ответ: T_2=284 К.

2. Найти изменение энтропии при нагревании воды массой m=100 г от температуры t_1=0 °С до температуры t_2=100 °С и последующем превращении воды в пар той же температуры.

Решение. Полное изменение энтропии в данном случае равно сумме изменения энтропии при нагревании воды и изменения энтропии системы при ее превращении в пар

$$\Delta S=\Delta S'+\Delta S''.$$

Найдем изменение энтропии при нагревании воды. Как известно, изменение энтропии выражается общей формулой

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \delta Q / T.$$

При бесконечно малом изменении температуры dT нагреваемого тела затрачивается количество теплоты

$$\delta Q=mc\cdot dT,$$

где m – масса тела;

c – его удельная теплоемкость.

Подставив выражение δQ для изменения энтропии при нагревании воды, будем иметь

$$\Delta S' = \int_{T_2}^{T_1} mc \cdot dT / T.$$

После интегрирования получим

$$\Delta S=mc\cdot\ln(T_2/T_1).$$

Изменение энтропии во время превращения воды в пар при постоянной температуре

$$\Delta S'' = \frac{1}{T}\int_2^1 \delta Q = Q / T.$$

где Q – количество теплоты, переданное при превращении нагретой воды в пар той же температуры.

Подставив выражение количества теплоты $Q=\lambda m$, где λ – удельная теплота парообразования, получим

$$\Delta S''=\lambda m/T.$$

Таким образом, искомое полное изменения энтропии будет равно

$$\Delta S=mc\cdot\ln(T_2/T_1)+\lambda m/T.$$

Подставив численные значения величин в единицах системы СИ, произведем вычисление

$$\Delta S=100\cdot10^{-3}\cdot4{,}19\cdot10^{3}\cdot\ln(373/273)+2{,}26\cdot10^{6}\cdot100\cdot10^{-3}/373=736\ \text{Дж/К}.$$

Ответ: $\Delta S=736$ Дж/К.

Практическое занятие №7

Электрическое поле в вакууме и его характеристики. Закон Кулона. Принцип суперпозиции электрических полей. Расчет напряженности и потенциалов электростатических полей. Теорема Гаусса. Проводники в электрическом поле. Конденсаторы и их емкость. Энергия электрического поля

Номера задач по: Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. Доп. И перераб. - СПб.: СпецЛит, 2002. 327 с.

9.1, 9.9, 9.11, 9.14, 9.19, 9.21, 9.24, 9.26, 9.30, 9.34, 9.38, 9.42, 9.45, 9.49, 9.52, 9.53, 9.66, 9.76, 9.84, 9.87, 9.90, 9.98, 9.102, 9.108, 9.111, 9.115, 9.118, 9.119, 9.124, 9.128.

Примеры решения задач.

1. Два точечных электрических заряда $q_1=10^{-9}$ Кл и $q_2=-2710^{-9}$ Кл находятся в воздухе на расстоянии d=10 см друг от друга. Определить напряженность и потенциал поля, создаваемого этими зарядами, если расстояния от первого и второго зарядов до рассматриваемой точки поля, соответственно равны: $r_1=9$ см и $r_2=7$ см.

Решение. Результирующая напряженность **E** в рассматриваемой точке равна сумме напряженностей двух полей, создаваемых зарядами q_1 и q_2, т.е.

$$\mathbf{E}=\mathbf{E}_1+\mathbf{E}_2, \qquad (1)$$

где $\mathbf{E}_1$-напряженность поля заряда q_1;

$\mathbf{E}_2$-напряженность поля заряда q_2.

