

**Олимпиада школьников
«Звезда – Таланты на службе обороны и безопасности» по физике
Заключительный тур (2014/2015 уч.г.)**

Задания, ключи и критерии оценивания

11 класс

Вариант № 1

Задание 1 (20 баллов): На вертикальном ветровом стекле автомобиля, едущего со скоростью u , давлением встречного ветра удерживается газета масса которой m . При каком минимальном коэффициенте трения k газеты о стекло это возможно? Плотность воздуха ρ , площадь газеты S , скорость ветра v ? Трением воздуха о газету пренебречь.

Решение:

Каждую секунду на газету падает и затем растекается масса воздуха:

$$\frac{m}{t} = \rho S c \quad (4 \text{ балла})$$

где $c = v + u$ – скорость ветра относительно автомобиля (2 балла)

В системе отсчета, связанной с автомобилем, эта масса каждую секунду изменяет свой импульс на величину:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \rho S (u + v)(u + v) \quad (4 \text{ балла})$$

Поэтому, в соответствии с законами Ньютона, на газету действует сила, перпендикулярная плоскости газеты:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \rho S (u + v)^2 \quad (4 \text{ балла})$$

Газета не будет скользить при условии:

$$mg \leq F_{\text{тр}} \quad (4 \text{ балла})$$

$$mg \leq kF$$

$$mg \leq k\rho S (u + v)^2$$

Отсюда следует:

$$k \geq \frac{mg}{\rho S (u + v)^2} \quad (2 \text{ балла})$$

Задание 2 (15 баллов): Идеальная тепловая машина Карно, цикл которой совершается в обратном направлении (холодильная машина), использует воду при 0°C в качестве холодильника и воду при 100°C в качестве нагревателя. Сколько воды нужно заморозить

в холодильнике, чтобы превратить в пар 500 г воды в нагревателе? Удельная теплота парообразования $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг, удельная теплота плавления $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Решение:

При замерзании воды массой m_2 выделится количество теплоты:

$$Q = \lambda m_2 \quad (3 \text{ балла})$$

где λ – удельная теплота плавления льда.

Для испарения массы m_1 воды нужно затратить количество теплоты:

$$Q = r m_1 \quad (3 \text{ балла})$$

где r – удельная теплота парообразования воды.

Из выражения КПД идеальной тепловой машины Карно:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (3 \text{ балла})$$

Находим, что:

$$Q_2 = \frac{T_2 Q_1}{T_1}$$

В результате, получаем:

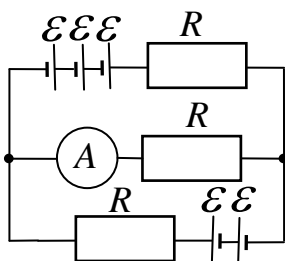
$$\lambda m_2 = \frac{T_2 r m_1}{T_1} \quad (3 \text{ балла})$$

откуда:

$$m_2 = \frac{T_2 r m_1}{\lambda T_1} = \frac{273 \cdot 0,5 \cdot 2,26 \cdot 10^6}{373 \cdot 3,35 \cdot 10^5} \approx 2,47 \text{ кг} \quad (3 \text{ балла})$$

Задание 3 (15 баллов): В электрической цепи каждое э.д.с. равно $\varepsilon = 1,5$ В, $R = 10$ Ом.

Что показывает амперметр? Источники питания и амперметр считать идеальными.



Решение:

Правила Кирхгофа для данной электрической цепи:

$$3\varepsilon = I_1 R + I_3 R \quad (4 \text{ балла})$$

$$2\varepsilon = I_2 R - I_3 R \quad (4 \text{ балла})$$

$$I_3 + I_2 = I_1 \quad (4 \text{ балла})$$

где I_1 – ток, протекающий верхние элементы, I_2 – ток, протекающий через нижние источники питания, I_3 – ток, протекающий через амперметр.

