

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

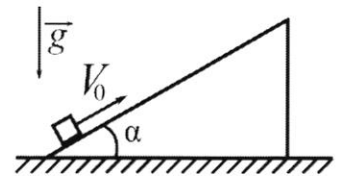
1. Фейерверк массой $m = 1 \text{ кг}$ стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через $T = 3 \text{ с}$ разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Суммарная кинетическая энергия осколков сразу после взрыва $K = 1800 \text{ Дж}$. На землю осколки падают в течение $\tau = 10 \text{ с}$.

1) На какой высоте H взорвался фейерверк?

2) В течение какого промежутка времени τ осколки будут падать на землю? *Первый осколок*

Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол α такой, что $\cos \alpha = 0,6$. Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают некоторую начальную скорость V_0 (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину и поднимается на максимальную высоту



$H = 0,2 \text{ м}$. Масса клина в два раза больше массы шайбы. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

1) Найдите начальную скорость V_0 шайбы.

2) Найдите скорость V клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы.

3. По внутренней поверхности проволочной сферы равномерно движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Сила, с которой модель действует на сферу, в два раза больше силы тяжести, действующей на модель. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

1) Найдите ускорение a модели.

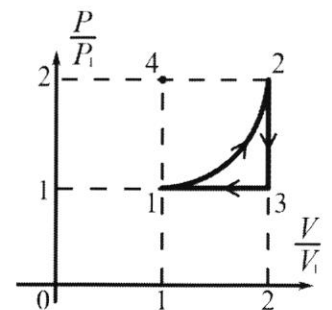
2) Вычислите минимальную допустимую скорость V_{MIN} равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 45^\circ$. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,8$, радиус сферы $R = 1 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 4. Считать заданными давление P_1 и объём V_1 .

1) Какое количество Q теплоты подведено к газу в процессе расширения?

2) Найдите работу A газа за цикл.

3) Найдите КПД η цикла.



5. Заряд $Q > 0$ однородно распределен по сфере радиуса R . В первом опыте на расстоянии $3R$ от центра сферы помещают небольшой по размерам шарик с зарядом $q > 0$.

1) Найдите силу F_1 , действующую на заряженный шарик.

Во втором опыте заряд q однородно распределяют по стержню длины R , стержень помещают на прямой, проходящей через центр заряженной сферы. Ближайшая к центру сферы точка стержня находится на расстоянии $3R$ от центра.

2) Найдите силу F_2 , с которой заряженный стержень действует на заряженную сферу.

Все силы, кроме кулоновских, считайте пренебрежимо малыми. Коэффициент пропорциональности в законе Кулона k . Явлениями поляризации пренебрегите.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\text{№1. } v_k = 0 \Rightarrow v_0 = gT \Rightarrow H = \frac{gT^2}{2} = \frac{10 \cdot 3^2}{2} = 45 \text{ м.}$$

В момент до разрыва и сразу после потенциальная энергия осколка равна, кинетическая энергия до боя равна 0.

$$\frac{(m_1 + m_2 + \dots + m_k) \cdot v^2}{2} = K = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800}{1}} = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

скорость осколка.

Рассмотрим первой и последней осколки, пришедшие на землю. Это будут полетевшие вертикально вниз и вертикально вверх, т.к. у них наибольшая/наименьшая ^{начальная} скорости по вертикальной оси у (вниз).

Вверх полетевший осколок будет в высшей точки траектории через $60 - gt = 0 \Rightarrow t = 6 \text{ с} \Rightarrow$ его время возвращения на высоту $H - 12 \text{ с}$, при чем он вернется с той же по модулю скоростью $60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Значит дальше его движение будет такое же как у вниз летящего \Rightarrow разница в их временах $12 \text{ с} \Rightarrow$ от падения 1 до падения последнего осколка пройдет 12 с .

