Министерство общего и профессионального образования Ростовской области.

II ЭТАП ВСЕРОССИЙСКОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ по ФИЗИКЕ 2021 год

11 Класс.

Задача № 1. *Падающие Шарики*

Возможное решение

1. При установившемся падении сила сопротивления воздуха равна силе тяжести: $F_c = mg$.

2. Поскольку $m = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3$, а $F_c = kSv^2 = k\pi R^2 v^2$, где k – коэффициент пропорциональности одинаковый для обоих шариков, т.к. они из одного материала и оба – сферической формы.

3. На основании пункта (2) получаем $v_1^2 = \frac{4}{3}\frac{\rho}{k}R_1$, $v_2^2 = \frac{4}{3}\frac{\rho}{k}R_2$.

4. Для шариков, связанных длиной нитью, запишем: $\rho \cdot \frac{4}{3}\pi R_1^3 g + \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R_2^3 g = k\pi R_1^2 v^2 + k\pi R_2^2 v^2$,

5. или $$v^2 = \frac{4}{3} \cdot \frac{\rho}{k} \cdot \frac{R_1^3 + R_2^3}{R_1^2 + R_2^2}$$

6. Поставив сюда значения R_1 и R_2 из (3), получим: $v = \sqrt{\frac{v_1^6 + v_2^6}{v_1^4 + v_2^4}}$

7. Расчёт даёт результат: $v = \sqrt{\frac{50^6 + 75^6}{50^4 + 75^4}}$ = 71,5 м/с .

Критерии оценивания

За 1-й пункт – 1 балл

За 2-й пункт – 3 балла

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 1 балл

За 5-ый пункт – 1 балла

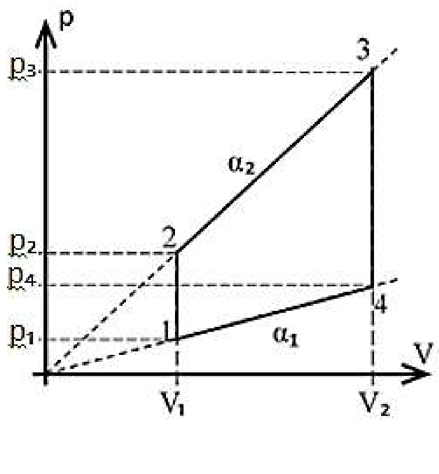
За 6-ой пункт – 1 балл.

За 7-ой пункт – 1 балл

Если задача не решена, но есть мысли, направленные на решение, то можно поставить «утешительные» до 2 баллов.

Задача № 2. *Тепловая машина*

Возможное решение



1. Изображаем рисунок цикла, который дан по условию и расставляем все характерные точки цикла.
2. Вначале определим теплоемкость в процессах в которых давление пропорционально объему, т.е. **p = α V**. В этом случае первый закон термодинамики:

$\nu C\Delta T = \nu C_V\Delta T + p\Delta V$ или $\nu C\Delta T = \nu C_V\Delta T + \alpha V\Delta V$

3. Уравнение Клапейрона-Менделеева $pV = \nu RT$ для такого процесса принимает вид: $\alpha V^2 = \nu RT$. Из него легко показать, что для малого изменения температуры справедливо: $\nu R\,\Delta T = \alpha\, 2V\,\Delta V$ или $\alpha V\,\Delta V = ½\cdot\nu R\Delta T$.

4. Подставим в уравнение 1-го закона термодинамики и получим: $\nu C\Delta T = \nu C_V\Delta T + ½\cdot\nu R\Delta T$, тогда $C = C_V + R/2$.

5. В замкнутом цикле 1→2→3→4→1 в процессе 1→2→3 тепловая машина получала тепло – Q_H.

Тогда $Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \nu C_V\Delta T_{12} + \nu C\Delta T_{23} = \nu\cdot(C_V(T_2 - T_1) + (C_V + R/2)\cdot(T_3 - T_2) =$ $= \nu\cdot(C_V\,(T_3 - T_1) + (T_3 - T_2)\cdot R/2)$. Окончательно $Q_H = \nu\cdot(4T_3 - 3T_1 - T_2)\cdot R/2$.

6. В процессе 3→4→1 тепловая машина отдавала тепло – Q_X.