Решая данную систему, получим:

$$I_3 = \frac{\varepsilon}{3R} = 0,05 \text{ A} \quad (3 \text{ баллов})$$

Задание 4 (25 баллов): Тонкой сферической оболочке радиусом $R_1 = 5$ см и массой $m = 0,015$ г сообщают заряд до тех пор, пока при достижении потенциала $\varphi = 10$ кВ оболочка не разлетится на мелкие осколки вследствие электростатического отталкивания ее частей. Найти скорость осколков к моменту, когда они окажутся на сферической поверхности радиусом $R_2 = 12$ см.

Решение:

Заряженная сфера обладает электростатической энергией:

$$W = \frac{1}{2} C_1 \varphi_1^2 = \frac{1}{2} q \varphi_1 \quad (5 \text{ баллов})$$

где C_1 – емкость сферы в начальном состоянии; $q = C_1 \varphi_1 = 4\pi\varepsilon_0 R_1 \varphi_1$. (5 баллов)

При разлете осколков их суммарный заряд остается прежним, а потенциал точек на сферической поверхности становится:

$$\varphi_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_2} = \varphi_1 \frac{R_1}{R_2} \quad (5 \text{ баллов})$$

Записывая закон сохранения энергии:

$$q \frac{\varphi_1}{2} = q \frac{\varphi_2}{2} + \frac{mv^2}{2} \quad (5 \text{ баллов})$$

и подставляя выражения для q и φ_2 , находим скорость:

$$v = \varphi_1 \sqrt{\frac{4\pi\varepsilon_0 R_1 (R_2 - R_1)}{m R_2}} = 4,7 \text{ м/с} \quad (5 \text{ баллов})$$

Задание 5 (25 баллов): Выпуклая сторона плосковыпуклой линзы с радиусом кривизны $R_1 = 60$ см посеребрена, в результате чего получилось своеобразное вогнутое зеркало. Перед этим зеркалом на расстоянии $d = 25$ см от него помещен предмет. Найти расстояние от зеркала до изображения и увеличение, если показатель преломления вещества $n = 1,5$.

Решение:

Полученное своеобразное сферическое зеркало представляет оптическую систему, состоящую из линзы и вогнутого зеркала. В этой системе преобразование светового

потока происходит три раза. Лучи от предмета попадают в линзу, преломляются в ней и идут на зеркало. Отразившись от зеркала, они опять падают на линзу и, преломившись в ней, дают окончательное изображение. Учитывая это, можно записать, оптическая сила системы:

$$D = D_1 + D_2 + D_1 = 2D_1 + D_2 \quad (4 \text{ балла})$$

где D_1 – оптическая сила линзы; D_2 – оптическая сила зеркала.

С учетом $R_2 = \infty$, т.к. линза плосковыпуклая, получаем:

$$D_1 = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{(n-1)}{R_1} \quad (4 \text{ балла})$$

$$D_2 = \frac{2}{R_1} \quad (4 \text{ балла})$$

Поэтому:

$$D = 2 \frac{(n-1)}{R_1} + \frac{2}{R_1} = \frac{2n}{R_1} \quad (4 \text{ балла})$$

Следовательно, фокусное расстояние оптической системы:

$$F = \frac{1}{D} = \frac{R_1}{2n} = \frac{0,6}{2 \cdot 1,5} = 0,2 \text{ м} \quad (4 \text{ балла})$$

По формуле линзы:

$$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{0,25 \cdot 0,2}{0,25 - 0,2} = 1 \text{ м} \quad (3 \text{ балла})$$

Увеличение равно:

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{1}{0,25} = 4 \quad (2 \text{ балла})$$

Вариант № 2

Задание 1 (20 баллов): На вертикальном ветровом стекле автомобиля, едущего со скоростью u , давлением встречного ветра удерживается газета. Коэффициент трения газеты о стекло k , плотность воздуха ρ , площадь газеты S , скорость ветра v . При какой максимальной массе газеты m это возможно? Трением воздуха о газету пренебречь.