Вычислим время падения вниз летящего осколка

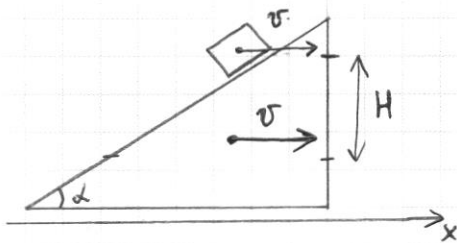
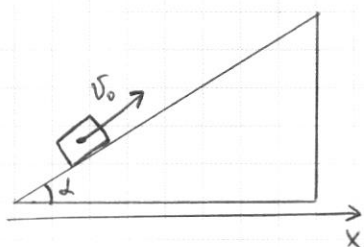
$$S = \frac{v_k^2 - v_0^2}{2g} \Rightarrow v_k^2 = 2gS + v_0^2 = 2 \cdot 10 \cdot 45 + 3600 = 4500 \Rightarrow v_k = 30\sqrt{5} \Rightarrow$$

$$t = \frac{v_k - v_0}{g} = \frac{30\sqrt{5} - 60}{10} = 3\sqrt{5} - 6 \approx 3 \cdot 2,25 - 6 = 0,75 \text{ с} \Rightarrow \tau = 12,75 \text{ с}$$

Ответ: $H = 45 \text{ м}$; $\tau = 12 \text{ с}$ (если имеется ввиду время между первой и последним осколком); $\tau = 12,75$ (если имеется ввиду время между взрывом и последним осколком)

№2. Сначала:

потом:



m - масса шайбы; $2m$ - масса клина

На систему действует одна внешняя сила (не считая сил тяжести) это сила реакции опоры со стороны поверхности. Она и сила тяжести не проецируются на $x \Rightarrow$ на x можем записать ЗСИ для системы:

$$m v_0 \cos \alpha = 3m v \Rightarrow v_0 \cos \alpha = 3v = 0,6 v_0 \Rightarrow v = 0,2 v_0 \Rightarrow v_0 = 5v$$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{m v_0^2}{2} = \frac{3m v^2}{2} + mgH \Rightarrow \frac{25v^2}{2} = \frac{3v^2}{2} + mgH \Rightarrow$$

$$22v^2 = 2gH \Rightarrow v = \sqrt{\frac{gH}{11}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 0,2}{11}} = \sqrt{\frac{2}{11}} \approx \sqrt{0,18} = 0,3 \sqrt{2} = 0,3 \cdot 1,41 = 0,423 = 0,42 \frac{m}{c}$$

$$v_0 = 5v = 2,1 \frac{m}{c}$$

б) $m = m_{ш} = m_{к}$

$$\text{ЗСИ } x: m v_0 \cos \alpha = 2m v \Rightarrow 0,6 v_0 = 2v \Rightarrow 0,3 v_0 = v \Rightarrow v_0 = \frac{v}{0,3}$$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{m v_0^2}{2} = \frac{2m v^2}{2} + mgH \Rightarrow v_0^2 = 2v^2 + 2gH = \frac{v^2}{0,09} \Rightarrow$$

$$2gH = v^2 \left(\frac{1}{0,09} - 2 \right) = 9v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \cdot 0,2}{9}} = \sqrt{\frac{4}{9}} = \frac{2}{3} = 0,67 \frac{m}{c}$$

Ответ: а) $2,1 \frac{m}{c}$; б) $0,67 \frac{m}{c}$

№4. Составим уравнение для процесса 1-2:

$$\left(\frac{P}{P_1} - 2 \right)^2 + \left(\frac{V}{V_1} - 1 \right)^2 = 1^2 = 1 \quad \text{Посчитаем площадь под графиком (А):}$$

$$V_1 P_1 + \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \cdot V_1 P_1 = V_1 P_1 \left(2 - \frac{\pi}{4} \right)$$

1 - (где площадь четверти круга от квадрата 1234)

