

21-ая Столичная физико-математическая олимпиада МФТИ

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 50.

Общие принципы выставления оценки по физике:

- правильное решение — 10 баллов;
- решение с недочетами — 7-9 баллов;
- решение с пропущенными важными частями — 4-5 баллов;

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

В работе все места с ошибками должны быть отмечены!

Ф10.1-1 Деревянный шар массой $m = 1,99$ кг висит на невесомой нерастяжимой нити. В него попадает (и застревает в его центре) пуля, летящая горизонтально со скоростью $V = 600$ м/с. Масса пули $m_1 = 10$ г. Найти максимальную высоту, на которую поднимется шар, и долю кинетической энергии пули, перешедшую во внутреннюю энергию шара и пули. Размер шара мал по сравнению с длиной нити.

Ф10.1-2 Деревянный шар массой $m = 2,99$ кг висит на невесомой нерастяжимой нити. В него попадает (и застревает в его центре) пуля, летящая горизонтально со скоростью $V = 700$ м/с. Масса пули $m_1 = 10$ г. Найти максимальную высоту, на которую поднимется шар, и долю кинетической энергии пули, перешедшую во внутреннюю энергию шара и пули. Размер шара мал по сравнению с длиной нити.

Решение. Из закона сохранения импульса можем найти скорость U шара и пули после удара: $m_1V = (m_1 + m)U$, откуда $U = \frac{m_1V}{m_1 + m}$ (**3 балла**). Из закона сохранения энергии находим высоту подъема:

$\frac{(m_1 + m_2)U^2}{2} = (m_1 + m)gh$, откуда $h = \frac{V^2}{2g} \left(\frac{m_1}{m_1 + m} \right)^2$ (**4 балла**). Доля кинетической энергии, перешедшей во внутреннюю: $\eta = 1 - \frac{E_{\text{кон}}}{E_{\text{нач}}} = \frac{m}{m_1 + m}$ (**2 балла**). В первом варианте $h = 0,46$ м, $\eta = 0,995$. Во втором варианте $h = 0,272$ м, $\eta = 0,996(6)$ (**1 балл**).

Ф10.2-1 Газ расширяется от объема $V_1 = 1$ л до объема $V_2 = 11$ л. Давление при этом изменяется по закону $p = \alpha V$, где $\alpha = 4$ Па/м³. Найти работу, совершавшуюся газом.

Ф10.2-2 Газ расширяется от объема $V_1 = 2$ л до объема $V_2 = 12$ л. Давление при этом изменяется по закону $p = \alpha V$, где $\alpha = 2$ Па/м³. Найти работу, совершавшуюся газом.

Решение. Искомую работу можно найти как площадь под графиком на PV -диаграмме (**8 баллов за правильный расчет площади, из них 1 балл за идею считать площадь под графиком на PV -диаграмме**):

$$A_{12} = \frac{\alpha(V_1 + V_2)}{2}(V_2 - V_1) = \frac{\alpha(V_2^2 - V_1^2)}{2}.$$

В первом варианте $A_{12} = 0,24$ мДж, во втором варианте $A_{12} = 0,14$ мДж (**2 балла за численный ответ**).

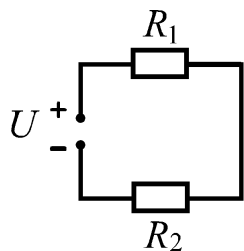
Ф10.3-1 В большом куске льда, температура которого $t_1 = 0$ °С, сделано углубление объемом $V = 160$ см³. В это углубление налили $m_{\text{в}} = 60$ г воды, температура которой $t_2 = 75$ °С. Какой объем будет иметь свободное от воды углубление, когда вода остынет? Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 10^3$ кг/м³, льда $\rho_{\text{л}} = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг. Удельная теплоёмкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/кг·К.

Ф10.3-2 В большом куске льда, температура которого $t_1 = 0$ °С, сделано углубление объемом $V = 200$ см³. В это углубление налили $m_{\text{в}} = 120$ г воды, температура которой $t_2 = 75$ °С. Какой объем будет иметь свободное от воды углубление, когда вода остынет? Плотность воды $\rho_{\text{в}} = 10^3$ кг/м³, льда $\rho_{\text{л}} = 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг. Удельная теплоёмкость воды $c = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/кг·К.

Решение. Из уравнения теплового баланса $c_{\text{в}}m_{\text{в}}t_2 = \lambda m_{\text{л}}$ находим массу льда $m_{\text{л}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}t_2}{\lambda}$ (**3 балла**).

Объем растаявшего льда $V_{\text{л}} = \frac{m_{\text{л}}}{\rho_{\text{л}}} = \frac{c_{\text{в}}m_{\text{в}}t_2}{\rho_{\text{л}}\lambda}$. Отсюда свободная от воды часть полости в конце будет иметь объем $V + V_{\text{л}}$ за вычетом объема залитой и образовавшейся при таянии воды: $V_{\text{своб}} =$

$V - \frac{m_B}{\rho_B} + \frac{m_L}{\rho_L} - \frac{m_L}{\rho_B}$ (5 балла). В первом варианте $V_{\text{своб}} \approx 106,2 \text{ см}^3$. Во втором варианте $V_{\text{своб}} \approx 92,4 \text{ см}^3$ (2 балла).



Ф10.4-1 Как изменится сила тока в резисторах R_1 и R_2 , если подаваемое напряжение U увеличить в $n = 2$ раза, а сопротивление R_2 уменьшить в $m = 3$ раза? Сопротивление резисторов $R_1 = R$, $R_2 = 6R$, напряжение $U = 2 \text{ В}$.

Ф10.4-2 Как изменится сила тока в резисторах R_1 и R_2 , если подаваемое напряжение U увеличить в $n = 2$ раза, а сопротивление R_2 уменьшить в $m = 3$ раза? Сопротивление резисторов $R_1 = R$, $R_2 = 12R$, напряжение $U = 3 \text{ В}$.

Решение. Сила тока до изменения составляет $I_1 = \frac{U}{R_1 + R_2}$ (3 балла), а после изменения $I_2 = \frac{nU}{R_1 + R_2/m}$ (3 балла). Отношение этих величин $\frac{I_2}{I_1} = \frac{n(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2/m}$ (3 балла). В первом варианте это отношение равно $\frac{14}{3}$, во втором варианте $\frac{26}{5}$ (1 балл).

Ф10.5-1 Расстояние между точечным источником света и экраном $L = 3 \text{ м}$. Линза, помещенная между ними, даёт четкое изображение при двух положениях, расстояние между которыми $l = 1 \text{ м}$. Найти фокусное расстояние линзы.

Ф10.5-2 Расстояние между точечным источником света и экраном $L = 4 \text{ м}$. Линза, помещенная между ними, даёт четкое изображение при двух положениях, расстояние между которыми $l = 2 \text{ м}$. Найти фокусное расстояние линзы.

Решение. Пусть в одном из положений, при котором изображение чёткое, расстояние от источника до линзы равно d . Тогда в соответствии с формулой тонкой линзы можем записать $\frac{1}{d} + \frac{1}{L-d} = \frac{1}{F}$, откуда $F = \frac{d(L-d)}{L}$ и $d^2 - Ld + LF = 0$ (3 балла). Аналогично для второго положения линзы $(d+l)^2 - L(d+l) + LF = 0$ (3 балла). Решая эти два уравнения, находим $d = \frac{L-l}{2}$, и тогда $F = \frac{L^2 - l^2}{4l}$ (3 балла). В первом варианте $F = 0,67 \text{ м}$, во втором варианте $F = 0,75 \text{ м}$ (1 балл).