

ПРИМЕРНЫЕ ЗАДАНИЯ

Областной олимпиады обучающихся учреждений профессионального образования Кемеровской области по дисциплине

Физика

Электричество

Задача 1. Между клеммами А и В включены конденсаторы емкостями 2 и 1 мкФ (см рис. 1). Вычислить емкость системы.

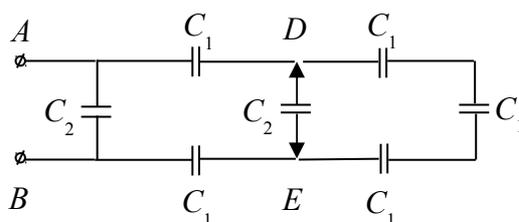


Рис.1

Решение: Рассмотрим отдельно участок цепи между точками D и E (правая часть рис. 1).

Он состоит из двух параллельных ветвей, в одну из которых включен конденсатор емкостью C_2 , а в другую — последовательно три конденсатора емкостями C_1 .

Тогда емкость этого участка $C_{DE} = C_2 + C'$, где C' находим из условия $1/C' = 1/C_1 + 1/C_1 + 1/C_1 = 3/C_1$,

откуда $C' = C_1/3$.

Тогда $C_{DE} = C_2 + C_1/3 = (3C_2 + C_1)/3$ (1). Заменяем участок цепи между точками D и E эквивалентной ему емкостью C_{DE} . Теперь искомая емкость C равна сумме емкостей двух параллельных ветвей, в одну из которых включен конденсатор емкостью C_2 , а в другую — последовательно три конденсатора емкостями C_1 , C_{DE} и C_1 . Тогда $C = C_2 + C''$, где C'' находим из условия

$$\frac{1}{C''} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_{DE}} + \frac{1}{C_1} = \frac{2}{C_1} + \frac{1}{C_{DE}} \quad (2).$$

Преобразуем выражение (2) с помощью уравнения (1):

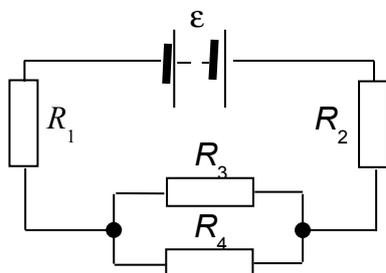
$$\frac{1}{C''} = \frac{2}{C_1} + \frac{3}{3C_2 + C_1} = \frac{6C_2 + 5C_1}{C_1(3C_2 + C_1)}, \text{ откуда } C'' = \frac{C_1(3C_2 + C_1)}{6C_2 + 5C_1}.$$

Следовательно, полная емкость всей системы $C = C_2 + \frac{C_1(3C_2 + C_1)}{6C_2 + 5C_1} = 1,62$ мкФ.

Ответ: $C = C_2 + \frac{C_1(3C_2 + C_1)}{6C_2 + 5C_1} = 1,62$ мкФ.

Задача 2. ЭДС батареи 3 В, ее внутреннее сопротивление 1 Ом, сопротивления резисторов: $R_1 = R_2 = 1,75$ Ом, $R_3 = 2$ Ом, $R_4 = 6$ Ом. Какова сила тока в резисторе R_4 ?

Дано: $\varepsilon = 3$ В; $r = 1$ Ом; $R_1 = R_2 = 1,75$ Ом; $R_3 = 2$ Ом; $R_4 = 6$ Ом.



Решение. Согласно закону Ома для замкнутой цепи: $I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{общ}} + r}$. Поскольку R_1 и R_2

соединены последовательно с разветвлением, имеем $R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + R_{\text{экв}}$,

где $R_{\text{экв}} = \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}$. Подставив числовые значения, получаем $R_{\text{экв}} = 1,5$ Ом, $R_{\text{общ}} = 5$

Ом, $I = 0,5$ А. Сумма токов, текущих через сопротивления R_3, R_4 равна току I .

Согласно закону Ома для однородного участка цепи $U_{34} = IR_{34} = 0,75$ В. Поскольку сопротивления R_3 и R_4 соединены параллельно, то $U_{34} = U_3 = U_4$. Получим $I_4 = U_4/R_4 = 0,125$ А.

Ответ: $I_4 = 0,125$ А.

Механика

Задача 3. Во сколько раз нужно увеличить скорость брошенного вверх тела, чтобы высота подъема увеличилась в 4 раза?

