МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

вариант № 5

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Олимпиада школьников «ПОКОРИ ВОРОБЬЕВЫ ГОРЫ!»
по ФИЗИКЕ (11 класс)

УНАРОВ АЙТАЛ АЙАЛОВИЧ

Дата: 20 мая 2020 г.

ИТОГИ ПРОВЕРКИ:

№	1	2	3	4	**Σ**
В	**5**	**3**	**4**	**5**	**93**
З	**19**	**20**	**20**	**17**	

Апелляция: не подавалась

Итоговая оценка: 93 (девяносто три)

Беловик

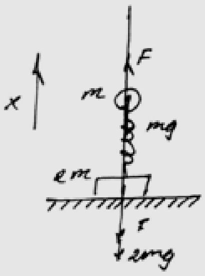
Задача 1

1) При совершении телом гармонических колебаний, его координата зависит от времени по следующему закону: $x(t) = A\cos\omega t$, при этом

$a = \frac{dV}{dt}$, $V = \frac{dx}{dt}$. $\frac{dx}{dt} = -A\omega\sin\omega t$, $\frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2\cos\omega t = A\omega^2\cos(\omega t + \pi)$

Таким образом координата и ускорение находятся в противофазе, амплитуда ускорения равна амплитуде умноженной на ω^2.

2)



Запишем II з-н Ньютона для шайбы массой m.

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = \underbrace{mg - kx}_{z}, \quad d^2z = -k\,d^2x$$

$$-\frac{m}{k}\cdot\frac{d^2z}{dt^2} = z \Rightarrow \frac{d^2z}{dt^2} + \frac{k}{m}z = 0 \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$z = mg - kx = A\cos\omega t + B\sin\omega t \Rightarrow x(t) = \frac{1}{k}(mg - A\cos\omega t)$ – зависимость деформации пружины от времени. $F(t) = kx = mg - Ak\cos\omega t$, $k = \frac{\omega^2}{m}$

По II з-ну Ньютона для груза массы M:

$$2ma = 2mg + F - N = 3mg - Ak\cos\omega t - N = 3mg - \frac{A\omega^2}{m}\cos\omega t - N = 0$$

$N = 3mg - \frac{A\omega^2}{m}\cos\omega t$, $\cos\omega t \in [-1; 1]$

$N_{max} = 3mg + \frac{A\omega^2}{m}$, $N_{min} = 3mg - \frac{A\omega^2}{m}$

Возможен случай, когда $N_{min} < 0$, это означает, что шайба оторвалась от пола, при этом $N = 0$, а в момент удара шайбы о пол $N \to \infty$

Отв: 1) Если $\frac{A\omega^2}{m} < 3mg$: $N_{max} = 3mg + \frac{A\omega^2}{m}$; $N_{min} = 3mg - \frac{A\omega^2}{m}$

2) Если $\frac{A\omega^2}{m} > 3mg$: $N_{max} \to \infty$; $N_{min} = 0$

Сила давления равна силе реакции опоры

Беловик

Задача 2

1) $p = \alpha V$

По I-му закону термодинамики:

$dQ = \frac{3}{2}\nu R dT + p dV$

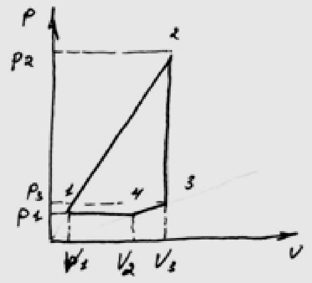
По уравнению Менделеева-Клапейрона:

$pV = \nu RT \Rightarrow \alpha V^2 = \nu RT \Rightarrow 2\alpha V dV = \nu R dT$

$dQ = 3\alpha V dV + \alpha V dV = 4\alpha V dV$, $dA = p dV = \alpha V dV$

Отв: $\frac{Q}{A} = 4$

2)



Точка с наименьшей температурой соответствует точке 1 на графике, т.к. произведение его давления и объема наименьшее. Аналогично точка с наибольшей температурой — 2.