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T \quad P_1 V_1 = \nu R T_1 \quad 4P_1 V_1 = \nu R T_2 \Rightarrow \Delta T = T_2 - T_1 = \frac{4P_1 V_1}{\nu R} - \frac{P_1 V_1}{\nu R} = \frac{3P_1 V_1}{\nu R}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \cdot \frac{3P_1 V_1}{\nu R} = \frac{9P_1 V_1}{2} = 4,5 P_1 V_1$$

$$Q = A + \Delta U = P_1 V_1 \left(4,5 + 2 - \frac{\pi}{4} \right) = P_1 V_1 (6,5 - 0,78) = P_1 V_1 \cdot 5,72$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$A = \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) p_1 V_1 = (1 - 0,78) p_1 V_1 = 0,22 p_1 V_1$$

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{0,22 p_1 V_1}{5,72 p_1 V_1} = 0,038 \Rightarrow \text{в процентах } 3,8\%$$

В процессах 31 и 23 работа отриц./равна 0 \Rightarrow в A_n не учит.

В процессах 23 $\Delta U < 0$ $A = 0 \Rightarrow Q < 0$

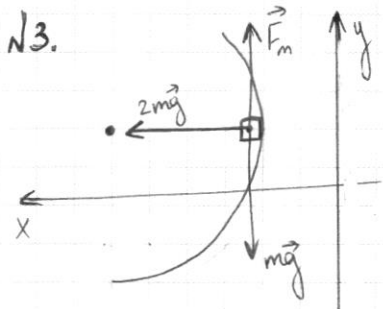
31 $A < 0$ $\Delta U < 0 \Rightarrow Q < 0$

Ответ: а) $Q = 5,72 p_1 V_1$

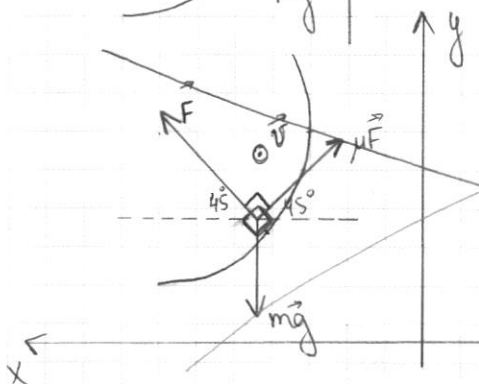
б) $A = 0,22 p_1 V_1$

в) 3,8% (0,038)

№3.



в проекции на x ускорение направлено вправо
 $2mg = ma \Rightarrow a = 2g$

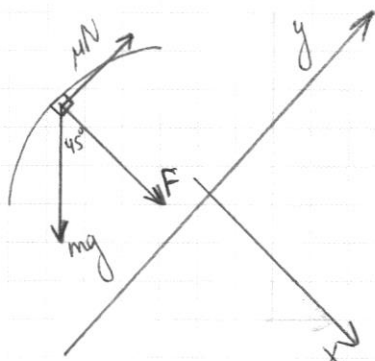


В нижней точке траектории:
 $F \sin 45 + \mu F \sin 45 = mg$ (ось y)

$$F \cos 45 - \mu F \cos 45 = ma = F \sin 45 (1 - \mu)$$

$$F \sin 45 (1 + \mu) = mg$$

$$\frac{ma(1 + \mu)}{(1 - \mu)} = mg \Rightarrow a = \frac{g(1 - \mu)}{1 + \mu} = \frac{10 \cdot 0,2}{1,2} = \frac{2}{1,2} = \frac{20}{12} = \frac{5}{3} \frac{m}{c^2}$$



y: $0 = \mu N - mg \sin \alpha$

$N = F$ $\alpha = 45^\circ$

x: $F + mg \cos \alpha = ma_x$

$F = \frac{mg \sin \alpha}{\mu}$

$$\frac{mg \sin \alpha}{\mu} + mg \sin \alpha = ma_x$$

$$\frac{10 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{0,8} + 10 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = a_x = \frac{50\sqrt{2}}{8} + 5\sqrt{2} = 1,41 \cdot (6,25 + 5) =$$

$$= 1,41 \cdot 11,25 = 15,86 \quad a_x = 15,86 \frac{m}{c^2} = \frac{v^2}{R} \Rightarrow v \approx 4 \frac{m}{c}$$