Вектор $\mathbf{E}_1$ направлен от заряда q_1, так как этот заряд положительный, вектор $\mathbf{E}_2$ направлен в сторону заряда q_2, так как этот заряд отрицательный. Результирующий вектор **E** совпадает по величине и направлению с диагональю параллелограмма, построенного на слагаемых векторах. Абсолютное значение этого вектора найдем из соотношения

$$E=\sqrt{E_1^{\,2}+E_2^{\,2}-2E_1E_2\cos\alpha}\,. \qquad (2)$$

Абсолютную величину напряженностей E_1 и E_2, а так же $\cos\alpha$ определим по формулам:

$$E=\frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2};\ E_1=1{,}11\cdot10^{3}(\text{В/м});\ E_2=3{,}68\cdot10^{3}(\text{В/м});$$

$$\cos\alpha = \frac{r_1 + r_2 - d^2}{2r_1r_2} = 0{,}238.$$

Подставив эти значения в формулу (2) для напряженности результирующего электрического поля, будем иметь:

$$E=3{,}58\cdot10^3 \text{ (В/м)}.$$

Потенциал φ результирующего поля, созданного двумя зарядами q_1 и q_2, равен алгебраической сумме потенциалов, т.е.

$$\boldsymbol{\varphi= \varphi_1+\varphi_2.} \qquad \textbf{(3)}$$

Потенциал φ_1 является положительным, так как поле создано положительным зарядом q_1; потенциал φ_2 является отрицательным, так как поле создано отрицательным зарядом q_2.

Численное значение потенциала поля, созданного точечным зарядом, определяется по формуле

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}. \qquad (4)$$

Тогда для численных значений φ_1 и φ_2, будем иметь:

$$\varphi_1=100 \text{ (В)}; \ \varphi_2=129 \text{ (В)}.$$

Подставив в выражение (3) значения потенциалов φ_1 и φ_2 с учетом их знаков, получим:

$$\varphi=-29 \text{ (В)}.$$

2. Два коаксиальных диска радиусов R_1=10 см, R_2=5 см расположены на расстоянии d=2,4 мм друг от друга. Диски заряжены равномерно с поверхностной плотностью, равной σ=20 мкКл/м^2. Определить силу электрического взаимодействия дисков.

Решение. Найдя площадь дисков и зная поверхностную плотность их заряда, по формуле $\sigma=\Delta q/\Delta S$ можно определить заряды дисков. Однако вычислять силу взаимодействия между дисками по закону Кулона нельзя, так как он справедлив только для точечных зарядов. По закону Кулона можно было бы найти силу взаимодействия двух бесконечно малых элементов дисков, а затем, суммируя эти силы по обеим плоскостям (т.е. производя двойное интегрирование), определить результирующую силу взаимодействия дисков. Этот метод представляет собой довольно трудную задачу.

В данном случае каждый из заряженных дисков находится в электрическом поле заряда другого диска. При этом напряженность электрического поля заряженного диска радиуса R_1 в тех точках, где расположен второй диск, можно вычислить, не прибегая к интегрированию. Действительно, все точки диска R_2 находятся "близко" от диска R_1 и "далеко" от его краев. Это означает, что диск R_1 можно рассматривать как бесконечную равномерно заряженную плоскость, напряженность электрического поля которой определяется формулой

$$E=\sigma/2\varepsilon_0.$$

Заряд диска, радиус которого R_2, равен

$$q_2=\sigma S_2=pR_2^2\sigma. \quad (1)$$

$$F=q_2E=\pi R_2^2\sigma\cdot\sigma/2\varepsilon_0=\pi R_2^2\sigma^2/2\varepsilon_0. \quad (2)$$

Выразив в единицах системы СИ входящие в формулу величины, произведя вычисления, получим

$$F=0{,}18\ (H).$$

3. Рассчитать напряженность электрического поля, созданного бесконечно длинным, равномерно заряженным стержнем в точке, находящейся на кратчайшем расстоянии r от его оси. Линейная плотность заряда на стержне – τ.

Решение. Для решения задачи воспользуемся теоремой Остроградского-Гаусса. С этой целью вокруг стержня проведем замкнутую, в рассматриваемом случае удобнее, цилиндрическую поверхность конечной длины (гауссову поверхность), на боковой поверхности которой находится точка А. Линии вектора **E** перпендикулярны оси стержня и боковой поверхности цилиндра.