Дано: $h_{\text{max2}}/h_{\text{max1}} = 4$.

Решение: Направим ось Y вертикально вверх, начало оси O выберем на поверхности земли (рис. 3.). Тогда уравнение движения тела и формула скорости

$y = v_0 t - gt^2/2$, (1)

$v = v_0 - gt$. (2).

Рис.3.

В наивысшей точке A подъема тела $t = t_{\text{под}}$, $y = h_{\text{max}}$, $v = 0$. Запишем уравнение (2)

для точки А: $0 = v_0 - gt_{\text{под}}$, откуда $t_{\text{под}} = v_0/g$ (3).

Подставим (3) в (1), получим $h_{\text{max}} = v_0^2/2g$. (4)

Следовательно, $\frac{h_{\text{max}2}}{h_{\text{max}1}} = \frac{v_{02}^2}{v_{01}^2}$. Откуда $\frac{v_{02}^2}{v_{01}^2} = 4$, значит $\frac{v_{02}}{v_{01}} = 2$.

Ответ: в 2 раза.

Задача 4. Лифт движется вертикально вверх с ускорением $0,5 \text{ м/сек}^2$. С какой силой давит человек массой 70 кг на дно лифта? С какой силой он будет давить на дно лифта, если лифт будет двигаться вертикально вниз с тем же ускорением?

Дано: $a = 0,5 \text{ м/с}^2$, $m = 70 \text{ кг}$.

Решение. Если лифт движется вертикально вверх, то на человека, находящегося в

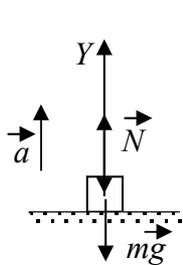


Рис. 4.

кабине лифта, действуют: сила тяжести $m\vec{g}$ и \vec{N} - сила реакции пола кабины (рис. 3). Ускорение движения направлено вертикально вверх.

Запишем для человека второй закон Ньютона:

$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a} \quad (1)$$

Проведем ось Y в направлении движения лифта и, находя проекции ускорения и сил на ось Y , получим

$$N - mg = ma, \quad (2)$$

откуда

$$N = mg + ma = m(g + a); \quad N = 70(9,8 + 0,5) = 721 \text{ Н.}$$

На основании третьего закона Ньютона сила давления F человека на пол кабины равна по модулю силе реакции N пола кабины: $F = N = 721 \text{ Н}$.

Пусть лифт движется вертикально вниз. Проведем ось Y в направлении движения лифта и, рассуждая аналогичным образом получим $mg - N = ma$; $N = mg - ma = m(g - a)$; $N = 70(9,8 - 0,5) = 651 \text{ Н}$. $F = N = 651 \text{ Н}$.

Ответ: 721 Н , 651 Н .

Задача 5. Самолет летит горизонтально со скоростью 360 км/ч на высоте 490 м . Когда он пролетает над точкой А, с него сбрасывают пакет. На каком расстоянии от точки А пакет упадет на землю?

Дано: $v_0 = 360 \text{ км/ч} = 100 \text{ м/с}$; $h = 490 \text{ м}$.

Решение. Направим ось X горизонтально, ось Y вертикально, начало координат выберем в точке A (рис. 5).

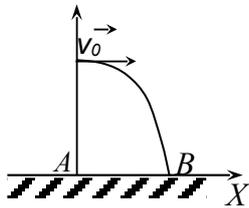


Рис. 5.

Запишем уравнения движения пакета по осям X и Y

$$x = v_0 t, \quad y = y_0 - gt^2/2, \quad (1)$$

где $y_0 = h$. Для точки падения B ($t = t_1$, $x = x_B$, $y = y_B = 0$) уравнения (1) примут вид

$$x_B = v_0 t_1, \quad (2) \quad 0 = h - gt_1^2/2. \quad (3)$$

Время движения пакета до точки B найдем из уравнения (3): $t_1 = \sqrt{2h/g}$. (4)

Искомое расстояние $s = x_B$ найдем из уравнения (2) с учетом (4):

$$s = v_0 t_1 = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad s = 100 \sqrt{\frac{2 \cdot 490}{9,8}} = 10^3 \text{ м}.$$

Ответ: 10^3 м .