Решение:

Каждую секунду на газету падает и затем растекается масса воздуха:

$$\frac{m}{t} = \rho S c \quad (4 \text{ балла})$$

где $c = v + u$ – скорость ветра относительно автомобиля (2 балла)

В системе отсчета, связанной с автомобилем, эта масса каждую секунду изменяет свой импульс на величину:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \rho S(u + v)(u + v) \quad (4 \text{ балла})$$

Поэтому, в соответствии с законами Ньютона, на газету действует сила, перпендикулярная плоскости газеты:

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \rho S(u + v)^2 \quad (4 \text{ балла})$$

Газета не будет скользить при условии:

$$mg \leq F_{\text{тр}} \quad (4 \text{ балла})$$

$$mg \leq kF$$

$$mg \leq k\rho S(u + v)^2$$

Отсюда следует:

$$m \leq \frac{k\rho S(v+u)^2}{g} \quad (2 \text{ балла})$$

Задание 2 (15 баллов): Идеальная тепловая машина Карно, цикл которой совершается в обратном направлении (холодильная машина), использует воду при 0 °С в качестве холодильника и воду при 100 °С в качестве нагревателя. Сколько воды нужно заморозить в холодильнике, чтобы превратить в пар 1000 г воды в нагревателе? Удельная теплота парообразования $r = 2,26 \cdot 10^6$ Дж/кг, удельная теплота плавления $\lambda = 3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг.

Решение:

При замерзании воды массой m_2 выделится количество теплоты:

$$Q = \lambda m_2 \quad (3 \text{ балла})$$

где λ – удельная теплота плавления льда.

Для испарения массы m_1 воды нужно затратить количество теплоты:

$$Q = r m_1 \quad (3 \text{ балла})$$

где r – удельная теплота парообразования воды.

Из выражения КПД идеальной тепловой машины Карно:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (3 \text{ балла})$$

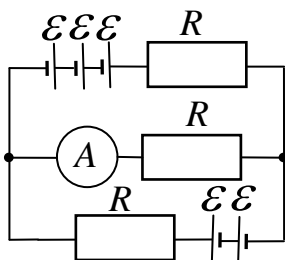
В результате, получаем:

$$\lambda m_2 = \frac{T_2 r m_1}{T_1} \quad (3 \text{ балла})$$

откуда:

$$m_2 = \frac{T_2 r m_1}{\lambda T_1} = \frac{273 \cdot 1 \cdot 2,26 \cdot 10^6}{373 \cdot 3,35 \cdot 10^5} \approx 4,94 \text{ кг} \quad (3 \text{ балла})$$

Задание 3 (15 баллов): В электрической цепи каждое э.д.с. равно $\varepsilon = 3$ В, $R = 5$ Ом. Что показывает амперметр? Источники питания и амперметр считать идеальными.



Решение:

Правила Кирхгофа для данной электрической цепи:

$$3\varepsilon = I_1 R + I_3 R \quad (4 \text{ балла})$$

$$2\varepsilon = I_2 R - I_3 R \quad (4 \text{ балла})$$

$$I_3 + I_2 = I_1 \quad (4 \text{ балла})$$

где I_1 – ток, протекающий верхние элементы, I_2 – ток, протекающий через нижние источники питания, I_3 – ток, протекающий через амперметр.

Решая данную систему, получим:

$$I_3 = \frac{\varepsilon}{3R} = 0,2 \text{ A} \quad (3 \text{ баллов})$$

Задание 4 (25 баллов): Тонкой сферической оболочке радиусом $R_1 = 10$ см и массой $m = 0,1$ г сообщают заряд до тех пор, пока при достижении потенциала $\varphi = 5$ кВ оболочка не разлетится на мелкие осколки вследствие электростатического отталкивания ее частей. Через какое-то время скорость осколков оказалась равной $v = 1$ м/с. Определить радиус сферической поверхности, на которой в данный момент времени располагаются осколки.

