

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-03

Часть 1

1.1) $V_0 = \sqrt{\frac{gS}{\sin 2\alpha}} \approx 14 \text{ м/с.}$

2) В высшей точке траектории $a_n = g = \frac{(V_0 \cos \alpha)^2}{R}$. Ускорение модели в этой точке сонаправлено с ускорением свободного падения и равно по величине $\tilde{a}_n = \frac{V_0^2}{16R} = g \frac{1}{(4 \cos \alpha)^2} = 0,25g$, следовательно, $\vec{F} \uparrow \downarrow m\vec{g}$. По второму закону Ньютона $m\tilde{a}_n = mg - F$, отсюда $F = m(g - \tilde{a}_n) = 1,0 \cdot (10,0 - 2,5) = 7,5 \text{ Н.}$

2.1) В процессе торможения величина ускорения $a = g(\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha) \approx 2 \text{ м/с}^2$.

Далее $\frac{h}{\sin \alpha} = 0,5aT^2$, $T = \sqrt{\frac{2h}{\sin \alpha \cdot g \cdot (\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha)}} = 2 \text{ с.}$

2) Из равенства $V_{MAX}^2 = 2g(\sin \alpha - \mu_2 \cos \alpha) \frac{H-h}{\sin \alpha} = 2g(\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha) \frac{h}{\sin \alpha}$

$$H = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\text{tg} \alpha - \mu_2} h = 3 \text{ м.}$$

3. 1) $N = mg \frac{R}{\sqrt{l(l+2R)}} \approx 2,1 \text{ Н.}$

2) В задаче рассматривается конический маятник во вращающейся жидкости. В этом случае наряду с силами: \vec{T} - натяжения и $m\vec{g}$ - тяжести, на шарик действует \vec{F}_A - сила Архимеда. Центр масс шарика движется в горизонтальной плоскости по окружности радиуса $(l+R)\sin \alpha$ с круговой частотой ω .

По второму закону Ньютона $m\vec{a} = \vec{T} + m\vec{g} + \vec{F}_A$. Переход к проекциям сил и ускорения на вертикальную ось и на радиальное направление приводит к двум соотношениям:

$$mg = \rho_B Vg + T \cos \alpha, \quad m\omega^2(l+R)\sin \alpha = \rho_B V\omega^2(l+R)\sin \alpha + T \sin \alpha,$$

исключив T из которых, находим: $\cos \alpha = \frac{g}{\omega^2(l+R)} = \frac{10}{10^2 \cdot 0,2} = 0,5$, $\alpha = \frac{\pi}{3}$ рад.

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-03

Часть 2

4. 1) $Q_1 = mc(t - t_0) \approx 2300 \text{ Дж.}$

2) $q_{исп} = m \cdot r = 12430 \text{ Дж.}$

Плотность насыщенного водяного пара при $t = 100^\circ \text{C}$ $\rho = \frac{\mu P}{RT} = 0,58 \text{ кг/м}^3$.

Пар занимает объем $V = \frac{m}{\rho} \approx 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, поршень в процессе испарения поднялся на

$$\Delta h_1 = \frac{V}{S} \approx 0,19 \text{ м.}$$

Далее в изобарном процессе

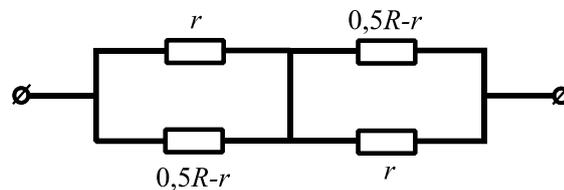
$$q_2 = mc_p \Delta T = Q_2 - r \cdot m = 17430 - 12430 = 5000 \text{ Дж.}$$

С учетом уравнений состояния получаем $PS\Delta h_2 = \frac{m}{\mu} R\Delta T = \frac{R}{\mu c_p} q_2$.

$$\text{Отсюда } \Delta h_2 = \frac{R}{PS\mu c_p} q_2 \approx 0,21 \text{ м.}$$

Поршень переместится на $H = \Delta h_1 + \Delta h_2 = 0,4 \text{ м.}$

5. 1) Электрическая схема цепи представлена на следующем рисунке



При $r = \frac{R}{12}$ эквивалентное сопротивление цепи $\frac{5}{36} R$.

В этом случае на кольце рассеивается мощность $P = \frac{36 U^2}{5 R} = 10,8 \text{ Вт.}$

2) Для ответа на второй вопрос задачи вычислим ток через переключку при произвольном положении переключки

$$I = \frac{U}{2} \left(\frac{1}{\tilde{r}} - \frac{1}{0,5R - \tilde{r}} \right).$$

Подстановка численных значений: $I = \frac{2}{3} \text{ А}$, $U = 6 \text{ В}$, $R = 24 \text{ Ом}$, приводит к

квадратному уравнению

$$\tilde{r}^2 - 21\tilde{r} + 54 = 0,$$

решение которого $\tilde{r} = \frac{R}{8} = 3 \text{ Ом}$. Отсюда $n = \frac{0,5R - \tilde{r}}{\tilde{r}} = \frac{12 - 3}{3} = 3$.