Задача 6. Снаряд с массой 50 кг , летящий параллельно рельсам со скоростью 400 м/с , попадает в движущуюся платформу с песком и застревает в песке. Масса платформы с песком 20 т . С какой скоростью будет двигаться платформа со снарядом: а) если она катилась навстречу снаряду со скоростью 2 м/с ? б) если она катилась в сторону движения снаряда со скоростью 2 м/с ?

Дано: $m_1 = 50 \text{ кг}$, $v_1 = 400 \text{ м/с}$, $m_2 = 20 \text{ т} = 2 \cdot 10^4 \text{ кг}$, $v_2 = 2 \text{ м/с}$.

Решение: а) Запишем для снаряда и платформы с песком закон сохранения импульса при неупругом ударе: $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}$ (1)

Выбирая направление оси X совпадающим с направлением движения платформы и проецируя на нее обе части уравнения (1), получаем $-m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) u$,

откуда $u = \frac{-m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$; $u = \frac{-50 \cdot 400 + 2 \cdot 10^4 \cdot 2}{50 + 2 \cdot 10^4} \approx 1 \text{ м/с}$.

Следовательно, направление движения платформы не изменилось.

б) Рассуждая аналогично, получим $m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2)u$, откуда

$$u = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}; \quad u = \frac{50 \cdot 400 + 2 \cdot 10^4 \cdot 2}{50 + 2 \cdot 10^4} \approx 3 \text{ м/с}.$$

Ответ: 1 м/с; 3 м/с.

Молекулярно-кинетическая теория. Термодинамика

Задача 7. Воздушный шар, объем которого 600 м^3 , наполнен водородом при температуре 27°C и давлении 10^5 Па . Водород перед заполнением воздушного шара находился в газовых бомбах при давлении $4 \cdot 10^6 \text{ Па}$ и температуре 7°C . Каков объем каждой газовой бомбы, если их потребовалось 200 штук?

Дано: $V_2 = 600 \text{ м}^3$, $T_2 = 300 \text{ К}$, $p_2 = 10^5 \text{ Па}$, $p_1 = 4 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $T_1 = 280 \text{ К}$, $n = 200$;

$V_1 = ?$

Решение: Для решения задачи воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона:

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

Запишем это уравнение для каждого состояния: $p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$ (1) и

$$p_2 V_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$$
 (2).

Из уравнений (1) и (2) выразим массу газа:

$$m = \frac{\mu p_1 V_1}{RT_1} \text{ и } m = \frac{\mu p_2 V_2}{RT_2}, \text{ т.к. масса газа в обоих состояниях одинакова, то}$$

$$\frac{\mu p_1 V_1}{RT_1} = \frac{\mu p_2 V_2}{RT_2}.$$

$$\text{Отсюда } V_1 = \frac{p_2 V_2 T_1}{p_1 T_2}.$$

Объем одной газовой бомбы равен

$$V_6 = \frac{V_1}{n} = \frac{p_2 V_2 T_1}{n p_1 T_2} = \frac{10^5 \cdot 600 \cdot 280}{200 \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 300} = 0,07 \text{ м}^3.$$

Ответ: $V_6 = 0,07 \text{ м}^3$.

Задача 8. Какая масса водорода находится в цилиндре под поршнем, если при нагревании от температуры $T_1 = 250 \text{ К}$ до температуры $T_2 = 680 \text{ К}$ газ произвел работу $A = 400 \text{ Дж}$?

Дано: газ H_2 , $p = \text{const}$, $T_1 = 250 \text{ К}$, $T_2 = 680 \text{ К}$, $A = 400 \text{ Дж}$, $\mu = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $m - ?$

Решение: Работа газа при постоянном давлении $A = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_2 - V_1)$, так как объемы газа не даны, получим другое выражение работы с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона.

Запишем его для двух состояний газа:

$$pV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \text{ и } pV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2.$$

Находим объемы газа в этих состояниях:

$$V_1 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{p} \text{ и } V_2 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT_2}{p}.$$

Подставляя полученные выражения в исходную формулу, находим массу газа:

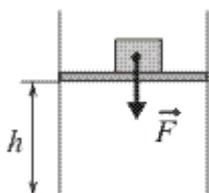
$$A = p \cdot (V_2 - V_1) = p \cdot \left(\frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT_2}{p} - \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{p} \right) = \frac{p \cdot m \cdot R}{\mu \cdot p} (T_2 - T_1).$$

$$A = \frac{m}{\mu} \cdot R(T_2 - T_1), m = \frac{A \cdot \mu}{R(T_2 - T_1)} = \frac{400 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot (680 - 250)} \approx 0,0002 \text{ кг} \approx 0,2 \text{ г}.$$

Ответ: $m = 0,2 \text{ г}$.