Поток вектора напряженности электрического поля через поверхность

$$\Phi=\oint_S E_n dS=2\Phi_0+\Phi_\sigma, \quad (1)$$

где $\Phi_0=0$, т.к. $E_n= E\cos\alpha=0$, следовательно,

$$\oint_S E_n dS=\Phi_\sigma. \quad (2)$$

$$\Phi_\sigma=ES=2\pi rlE. \quad (3)$$

На основании теоремы Остроградского-Гаусса

$$\oint_S E_n dS=\frac{\sum q_i}{\varepsilon_0}=\frac{1}{\varepsilon_0}\tau l, \quad (4)$$

тогда

$$2\pi rl=\frac{1}{\varepsilon_0}\tau l, \quad (5)$$

отсюда

$$E=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0 r}. \quad (6)$$

Формула (6) справедлива не только для электрического поля заряженного стержня, но и для полей заряженных проводников, цилиндров, 2-х коаксиальных цилиндрических поверхностей, заряженных с одинаковой по величине линейной плотностью τ.

4. Рассчитать напряженность электрического поля бесконечно протяженной однородно заряженной плоскости, заряд на которой равномерно распределен с поверхностной плотностью σ.

Решение. В данном случае линии вектора напряженности электрического поля перпендикулярны плоскости, поле однородное.

Для расчета напряженности электрического поля воспользуемся теоремой Остроградского-Гаусса. С этой целью выделим на плоскости некоторую площадку ΔS, построим замкнутую цилиндрическую поверхность, образующие которой параллельны линиям вектора E. На одном из оснований этой поверхности находится рассматриваемая точка, в которой определяется напряженность электрического поля.

Поток вектора напряженности электрического поля через построенную замкнутую цилиндрическую поверхность равен потоку E_σ через боковую поверхность и потокам E_o через два основания:

$$\Phi = \Phi_\sigma + 2\Phi_0. \tag{1}$$

Так как поток вектора E_σ через боковую поверхность равен нулю (линии вектора E не пересекают боковую поверхность), то полный поток E равен:

$$\Phi = 2\Phi_0, \tag{2}$$

т.е.

$$\oint_S E_n dS = 2\Phi_0, \tag{3}$$

где

$$\Phi_0 = E\,\Delta S. \tag{4}$$

$$\oint E\ dS = \frac{\sum q_i}{\varepsilon_0}, \tag{5}$$

$$\sum_i q_i = \sigma\Delta S. \tag{6}$$

следовательно, имеем

$$2E\Delta S = \sigma\Delta S\frac{1}{\varepsilon_0}. \tag{7}$$

откуда

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}. \tag{8}$$

5. Определить ускоряющую разность потенциалов U, которую должен пройти в электрическом поле электрон, обладающий скоростью $v_1=10^6$ м/с, чтобы скорость его возросла в n=2 раза.

Решение. Ускоряющую разность потенциалов можно найти, вычислив работу A сил электростатического поля. Эта работа определяется произведением заряда электрона e на разность потенциалов U:

$$A = eU. \tag{1}$$

Работа сил электростатического поля в данном случае равна изменению кинетической энергии электрона:

$$A = T_2 - T_1 = \frac{m(v_2)^2}{2} - \frac{m(v_1)^2}{2}, \tag{2}$$

где T_1 и T_2 – кинетические энергии электрона до и после прохождения ускоряющего поля;

m-масса электрона;

v_1 и v_2 – начальная и конечная его скорости.

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

$$eU = \frac{m(v_2)^2}{2} - \frac{m(v_1)^2}{2},$$

или

$$eU = \frac{m(nv_1)^2}{2} - \frac{m(v_1)^2}{2},$$

где $n=v_2/v_1$.

Отсюда искомая разность потенциалов

$$U = \frac{m{v_1}^2}{2e}(n^2 - 1). \qquad (3)$$

Подставив численные значения физических величин и выполнив вычисления, будем иметь:

U=8,53 (В).