Решение:

Заряженная сфера обладает электростатической энергией:

$$W = \frac{1}{2} C_1 \varphi_1^2 = \frac{1}{2} q \varphi_1 \quad (5 \text{ баллов})$$

где C_1 – емкость сферы в начальном состоянии; $q = C_1 \varphi_1 = 4\pi\varepsilon_0 R_1 \varphi_1$. **(5 баллов)**

При разлете осколков их суммарный заряд остается прежним, а потенциал точек на сферической поверхности становится:

$$\varphi_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 R_2} = \varphi_1 \frac{R_1}{R_2} \quad (5 \text{ баллов})$$

Записывая закон сохранения энергии:

$$q \frac{\varphi_1}{2} = q \frac{\varphi_2}{2} + \frac{mv^2}{2} \quad (5 \text{ баллов})$$

и подставляя выражения для q и φ_2 , находим радиус:

$$R_2 = \frac{4\pi\varepsilon_0 R_1^2 \varphi_1^2}{4\pi\varepsilon_0 R_1 \varphi_1^2 - mv^2} \approx 0,16 \text{ м} \quad (5 \text{ баллов})$$

Задание 5 (25 баллов). Выпуклая сторона плосковыпуклой линзы с радиусом кривизны $R_1 = 50$ см посеребрена, в результате чего получилось своеобразное вогнутое зеркало. Перед этим зеркалом на расстоянии $d = 25$ см от него помещен предмет. Найти расстояние от зеркала до изображения и увеличение, если показатель преломления вещества $n = 1,5$.

Решение:

Полученное своеобразное сферическое зеркало представляет оптическую систему, состоящую из линзы и вогнутого зеркала. В этой системе преобразование светового потока происходит три раза. Лучи от предмета попадают в линзу, преломляются в ней и идут на зеркало. Отразившись от зеркала, они опять падают на линзу и, преломившись в ней, дают окончательное изображение. Учитывая это, можно записать, оптическая сила системы:

$$D = D_1 + D_2 + D_1 = 2D_1 + D_2 \quad (4 \text{ балла})$$

где D_1 – оптическая сила линзы; D_2 – оптическая сила зеркала.

С учетом $R_2 = \infty$, т.к. линза плосковыпуклая, получаем:

$$D_1 = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{(n-1)}{R_1} \quad (4 \text{ балла})$$

$$D_2 = \frac{2}{R_1} \quad (4 \text{ балла})$$

Поэтому:

$$D = 2 \frac{(n-1)}{R_1} + \frac{2}{R_1} = \frac{2n}{R_1} \quad (4 \text{ балла})$$

Следовательно, фокусное расстояние оптической системы:

$$F = \frac{1}{D} = \frac{R_1}{2n} = \frac{0,5}{2 \cdot 1,5} = \frac{1}{6} \text{ м} \quad (4 \text{ балла})$$

По формуле линзы:

$$f = \frac{dF}{d-F} = \frac{0,25 \cdot \frac{1}{6}}{0,25 - \frac{1}{6}} = 0,5 \text{ м} \quad (3 \text{ балла})$$

Увеличение равно:

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{1}{0,5} = 2 \quad (2 \text{ балла})$$

Олимпиада «Звезда - Таланты на службе обороны и безопасности»
ФИЗИКЕ
2015

23 марта 2015 года

ПРОТОКОЛ № 1
заседания жюри
олимпиады «Звезда - Таланты на службе обороны и безопасности» по физике

ПРИСУТСТВОВАЛИ: Воронцов А.Г., Герасимов В.К., Иголеви́ч И.А.

СЛУШАЛИ: о распределении баллов победителей и призеров олимпиады

ПОСТАНОВИЛИ:

11 класс

- считать победителями олимпиады и наградить дипломами 1 степени участников, набравших 100 -95 баллов;
- считать призерами олимпиады и наградить дипломами 2 степени участников, набравших 94 – 50 баллов;
- считать призерами олимпиады и наградить дипломами 3 степени участников, набравших 49 – 45 баллов.

10 класс

- считать победителями олимпиады и наградить дипломами 1 степени участников, набравших 100 – 85 баллов;
- считать призерами олимпиады и наградить дипломами 2 степени участников, набравших 84 – 50 баллов;
- считать призерами олимпиады и наградить дипломами 3 степени участников, набравших 49 – 45 баллов.

9 класс

- считать победителями олимпиады и наградить дипломами 1 степени участников, набравших 100 – 95 баллов;
- считать призерами олимпиады и наградить дипломами 2 степени участников, набравших 94 – 50 баллов;
- считать призерами олимпиады и наградить дипломами 3 степени участников, набравших 49 – 45 баллов.

Председатель жюри



Воронцов А.Г.