Задача 9. В вертикальном цилиндре с площадью основания $S = 10 \text{ см}^2$ находится газ при температуре 27°C . На высоте $h = 25 \text{ см}$ от основания цилиндра расположен легкий поршень, на который поставлена гиря весом 20 Н . Какую работу совершит газ при расширении, если его нагреть на $\Delta t = 100^\circ\text{C}$? Атмосферное давление $p_0 = 10^5 \text{ Па}$. Трения в системе нет.

Дано: $p = \text{const}$, $s = 10^{-3} \text{ м}^2$, $T_1 = 300 \text{ К}$, $h = 0,25 \text{ м}$, $F = 20 \text{ Н}$, $\Delta T = 100 \text{ К}$, $p_0 = 10^5 \text{ Па}$;
 $A - ?$



Решение: Давление газа под поршнем складывается из

атмосферного давления и давления гири на площадь поршня: $p = p_0 + \frac{F}{s}$.

Газ, расширяясь, совершает работу и находится при постоянном давлении. Работа газа при постоянном давлении

$$A = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_2 - V_1), \quad (1)$$

$$V_1 = s \cdot h; V_1 = 10^{-3} \cdot 0,25 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

С другой стороны работу газа можно выразить через изменение его температуры:

$$A = \frac{m}{\mu} \cdot R(T_2 - T_1) = \nu \cdot R \cdot \Delta T,$$

где ν – число молей газа, R – универсальная газовая постоянная.

Отсюда $\nu = \frac{A}{R \cdot \Delta T}$. (2)

Из уравнения Менделеева-Клапейрона можно определить объем газа во втором

состоянии: $pV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2 = \nu \cdot R \cdot T_2; V_2 = \frac{\nu \cdot R \cdot T_2}{p}$. (3)

Подставим найденные значения (2) и (3) в уравнение (1):

$$A = p \cdot \left[\frac{\nu \cdot R \cdot T_2}{p} - V_1 \right] = p \cdot \left\{ \frac{\frac{A}{R \cdot \Delta T} \cdot R \cdot T_2}{p} - V_1 \right\}; \quad A = \frac{A \cdot T_2}{\Delta T} - V_1 \cdot p.$$

Из полученного уравнения определяем работу газа: $A = \frac{V_1 \cdot p}{\frac{T_2}{\Delta T} - 1}$.

$$A = \frac{0,25 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^5}{\frac{400}{100} - 1} = 10 \text{ Дж}.$$

Ответ: $A = 10 \text{ Дж}$.

Задача 10. При изобарическом нагревании от температуры $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 50^\circ\text{C}$ газ совершает работу $A = 2,5 \text{ кДж}$. Определите число молекул газа, участвующих в этом процессе.

Дано: $p = \text{const}$, $t_1 = 20^\circ\text{C}$, $t_2 = 50^\circ\text{C}$, $A = 2,5 \text{ кДж}$, $\Delta T = 30 \text{ К}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$, $R = 8,31$

$$\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; N - ?$$

Решение: Работа газа при постоянном давлении $A = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_2 - V_1)$, определив значение объемов с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона, получим другую формулу для вычисления работы газа, выраженную через его

температуры: $A = \frac{m}{\mu} \cdot R(T_2 - T_1) = \nu \cdot R \cdot \Delta T$,

где ν – число молей газа, R – универсальная газовая постоянная.

$$\nu = \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}, \text{ где } N - \text{число молекул газа, } N_A - \text{число Авагадро.}$$

$$A = \frac{N}{N_A} \cdot R \cdot \Delta T, \text{ откуда } N = \frac{A \cdot N_A}{R \cdot \Delta T}.$$

Разность температур, измеренных по шкалам Цельсия и Кельвина, одинакова.

$$N = \frac{2,5 \cdot 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{8,31 \cdot 30} \approx 0,06 \cdot 10^{26} \approx 6 \cdot 10^{24}.$$

Ответ: $N \approx 6 \cdot 10^{24}$.