т.к. ускорение максимально в верхней точке траектории со скоростью $4 \frac{m}{c}$ он точно сможет двигаться по этой окружности.

$$\text{Ns. a) } F = Eq = \frac{kQ}{9R^2} q$$

б) разобьем на маленькие кусочки Δl и введем $\lambda = \frac{q}{R}$

$$\Delta F_0 = E \Delta q = \frac{kQ}{r^2} \Delta l \Rightarrow F_{\text{наш}} = \int_{3R}^{4R} \frac{kQ}{r^2} \Delta l = \left(\int_{3R}^{4R} \frac{\Delta l}{r^2} \right) kQ \lambda$$

$$E = \frac{kQ}{9R^2}$$

$$E_q = F = \frac{kQq}{9R^2}$$

Q22 / 572

22 / 572

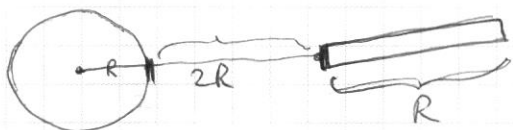
11 / 286

286 / 11

$\frac{286}{22} \cdot \frac{11}{26}$

1 / 26

$\frac{-100}{78} \left| \frac{26}{0,038} \right.$



$$\lambda = \frac{q}{R}$$

$$\left(\frac{\Delta l}{r}\right)' =$$

$$\lambda \cdot \Delta l \cdot E = \lambda \Delta l \frac{kQ}{r^2} \quad \left(-\frac{1}{r}\right)' = \left(-r^{-1}\right)' = r^{-2} = \frac{1}{r^2}$$

$$\int_{2R}^{3R} \lambda \Delta l \frac{kQ}{r^2} = \lambda kQ \int_{2R}^{3R} \frac{\Delta l}{r^2}$$

~~$P_1 + V_1$~~

разм. коэф.

$$\frac{P}{P_1} x = \frac{V}{V_1} y = l$$

$$\frac{-\Delta l}{r}$$

$$\frac{r^2 - \frac{\pi r^2}{4}}{r^2} = 1 - \frac{\pi}{4}$$

$$P_1 x = l = V_1 y$$

~~A~~

$$r^2 - \frac{\pi r^2}{4} + r^2 = 2r^2 - \frac{\pi r^2}{4} = A$$

$$(P - 2P_1)^2 x^2 + (V - V_1)^2 y^2 = l^2 \frac{kQq\lambda}{r^2}$$

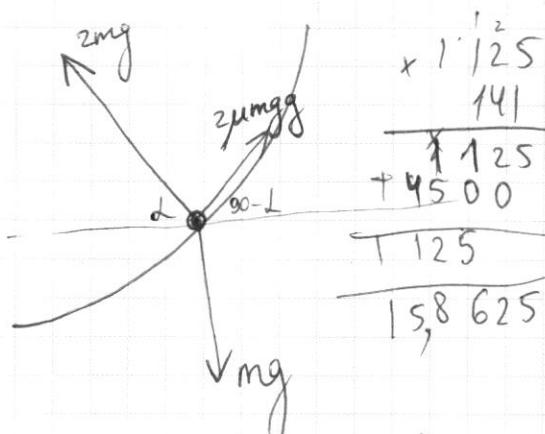
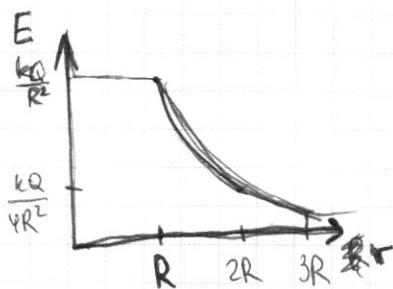
$$(P - 2P_1)^2 \frac{l^2}{P_1^2} + (V - V_1)^2 \frac{l^2}{V_1^2} = l^2$$