6. На пластинах плоского конденсатора находится заряд Q=10 нКл. Площадь S каждой пластины конденсатора равна 100 см^2, диэлектрик-воздух. Определить силу F, с которой притягиваются пластины. Поле между пластинами считать однородным.

Решение. Заряд Q одной пластины находится в поле напряженностью E_1, созданном зарядом другой пластины конденсатора. Следовательно, на первый заряд действует сила

$$F=QE_1. \qquad (1)$$

Так как

$$E_1 = \frac{б}{2\varepsilon_0} = \frac{Q}{2\varepsilon_0 S}, \qquad (2)$$

где σ-поверхностная плотность заряда пластины.

Формула (1) с учетом выражения (2) примет вид

$$E_1 = \frac{Q^2}{2\varepsilon_0 S}, \qquad (3)$$

Подставив численные значения величин в формулу (3), получим

$F=5,65\cdot 10^{-4}$ (Н)=565 (мкН).

Практическое занятие №8,9

Постоянный электрический ток. Законы постоянного тока. Расчет электрических цепей постоянного тока. Правила Кирхгофа

Номера задач по: Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. Изд. Доп. И перераб. - СПб.: СпецЛит, 2002. 327 с.

10.1, 10.8, 10.10, 10.12, 10.14, 10.15, 10.17, 10.31 - 10.33, 10.35, 10.40, 10.42, 10.46, 10.48, 10.54,10.65, 10.76, 10.77, 10.79, 10.87, 10.88.

Примеры решения задач.

1. Потенциометр с сопротивлением 100 Ом подключен к батареи с ЭДС 150 В и внутренним сопротивлением 50 Ом. Определить показания вольтметра с сопротивлением 500 Ом, соединенного с одной из клемм потенциометра и подвижным контактом, установленным посередине потенциометра. Какова разность потенциалов между теми же точками потенциометра при отключенном вольтметре?

Решение. Показание U_1 вольтметра, подключенного таким образом, определяется по формуле:

$$U_1=I_1r_1, \qquad (1)$$

где I_1-сила тока в неразветвленной части цепи;

r_1-сопротивление параллельно соединенных участков – вольтметра и половины потенциометра.

Силу тока I_1 найдем по закону Ома для всей цепи:

$$I_1 = \frac{E}{r_e + r_i}, \qquad (2)$$

где r_e-сопротивление внешней цепи;

r_i-сопротивление источника тока;

E-ЭДС источника тока.

Внешнее сопротивление r_e есть сумма двух сопротивлений

$$r_e=r/2+r_1, \qquad (3)$$

где r-сопротивление потенциометра;

r_1-сопротивление параллельного соединения, которое может быть найдено по формуле:

$$r_1=(r\cdot r_B)/(r+2r_B).$$

Подставив числовые значения, найдем:

$$r_1=45,5 \text{ (Ом)}.$$

Теперь определим силу тока, подставив выражение r_e из (3) в (2), и произведем вычисления:

$$I_1 = \frac{E}{r/2 + r_1 + r_i} = 1{,}03(\text{A}).$$

Если подставить значения I_1 и r_1 в формулу (1), то показания вольтметра:

$$U_1=46,9 \text{ (В)}.$$

Разность потенциалов между теми же точками при отключенном вольтметре равна произведению силы тока I2 на половину сопротивления потенциометра, т.е.

$U_2=I_2\cdot(r/2)$, или

$$U_2 = \frac{E}{r + r_i} \cdot (r/2)$$

Подставив в полученное соотношение числовые значения, получим:

$$U_2=50\ (В).$$

2 . Определить плотность тока в медной проволоке длиной ℓ=10 м, если разность потенциалов на ее концах φ_1-φ_2=12 В.