3) В этом случае эквивалентное сопротивление цепи

$$2 \cdot \frac{(0,5R - \tilde{r})\tilde{r}}{0,5R} = \frac{3}{16} R$$

Мощность, рассеиваемая в цепи, равна $P_2 = \frac{16 U^2}{3 R} = 8 \text{ Вт.}$

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-04

Часть 1

1. 1) $V_0 = \frac{1}{\sin \alpha} \sqrt{2gH} = 20 \text{ м/с.}$

2) В малой окрестности высшей точки полета камня

$$g = \frac{(V_0 \cos \alpha)^2}{R}, \quad 0,5g = \frac{V^2}{R}.$$

$$V = \frac{V_0 \cos \alpha}{\sqrt{2}} = \frac{V_0}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ м/с.}$$

2.1) В процессе торможения величина ускорения

$$a = g(\mu_1 \cos \alpha - \sin \alpha) = 2 \text{ м/с}^2.$$

Далее $V_{MAX}^2 = 2a \frac{h}{\sin \alpha}$, $V_{MAX} = 4,5 \text{ м/с.}$

2) $S = \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sin \alpha (\text{tg} \alpha - \mu_2)} h = \frac{0,50 - 0,06}{0,28 \left(\frac{7}{24} - 0,06 \right)} \cdot 1,4 \approx 9,5 \text{ м.}$

3. 1) $F = \frac{mg}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{l+R} \right)^2}} = 2 \frac{mg}{\sqrt{3}} \approx 60 \text{ Н.}$

2) $T = 2\pi \sqrt{\frac{(l+R) \cos \alpha}{g}} \approx 0,56 \text{ с.}$

Олимпиада «Физтех». 2021 г. Физика. Решения. Вариант 10-04

Часть 2

4. 1) $Q_1 = mc(t - t_0) = 3344 \text{ Дж.}$

В процессе испарения подведено $Q_2 = mr = 22600 \text{ Дж.}$

К моменту полного испарения подведено $Q_1 + Q_2 = mc(t - t_0) + mr = 25944 \text{ Дж.}$

Пар занимает объем $V = \frac{m}{\rho} \approx 17,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$

Далее в изобарном процессе

$$Q_p = mc_p \Delta T = Q - (Q_1 + Q_2) = 33000 - 25944 = 7056 \text{ Дж.}$$

С учетом уравнений состояния в этом процессе

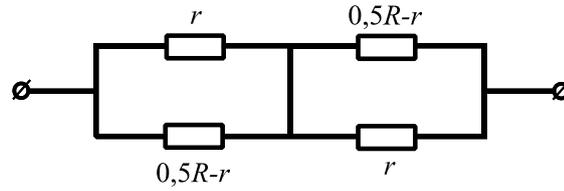
$$P_0 \Delta V_2 = \frac{m}{\mu} R \Delta T = \frac{R}{\mu c_p} Q_p$$

приходим к ответу $\Delta V_2 = \frac{R}{P_0 \mu c_p} Q_p \approx 14,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$

Объем системы в конечном состоянии

$$V = \frac{m}{\rho} + \frac{R}{P_0 \mu c_p} q_2 = (17,2 + 14,8) \cdot 10^{-3} \approx 32 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

5. 1) Электрическая схема цепи представлена на следующем рисунке



При $r = \frac{R}{4}$ эквивалентное сопротивление цепи $\frac{R}{4}$.

В этом случае на кольце рассеивается мощность $P = 4 \frac{U^2}{R} = 32 \text{ Вт}$.

2) Для ответа на второй вопрос задачи вычислим ток через перемычку при произвольном ее положении

$$I = \frac{U}{2} \left(\frac{1}{\tilde{r}} - \frac{1}{0,5R - \tilde{r}} \right).$$

Подстановка численных значений: $I = 0,5 \text{ А}$, $U = 24 \text{ В}$, $R = 72 \text{ Ом}$, приводит к квадратному уравнению

$$\tilde{r}^2 - 84\tilde{r} + 864 = 0,$$

решение которого $\tilde{r} = \frac{R}{6} = 12 \text{ Ом}$. Отсюда

$$\beta = \frac{\pi}{2} - \pi \frac{\tilde{r}}{0,5R} = \frac{\pi}{2} - \pi \frac{12}{36} = \frac{\pi}{6}.$$

3) В этом случае эквивалентное сопротивление цепи

$$2 \cdot \frac{(0,5R - \tilde{r})\tilde{r}}{0,5R} = \frac{2}{9} R.$$

Мощность сил в источнике $P_2 = \frac{9 U^2}{2 R} = 36 \text{ Вт}$.