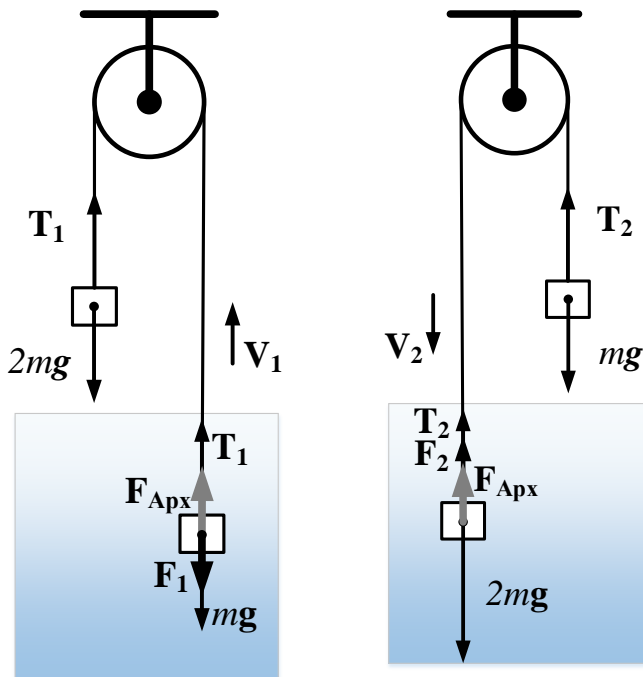


ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ ВАРИАНТ 7101 для 10 класса

1. Заключительный этап олимпиады «Надежда энергетики» проходит в Главном учебном корпусе НИУ «МЭИ», который был построен в 1946 году. На входе в здание установлены массивные двустворчатые дубовые двери (каждая створка высотой 3,5 м, шириной 0,7 м и массой 100 кг). Двери открываются в обе стороны и возвращаются в положение равновесия пружинами. Минимальная сила, которой можно удержать дверь в открытом положении, составляет $F_1 = 80$ Н. Сможет ли девушка войти в здание без посторонней помощи, если она способна приложить к двери максимальную силу $F_2 = 40$ Н? Трением в петлях дверей пренебречь. Объясните свой ответ.

Чтобы открыть дверь и войти в здание, можно раскатать её, воспользовавшись условием возникновения резонанса при вынужденных колебаниях.

2. Два шарика одинаковых размеров закреплены на концах длинной, невесомой и нерастяжимой нити, перекинутой через невесомый блок. Блок неподвижно закреплён над бассейном с водой, при этом длина нити такова, что оба шарика не могут одновременно находиться в воде. Массы шариков равны m и $2m$, при этом плотность шарика массой $2m$ в три раза больше плотности воды. Определите отношение скорости установившегося движения системы, в случае, когда первый из шариков движется в воде, а второй в воздухе, к скорости установившегося движения в случае, когда второй шарик движется в воде, а первый в воздухе. Сила вязкого трения шарика о воду пропорциональна скорости движения шарика в воде, прочими потерями пренебречь.



Установившееся движение в вязкой жидкости является равномерным, т. е. происходит с постоянной скоростью. На первом рисунке показана ситуация с установившимся движением, при котором в воде движется груз массой m . При этом сила вязкого трения равна $F_1 = \gamma V_1$ и суммы сил, действующих на каждое тело, равны нулю. Следовательно

$$2mg = T_1, \quad mg + \gamma V_1 = F_{\text{Арх}} + T_1.$$

Откуда

$$\gamma V_1 = F_{\text{Арх}} + mg. \quad (1)$$

При установившемся движении груза $2m$ в воде запишем

$$mg = T_2, \quad 2mg = F_{\text{Арх}} + T_2 + \gamma V_2.$$

Откуда

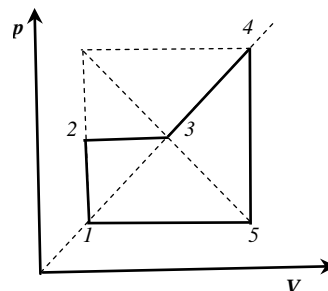
$$\gamma V_2 = mg - F_{\text{Арх}}. \quad (2)$$

Разделим уравнение (1) на уравнение (2)

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{mg + F_{\text{Арх}}}{mg - F_{\text{Арх}}} = \frac{3\rho Vg + \rho 2Vg}{3\rho Vg - \rho 2Vg} = 5.$$

Ответ: $\frac{V_1}{V_2} = 5$.