$$\frac{(P - 2P_1)^2}{P_1^2} + \frac{(V - V_1)^2}{V_1^2} = 1$$

$$\left(\frac{P}{P_1} - 2\right)^2 + \left(\frac{V}{V_1} - 1\right)^2 = 1$$

$$2 \sin \alpha + 2 \mu \cos \alpha = 1$$

$$2 \sin \alpha + 1,6 \cos \alpha = 1$$



$\times 1,125$
141

1125
+ 4500

1125

158625

$$2mg \cos \alpha = 2\mu mg \sin \alpha$$

$$\cos \alpha = \mu \sin \alpha$$

$$\tan \alpha = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0,8} = \frac{1,10}{8} = \frac{5}{4}$$

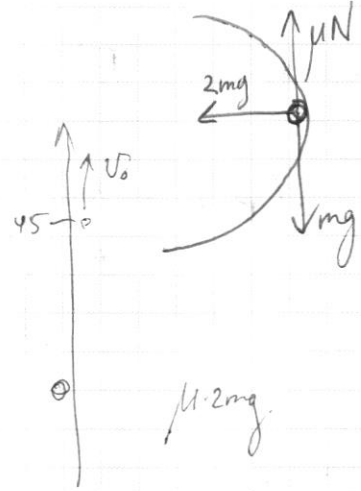
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{mv^2}{2} = mgh + \frac{mv^2}{2} + \frac{2mv^2}{2} \quad 2,2$$

$$S = v_{cp} t \quad v_k = 0 \quad v_0 = gt$$

$$S = \frac{gt^2}{2} = \frac{10 \cdot 9}{2} = 45 \text{ м}$$

$$\frac{mv^2}{2} = 1800 \Rightarrow v^2 = 3600 \Rightarrow v = 60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



$$y = 0 = 45 + v_{kx} t_1 - \frac{gt_1^2}{2}$$

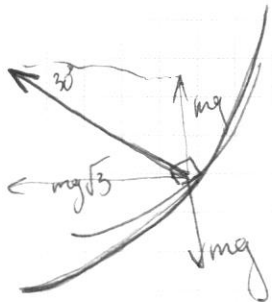
$$0 = 45 + 60 t_1 - 5 t_1^2$$

$$0 = 9 + 12 t_1 - t_1^2$$

$$t_1^2 - 12 t_1 - 9 = 0$$

$$D = 144 + 36 = 180$$

$$t_1 = \frac{12 \pm \sqrt{180}}{2} = 6 \pm \sqrt{45}$$



$$6 + \sqrt{45}$$

$$6 + 3\sqrt{5}$$

$$18 - 3\sqrt{5}$$

$$6\sqrt{5} = 12 \text{ ???}$$

$$\begin{array}{r} \times 23 \\ + 23 \\ \hline 69 \\ + 46 \\ \hline 529 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 2,2 \\ \times 2,2 \\ \hline 44 \\ 44 \\ \hline 484 \end{array}$$

$$6,75$$

$$\begin{array}{r} \times 2,25 \\ \times 2,25 \\ \hline 1125 \\ + 450 \\ \hline 50625 \end{array}$$

$$S = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$

$$S = v_0 t + \frac{(v_k - v_0) t}{2} = \left(\frac{v_k + v_0}{2} \right) t$$

$$t = \frac{v_k - v_0}{a}$$

$$\frac{v_k^2 - v_0^2}{2a} = S$$

$$\frac{v_k^2 - 60^2}{20} = 45$$

$$v_k^2 - 3600 = 900$$

$$v_k = \sqrt{4500} = 30\sqrt{5}$$

$$\frac{60 - 30\sqrt{5}}{10} = t$$

$$6 - 3\sqrt{5} + 12$$

$$18 - 3\sqrt{5}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Blank area for writing the answer, featuring a grid pattern.

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)