т.е. $Q_X = Q_{34} + Q_{41} = \nu C_V\Delta T_{34} + \nu C\Delta T_{41} = \nu\cdot(C_V(T_3 - T_4 + T_4 - T_1) + (T_4 - T_1)\cdot R/2)$

Окончательно $Q_X = \nu\cdot(3T_3 - 4T_1 + T_4)\cdot R/2)$

7. Уравнение состояния: для точки (1): $\nu RT_1 = \alpha_1 V_1^2$, для точки (2): $\nu RT_2 = \alpha_2 V_1^2$, для точки (3): $\nu RT_3 = \alpha_2 V_2^2$, для точки (4): $\nu RT_4 = \alpha_1 V_2^2$**,**

8. Согласно условию $\frac{V_2}{V_1} = n$, а $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = k$. Выразим температуры всех точек через температуру T_1:
$T_2 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\cdot T_1$ или $T_2 = kT_1$; $\underline{T_3} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}\cdot n^2\cdot T_1 = k\cdot n^2\cdot T_1$ и $\underline{T_4} = (V_2/V_1)^2\cdot T_1$ $\underline{T_4 = n^2\, T_1}$

9. КПД тепловой машины $\eta = 1 - Q_X/Q_H = 1 - \frac{3T_3 + T_4 - 4T_1}{4T_3 - 3T_1 - T_2} = 1 - \frac{(3kn^2 + n^2 - 4)\cdot T_1}{(4kn^2 - 3 - k)\cdot T_1}$

10. $\eta = 1 - \frac{(3k+1)\,n^2 - 4)\cdot T_1}{(4n^2 - 1)k - 3)\cdot T_1} = 1 - \frac{(7\cdot 9 - 4)\cdot T_1}{(35\cdot 2 - 3)\cdot T_1} = 11{,}9\ \%$

Критерии оценивания

За 1-й пункт – 1 балл

За 2-й пункт – 1 балл

За 3-й пункт – 1 балл

За 4-й пункт – 1 балл

За 5-й пункт – 1 балл

За 6-й пункт – 1 балл

За 7-й пункт – 1 балл

За 8-й пункт – 1 балл

За 9-й пункт – 1 балл

За 10-й пункт – 1 балл

В 10-ом пункте задачи, все числа должны быть проставлены, если это не так, то снимается 1 балл

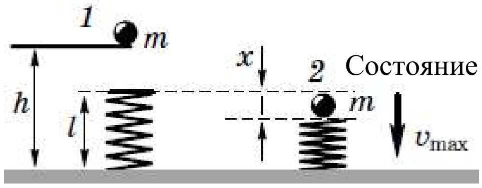
Если задача не решена, но есть мысли, направленные на решение, то можно поставить «утешительные» до 2 баллов.

Задача № 3. *Пружина*

Возможное решение

1) Максимальный импульс шарика достигается при максимальной скорости $p_{max} = mv_{max}$.
2) Скорость будет максимальна, когда шарик будет проходить положение равновесия. При этом сумма сил, действующих на шарик, равна нулю: $mg - kx = 0$ Соответствующий рисунок приведён ниже.

Начальное состояние



Состояние в положение равновесия

3) Закон сохранения энергии при переходе системы из состояния 1 в состояние 2 имеет вид:

$$mg(h-l+x)=\frac{mv_{max}^2}{2}+\frac{kx^2}{2} \quad \text{или так} \quad m^2g(h-l+x)=\frac{p_{max}^2}{2}+\frac{mkx^2}{2}$$

4) Из предыдущего получим $p_{max}=m\sqrt{2g(h-l)-\frac{mg^2}{k}}$ = 0,288 кг·м/с

Критерии оценивания

За 1-й пункт – 2 балла

За 2-й пункт – 3 балла

За 3-й пункт – 3 балла

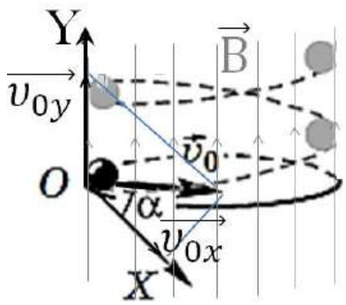
За 4-й пункт – 2 балла

В расчётной части задачи, все числа должны быть проставлены, если это не так, то снимается 1 балл в каждом таком пункте

Если задача не решена, но есть мысли, направленные на решение, то можно поставить «утешительные» до 2 баллов.