Т.к. 12 и 43 лежат на прямых, проходящих через начало координат

$\frac{p_1}{V_1} = \frac{p_2}{V_3}$; $\frac{p_1}{V_2} = \frac{p_3}{V_3}$

$p_1 V_2 = \frac{3}{2}\nu R T_1$; $p_3 V_3 = 6\nu R T_1$; $p_2 V_3 = \alpha \nu R T_1$; $p_1 V_1 = \nu R T_1$

$p_1 V_2 = \frac{3}{2} p_1 V_1$; $p_3 V_3 = 6 p_1 V_1$; $p_2 V_3 = \alpha p_1 V_1$

$\alpha = \frac{p_2 V_3}{p_1 V_1} = \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^2$; $V_2 = \frac{3}{2} V_1$; $V_3^2 = 6 V_1 V_2 = 9 V_1^2 \Rightarrow \left(\frac{V_3}{V_1}\right)^2 = \alpha = 9$ – наиб. температура больше наименьшей в 9 раз

$Q_{12} = \frac{3}{2}(p_2 V_3 - p_1 V_1) + \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(V_3 - V_1) = \frac{3}{2}(p_2 V_3 - p_1 V_1) + \frac{1}{2}(\cancel{p_1 V_3} - p_1 V_1 + p_2 V_3 - \cancel{p_2 V_1})$

$= 2(p_2 V_3 - p_1 V_1)$

$Q_{23} = \frac{3}{2}(p_3 - p_2) V_3$

$Q_{34} = \frac{3}{2}(p_1 V_2 - p_3 V_3) + \frac{1}{2}(p_1 + p_3)(V_2 - V_3) = \frac{3}{2}(p_1 V_2 - p_3 V_3) + \frac{1}{2}(p_1 V_2 - \cancel{p_1 V_3} + \cancel{p_3 V_2} - p_3 V_3) =$

$= 2(p_1 V_2 - p_3 V_3)$

$$Q_{41} = \frac{3}{2}(p_1V_1 - p_1V_2) + \frac{2}{2}(p_1V_1 - p_1V_2) = \frac{5}{2}(V_1 - V_2)p_1$$

$$Q_H = Q_{12} \; ; \qquad Q_x = Q_{23} + Q_{34} + Q_{41}$$

$$Q_H = 2(p_2V_3 - p_1V_1)$$

$$Q_x = \frac{3}{2}(p_3 - p_2)V_3 + 2(p_1V_2 - p_3V_3) + \frac{5}{2}(V_1 - V_2)p_1$$

$$\eta = \frac{Q_H + Q_x}{Q_H}$$

Из предыдущего пункта: $V_2 = \frac{3}{2}V_1$; $V_3 = 3V_1$

$$p_2 = \frac{V_3}{V_1}p_1 = 3p_1 \; ; \quad p_3 = \frac{V_3}{V_2}p_1 = 2p_1$$

$$Q_H = 2(9p_1V_1 - p_1V_1) = 16p_1V_1$$

$$Q_x = -\frac{3}{2}(p_1)3V_1 + 2\left(\frac{3}{2}p_1V_1 - 6p_1V_1\right) + \frac{5}{2}\left(V_1 - \frac{3}{2}V_1\right)p_1 = -\frac{9}{2}p_1V_1 - 9p_1V_1 - \frac{5}{4}p_1V_1$$

$$= -\frac{18+5+36}{4}p_1V_1 = -\frac{59}{4}p_1V_1$$

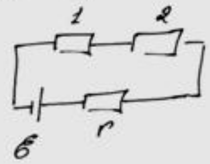
$$\eta = \frac{16p_1V_1 - \frac{59}{4}p_1V_1}{16p_1V_1} = 1 - \frac{59}{64} = \frac{5}{64}$$

Отв: $\eta = \frac{5}{64}$; $T_{max} = 9T_{min}$

Беловик

Задача 3

1)



По II з-ну Кирхгофа: $\mathcal{E} = U_1 + U_2 + I_0 r$

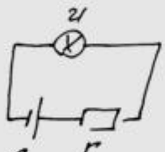
$I_0 = f_1(U_1)$; $I_0 = f_2(U_2)$

$U_1 = f_1^{-1}(I_0)$; $U_2 = f_2^{-1}(U_2)$, где f^{-1} – обратная ф-ция

$\mathcal{E} = f_1^{-1}(I_0) + f_2^{-1}(I_0) + I_0 r$. Общая сила тока I_0 ~~равн~~ есть корень данного уравнения.