3. Тепловая машина, рабочим телом которой является идеальный одноатомный газ, работает по циклу $1-2-3-4-5-1$, показанному на рисунке. Известно, что максимальная температура газа, достигаемая в цикле, в 6,25 раз больше минимальной. Найдите к.п.д. цикла.



Введём следующие обозначения:

$Q^- = Q_{451}$ - модуль тепла, отданного холодильнику, A - работа цикла. Тогда

$$\eta = \frac{A}{A + Q^-}$$

Из рисунка очевидно, что

$$\frac{p_4}{p_1} = \frac{V_4}{V_1} \quad \text{и} \quad A = \frac{5}{8} \Delta p \Delta V.$$

Используя

$$\begin{cases} p_1 V_1 = \nu R T_1 \\ p_4 V_4 = \nu R T_4 \end{cases}$$

получим
$$\frac{p_4 V_4}{p_1 V_1} = \left(\frac{p_4}{p_1}\right)^2 = \left(\frac{V_4}{V_1}\right)^2 = \frac{T_4}{T_1} = 6.25 = \left(\frac{5}{2}\right)^2.$$

Тогда

$$\Delta p = \frac{3}{2} p_1, \quad \Delta V = \frac{3}{2} V_1$$

$$A = \frac{5}{8} \cdot \frac{9}{4} \cdot p_1 V_1 = \frac{45}{32} \cdot p_1 V_1$$

$$Q^- = \frac{3}{2} V_4 \Delta p + \frac{5}{2} p_1 \Delta V = \frac{3}{2} \cdot \frac{5}{2} V_1 \cdot \frac{3}{2} p_1 + \frac{5}{2} \cdot p_1 \cdot \frac{3}{2} V_1 = \frac{75}{8} p_1 V_1 \quad .$$

$$\eta = \frac{A}{A + Q^-} = \frac{45}{32 \cdot \left(\frac{45}{32} + \frac{75}{8}\right)} = \frac{45}{345} = \frac{3}{23} \approx 13 \%$$

Ответ: $\eta = \frac{3}{23} \approx 13 \%$

4. Между обкладками плоского конденсатора, находящимися в вакууме, перпендикулярно к ним расположена гладкая стеклянная трубочка, внутри которой может свободно передвигаться полый металлический шарик массой $m = 0,0002$ г и радиусом $r = 0,5$ мм. В начальный момент времени шарик контактирует с одной из обкладок. Конденсатор подключают к источнику постоянного напряжения $U = 2$ кВ. Определите среднюю силу тока, который возникнет в такой цепи, если расстояние между обкладками равно $d = 0,5$ см. Удары шарика об обкладки можно считать мгновенными и абсолютно неупругими, поляризацией стекла можно пренебречь.

В начальный момент времени шарик начнёт движение в сторону дальней от него обкладки. Коснувшись обкладки, шарик приобретёт заряд соответствующего знака и начнёт обратное движение.

Расстояние $d - 2r$ шарик в однородном электрическом поле проходит равноускорено с ускорением $a = \frac{qE}{m}$, где q – заряд, который приобретает шарик при касании обкладки, E – напряжённость однородного электрического поля, величина которой в плоском конденсаторе равна $E = \frac{U}{d}$.