Задача № 4 *Винтовая линия*

Возможное решение



1. Введём систему координат в точке вхождения электрона в магнитное поле: ось OX , направленную по касательной к винтовой линии и перпендикулярно вектору B; ось OY , Направленную параллельно вектору магнитной индукции (B)
2. Разложим скорость влетевшего электрона – υ_0 на составляющие: вдоль оси OX направленную по касательной к винтовой линии и перпендикулярно вектору B – $\upsilon_{ox}=\upsilon_0\cdot\sin\alpha$ и составляющую вдоль оси OY – $\upsilon_{oy}=\upsilon_0\cdot\cos\alpha$ (см. рис.).
3. Горизонтальная составляющая скорости обеспечивает вращение по окружности с периодом $T=\frac{2\pi R}{\upsilon_{0x}}$.
4. Сила Лоренца, так же определяется горизонтальной составляющей скорости, $e\upsilon_{0x}B=\frac{m\upsilon_{0x}^2}{R}$
5. Шаг винтовой линии $h=\upsilon_{0y}\cdot T=\upsilon_{0y}\cdot\frac{2\pi R}{\upsilon_{0x}}$.
6. Из (4) найдём $\upsilon_{0x}=\frac{eBR}{m}$
7. Из (5) найдём $\upsilon_{0y}=\frac{h}{2\pi R}\cdot\frac{eBR}{m}=\frac{eBh}{2\pi m}$
8. Тогда $\upsilon_0=\sqrt{\upsilon_{0x}{}^2+\upsilon_{0y}{}^2}=\sqrt{\left(\frac{eBR}{m}\right)^2+\left(\frac{eBh}{2\pi m}\right)^2}=\frac{eBR}{m}\cdot\sqrt{1+\left(\frac{h}{2\pi R}\right)^2}=$

$$\frac{1{,}6\cdot10^{-19}\cdot100\cdot10^{-6}\cdot5\cdot10^{-2}}{9{,}1\cdot10^{-31}}\cdot\sqrt{1+\left(\frac{20}{2\cdot\pi\cdot5}\right)^2}=1{,}04\cdot10^6 \text{ м/с} \;\blacksquare$$

9. $eU = \frac{mv^2}{2e}$, откуда $U = \frac{eB^2R^2}{2m}\cdot\left(1 + \left(\frac{h}{2\pi R}\right)^2\right) = \frac{1{,}6\cdot10^{-19}\cdot10^4\cdot10^{-12}\cdot25\cdot10^{-4}}{2\cdot9{,}1\cdot10^{-31}}\cdot\left(1 + \left(\frac{20}{2\cdot\pi\cdot5}\right)^2\right) =$

= 3,07 кВ ■

Критерии оценивания

За 1-й пункт – 1 балл

За 2-й пункт – 2 балла

За 3-й пункт – 1 балл

За 4-й пункт – 1 балл

За 5-й пункт – 1 балл

За 6-й пункт – 1 балл

За 7-й пункт – 1 балл

За 8-й пункт – 1 балл

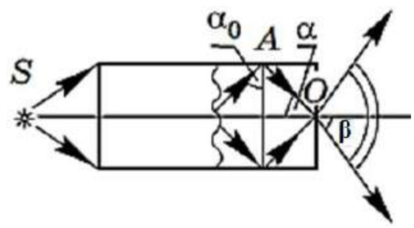
За 9-й пункт – 1 балл

В расчётной части задачи, все числа должны быть проставлены, если это не так, то снимается 1 балл в каждом таком пункте

Если задача не решена, но есть мысли, направленные на решение, то можно поставить «утешительные» до 2-х баллов.

Задача № 5 *Световод*

Возможное решение



1. Внутри световода распространяются только лучи, падающие на его боковую поверхность под углами $\alpha \geq \alpha_0$ (см. рис.).
2. Луч, вышедший через центр торца световода, в точке А претерпел полное внутреннее отражение, поэтому угол падения в центр торца $\alpha = 90° - \alpha_0$.
3. Угол преломления β найдем из закона преломления:

$$\sin\beta = n\sin\alpha = n\sin(90° - \alpha_0) = n\cos\alpha_0\,; \qquad \sin\beta = n\cos\alpha_0.$$

4. Угловая апертура выходящего пучка равна 2β. Известно, что для предельного угла полного внутреннего отражения $\sin\alpha_0 = \frac{1}{n}$, тогда $\cos\alpha_0 = \sqrt{1 - \frac{1}{n^2}} = \frac{\sqrt{n^2-1}}{n}$.
5. Подставив в (3) получим уравнение : $\sin\beta = \sqrt{n^2-1}$.
6. Это уравнение имеет решение, если $0 \leq \sqrt{n^2-1} \leq 1$. Следовательно, $1 < n \leq \sqrt{2}$.
7. Если выполняется условие (6) апертура пучка света $2\beta = 2\arcsin\sqrt{n^2-1}$.

   Для предельного $n = \sqrt{2}$ $2\beta = 180°$.

Критерии оценивания

За 1-й пункт – 1 балл

За 2-й пункт – 1 балл

За 3-й пункт – 2 балла

За 4-й пункт – 2 балла

За 5-й пункт – 1 балл

За 6-й пункт – 2 балла

За 7-й пункт – 1 балл

Если задача не решена, но есть мысли, направленные на решение, то можно поставить «утешительные» до 2-х баллов.