2)

Подключим одну лампу к одной батарее. Т.к. мощность на ней не равна $P_0 = I_0 U_0$, можно сказать, что ЭДС не идеален.



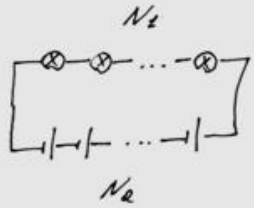
$I(U) = I_0\sqrt{\frac{U}{U_0}} \Rightarrow U = U_0\left(\frac{I}{I_0}\right)^2$

$U_0 = U + Ir$

$P = \frac{27}{64}P_0 = \frac{27}{64} I_0 U_0 = IU = U_0\left(\frac{I}{I_0}\right)^2 \cdot I = U_0 \frac{I^3}{I_0^2}$

$I^3 = I_0^3 \frac{27}{64} \Rightarrow I = \frac{3}{4} I_0$ – ток, проходящий по лампе.

$U_0 = U + Ir = U_0\left(\frac{I}{I_0}\right)^2 + Ir = \frac{9}{16}U_0 + \frac{3}{4}I_0 r \Rightarrow \frac{3}{4}I_0 r = \frac{7}{16}U_0 \Rightarrow \boxed{r = \frac{7U_0}{12 I_0}}$



N_1 – кол-во ламп ; N_2 – кол-во ЭДС

По II з-ну Кирхгофа:

$N_2 U_0 = I_0 r N_2 + U_0 N_1 = \frac{7}{12} U_0 N_2 + U_0 N_1$

$\frac{5}{12} N_2 = N_1 \Rightarrow 5N_2 = 12 N_1 \Rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{5}{12}$ – при таком отношении числа ламп к числу ЭДС, лампы будут работать в номинальном режиме, т.к. $\frac{5}{12}$ не сокращается, минимальные значения N_1 и N_2 равны $N_1 = 5$ $N_2 = 12$

Отв: число ламп – 5
число ЭДС – 12

Беловик

Задача 4

1) По определению поперечное увеличение линзы равно: $\Gamma = \frac{f}{d}$

Для собирающей линзы: $\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F} \Rightarrow f = \frac{dF}{d-F} \Rightarrow \Gamma = \frac{F}{d-F}$ - это, если изображение действ., т.е. при $d > F$, или $d < F$: $-\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{F} \Rightarrow f = \frac{dF}{F-d} \Rightarrow \Gamma = \frac{F}{F-d}$

Для общего случая $\Gamma = \frac{F}{|F-d|}$

Для рассеивающей: $-\frac{1}{f} + \frac{1}{d} = -\frac{1}{F} \Rightarrow f = \frac{dF}{d+F} \Rightarrow \Gamma = \frac{F}{d+F}$

2) Т.к. изображение получено на экране можно сказать, что линза - собирающая, а изображение - действительное, т.е. $d > F$.

$$\Gamma_1 = \frac{F}{d_1 - F} = 2 \quad ; \quad \Gamma_2 = \frac{F}{d_2 - F} = 5 \Rightarrow \frac{d_1}{F} - 1 = \frac{1}{2} \Rightarrow d_1 = \frac{3}{2}F$$

$$\frac{d_2}{F} - 1 = \frac{1}{5} \Rightarrow d_2 = \frac{6}{5}F$$

$$S = d_1 - d_2 = \left(\frac{3}{2} - \frac{6}{5}\right)F = \frac{15-12}{10}F = \frac{3}{10}F = 3\text{ см} \Rightarrow F = 10\text{ см}$$

$$d_1 = \frac{3}{2}F = 15\text{ см} \quad ; \quad d_2 = \frac{6}{5}F = 12\text{ см}$$

$$f_1 = \frac{d_1 F}{d_1 - F} = \frac{15 \cdot 10}{5}\text{ см} = 30\text{ см} \quad ; \quad f_2 = \frac{d_2 F}{d_2 - F} = \frac{12 \cdot 10}{2}\text{ см} = 60\text{ см}$$

$$S' = f_2 - f_1 = 30\text{ см}$$

Отв: $S' = 30$ см