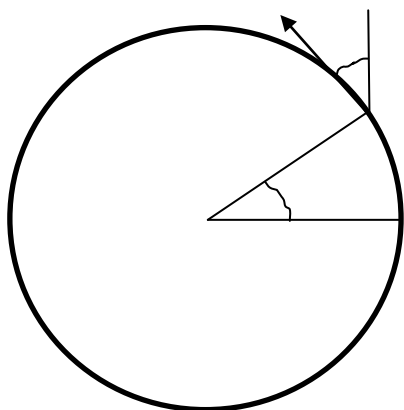
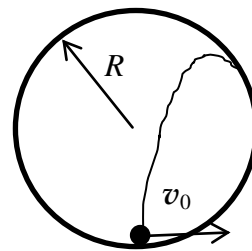
Величина заряда шарика может быть найдена из формулы для потенциала шарика $\varphi = k \frac{q}{r}$, который равен потенциалу соответствующей обкладки. Таким образом, шарик формально переносит заряд только с обкладки, имеющей ненулевой потенциал в сторону обкладки с нулевым потенциалом. Такой обкладкой считается та, к которой подключён отрицательный зажим источника напряжения. Физически же переносится только отрицательный заряд. Если шарик у отрицательной обкладки зарядился зарядом $-q$, то при касании положительной обкладки его заряд станет равным $+q$, т.е. шарик отдаст положительной обкладке заряд, равный по величине $2q$. Если принять потенциал отрицательной обкладки равным 0, то $\varphi = U$. Поскольку $d - 2r = \frac{at^2}{2} = \frac{qEt^2}{2m} = \frac{qUt^2}{2md} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2md(d-2r)}{qU}} = \sqrt{\frac{2mdk(d-2r)}{rU^2}}$.

Теперь запишем определение силы тока для нашего случая, где за время движения шарика от отрицательной обкладки к положительной переносится заряд $2q$

$$I = \frac{2q}{t} = \frac{2Ur}{k \sqrt{\frac{2mdk(d-2r)}{rU^2}}} = \frac{2U^2 r^{\frac{3}{2}}}{k \sqrt{2mdk(d-2r)}} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4} \sqrt{5 \cdot 10^{-4}}}{9 \cdot 10^9 \sqrt{2 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}} \approx 37 \text{ нА.}$$

Ответ: $I \approx 37$ нА.

5. В гладком кольцеобразном жёлобе, расположенном в вертикальной плоскости, находится маленький шарик. Шарик, находящемуся в положении равновесия, сообщили такую горизонтальную скорость, что после отрыва от жёлоба в некоторой точке он упал на жёлоб в точке старта (см. рис.). Найдите угол между скоростью шарика и вертикалью в момент отрыва от поверхности жёлоба.



$$\begin{cases} v \sin \alpha \cdot t = R \cos \alpha \\ v \cos \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} = -R(1 + \sin \alpha) \\ m \frac{v^2}{R} = mg \cdot \sin \alpha \end{cases}$$

$$t = \frac{R}{v} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad \frac{gR}{v^2} = \frac{1}{\sin \alpha}$$

$$v \cos \alpha \cdot \frac{R}{v} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} - \frac{g}{2} \cdot \frac{R^2}{v^2} \cdot \frac{\cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha} = -R(1 + \sin \alpha)$$

$$\frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha} - \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \cdot \frac{\cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha} = -1 - \sin \alpha$$

$$2 \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha - \cos^2 \alpha = -2 \sin^3 \alpha - 2 \sin^4 \alpha$$

$$2 \sin^2 \alpha - 2 \sin^4 \alpha - 1 + \sin^2 \alpha = -2 \sin^3 \alpha - 2 \sin^4 \alpha$$

$$2 \sin^3 \alpha + 3 \sin^2 \alpha - 1 = 0$$

$$\sin \alpha = x$$

$$2x^3 + 3x^2 - 1 = 0$$

$$2x^2(x + 1) + x^2 - 1 = 0$$

$$(x + 1)(2x^2 - x + 1) = 0$$

$$(x + 1)^2(2x - 1) = 0$$

$$x = \frac{1}{2}, \quad (x \neq -1), \quad \text{Ответ: } \alpha = 30^\circ$$