

**Выездная физико-математическая олимпиада МФТИ  
2019-2020 уч. года  
Физика  
Задания, решения**

**Общие указания по проведению**

Время для решения заданий каждого класса — 2 часа.

Черновики не проверяются.

**Каждая задача по физике оценивается целым числом баллов от 0 до 10.**

**Максимальное число баллов за олимпиаду 40.**

**Общие принципы выставления оценки по физике:**

- правильное решение — 10 баллов;
- решение с недочетами — 7-9 баллов;
- решение с пропущенными важными частями — 3-5 баллов;

Во всех задачах, если это не оговорено специально, только верный ответ без обоснований стоит 0 баллов.

**Ф11.1** Идеальный газ массой  $m$ , находящийся при температуре  $T$ , охлаждается изохорически так, что давление падает в  $n$  раз. Затем газ расширяется при постоянном давлении. В конечном состоянии его температура равна первоначальной. Определить совершенную газом работу. Молекулярная масса газа  $\mu$ .

*Решение.* Обозначим состояние до изохорного нагревания 1, после изохорного нагревания и до изобарного расширения 2, а состояние после изобарного расширения 3. Тогда искомая работа  $A$  есть работа  $A_{23} = P_{23}(V_3 - V_2)$ , поскольку в изохорном процессе газ работы не совершает.

По закону Гей-Люссака  $\frac{V_2}{V_3} = \frac{T_2}{T_3}$ , а по закону Шарля  $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} = n$ , откуда  $\frac{V_2}{V_3} = \frac{1}{n}$ , и тогда

$V_3 - V_2 = V_2(n - 1)$ . Из уравнения состояния идеального газа можем записать  $V_2 = V_1 = \frac{mRT}{\mu P}$ ,

откуда  $A = \frac{n - 1}{n} \frac{m}{\mu} RT$ .

**Ф11.2** Брусок массы  $m$  под действием упругой пружины совершает колебания с амплитудой  $A_0$  на гладком горизонтальном столе. В тот момент, когда брусок проходит положение равновесия, на него сверху падает по вертикали и прилипает к нему кусок пластилина массы  $m/3$ . Найти новую амплитуду колебаний.

*Решение.* Пусть  $k$  — жесткость пружины,  $V_0$  и  $V$  — скорости в положении равновесия до и после падения пластилина. Запишем ЗСЭ и ЗСИ:  $\frac{1}{2}kA_0^2 = \frac{1}{2}mV_0^2$ ,  $mV_0 = \left(m + \frac{m}{3}\right)V$ ,  $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}\left(m + \frac{m}{3}\right)V^2$ . Отсюда  $A = \frac{\sqrt{3}}{2}A_0$ .

**Ф11.3** Шар массой  $m$ , движущийся со скоростью  $V$ , налетает на покоящийся шар и после упругого удара отскакивает от него под углом  $90^\circ$  к первоначальному направлению своего движения со скоростью  $V/3$ . Определить массу второго шара.

*Решение.* Пусть  $V_2$  — скорость второго шара. По ЗСИ и ЗСЭ:  $(m_2V_2)^2 = \left(m\frac{V}{3}\right)^2 + (mV)^2$ ,

$\frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{V}{3}\right)^2 + \frac{1}{2}m_2V_2^2$ . Отсюда  $m_2 = \frac{5}{4}m$ .

**Ф11.4** Конденсатор емкостью  $C_1$  заряжен до разности потенциалов  $V_0$ . К нему через идеальные диод и катушку индуктивности подключают незаряженный конденсатор емкостью  $C_2$  (см. рис.). До какого напряжения зарядится конденсатор емкостью  $C_1$  после замыкания ключа  $K$ ?

*Решение.* Из-за диода ток прекратится, и напряжения на конденсаторах станут  $V_1$  и  $V_2$ . Сумма зарядов на нижних обкладках сохранится:  $C_1V_1 + C_2V_2 = C_1V_0$ .

По ЗСЭ:  $\frac{1}{2}C_1V_0^2 = \frac{1}{2}C_1V_1^2 + \frac{1}{2}C_2V_2^2$ . Отсюда  $V_1 = \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}V_0$ .

**Ф11.5** В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ замкнут, режим в цепи установился. Параметры цепи указаны на схеме. Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?

*Решение.* В установившемся режиме ток через катушку постоянен. В этом случае ток через источник равен  $I_{\mathcal{E}} = \frac{\mathcal{E}}{2R + R/2} = \frac{2\mathcal{E}}{5R}$ . Значит, ток через катушку в этот момент

равен  $I_L = \frac{\mathcal{E}}{5R}$ . По закону сохранения энергии после размыкания ключа вся энергия, запасенная в катушке, выделится в виде тепла на резисторах, откуда находим искомую величину  $Q = \frac{LI^2}{2} = \frac{L\mathcal{E}^2}{50R}$ .

**Ф11.6** Сосуд с влажным воздухом при температуре  $T_1$  и относительной влажности 100% охлаждаются до температуры  $T_2$ . Давления насыщенного пара воды при температурах  $T_1$  и  $T_2$  равны  $P_1$  и  $P_2$ . Какая часть массы пара сконденсировалась? Объемом образовавшейся воды по сравнению с объемом сосуда пренебречь.

*Решение.* Из уравнения состояния идеального газа находим  $m_1 = \frac{P_1 V \mu}{RT_1}$  и  $m_2 = \frac{P_2 V \mu}{RT_2}$ . Тогда искомое отношение есть  $\alpha = \frac{m_1 - m_2}{m_1} = 1 - \frac{m_2}{m_1} = 1 - \frac{P_2 T_1}{P_1 T_2}$ .