Решение. Плотность тока, определяемую формулой j=di/dS, найдем, выразив силу тока по закону Ома для участка однородной цепи $I=(\varphi_1-\varphi_2)/R$. Тогда с учетом $R=\rho\ell/S$ получим

$$I=(\varphi_1-\varphi_2)S/(\rho\ell).$$

Отсюда плотность тока

$$j=di/dS=(\varphi_1-\varphi_2)/(\rho\ell). \qquad (1)$$

К такому же выводу можно прийти, применив закон Ома в дифференциальной форме $j=\gamma E$, предварительно выразив напряженность электрического поля внутри проводника через разность потенциалов на концах проводника и его длину:

$$E=(\varphi_1-\varphi_2)/\ell.$$

С учетом $\rho=1/\gamma$,будем иметь:

$$j=(\varphi_1-\varphi_2)/(\rho\ell).$$

Выбрав из справочных таблиц значение удельного сопротивления меди и выполнив вычисление, найдем

$$j=7\cdot10^7\ (А/м).$$

3. Электрическая цепь состоит из двух гальванических элементов, трех сопротивлений и гальванометра. В этой цепи r_1=100 Ом, r_2=50 Ом , r_3=20 Ом, E_1=2 В.

Гальванометр регистрирует ток I_3=50 мА, идущий в направлении, указанном стрелкой. Определить ЭДС второго элемента. Сопротивлением гальванометра и внутренними сопротивлениями элементов пренебречь.

Решение. Выберем направления токов, как они указаны на рисунке, и условимся обходить контуры по часовой стрелке.

По первому закону Кирхгофа для узла F имеем:

$$I_1-I_2-I_3=0. \qquad (1)$$

По второму закону Кирхгофа имеем: для контура ABCDF:

$$-I_1r_1-I_2r_2=-E_1,$$

или после умножения обеих частей равенства на (-1):

$$I_1r_1+I_2r_2=E_1; \qquad (2)$$

для контура AFGHA:

$$I_1r_1+I_3r_3=E_2. \qquad (3)$$

После подстановки известных числовых значений в формулы (1), (2) и (3), получим:

$$I_1-I_2-0{,}05=0,$$
$$50I_1+25I_2=1,$$
$$100I_1+0{,}05\cdot20=E_2.$$

Перенеся в этих уравнениях неизвестные величины в левые части, а известные – в правые, будем иметь систему уравнений:

$$I_1-I_2=0,05,$$
$$50I_1+25I_2=1,$$
$$100I_1-E_2=-1.$$

Эту систему уравнений с тремя неизвестными можно решить обычными приемами алгебры, либо методами определителей.

Решая систему уравнений, будем иметь

$$E_2=4\ (В).$$

Рекомендуемый список литературы

1. Савельев И.В. Курс физики [текст]:учебное пособие: в 3 т. Т. 1: Механика. Молекулярная физика. – СПб.: Лань, 2011. – 432 с.
2. Савельев И.В. Курс физики [текст]: учебное пособие: в 3 т. Т. 2: Электричество. Колебания и волны. Волновая оптика. – СПб.: Лань, 2011. – 496 с.
3. Волькенштейн В. С. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] / В. С. Волькенштейн. - Изд., доп. и перераб. - СПб. : СпецЛит, 2002. - 327 с.
4. Полунин, В. М. Физика. Физические основы механики [Текст]: конспект лекций /В. М. Полунин, Г. Т. Сычёв; Курск. гос. техн. ун-т. –Курск: КурскГТУ 2002. 180 с.
5. Музычка, А. Ю. Механика и электромагнетизм: тексты лекций по общей физике [Электронный ресурс]: лекции / А. Ю. Музычка. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 280 с. : ил. - (Высшая школа). - ISBN 978-5-4458-9569-5. – Режим доступа: htt//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=256579
6. Прокудин, Д. А. Уравнения математической физики [Электронный ресурс]: учебное пособие / Д. А. Прокудин, Т. В. Глухарева, И. В. Казаченко; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет». - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. - 163 с. - Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-8353-1631-1. -Режим доступа:htt//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278923