

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

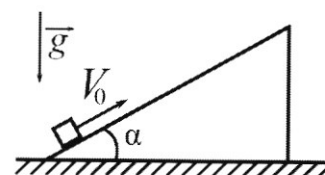
1. Фейерверк массой $m = 1 \text{ кг}$ стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через $T = 3 \text{ с}$ разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. 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?

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.

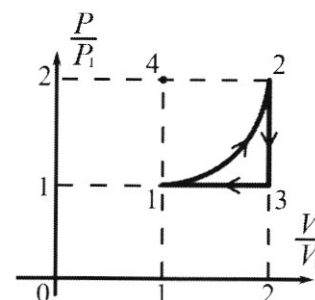
2) Вычислите минимальную допустимую скорость V_{MIN} равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 45^\circ$. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,8$, радиус сферы $R = 1 \text{ м}$. Ускорение свободного падения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

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

№1

По формуле расстояния при равноускоренном движении:

$$H = \frac{gT^2}{2} = \frac{10 \cdot 9}{2} = 45 \text{ м}$$

По условию $K = 1800 \text{ Дж}$, но $K = \frac{mV^2}{2}$, где V — скорость разлёта осколков

$$V = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1800}{1}} = 60 \text{ м/с}$$

Первыми на земле окажутся осколки, полетевшие вертикально вниз.

Пусть они оказались на земле через t_1 (с). Тогда

$$H = V \cdot t_1 + \frac{gt_1^2}{2}$$

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

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

$$D = 144 + 36 = 180$$

$$t_1 = \frac{12 - \sqrt{180}}{2} < 0 \text{ — не подходит}$$

$$t_1 = \frac{12 + \sqrt{180}}{2} = \frac{12 + 6\sqrt{5}}{2} = 6 + 3\sqrt{5} \approx 12,6 \text{ с}$$

Последними на земле окажутся осколки, полетевшие вертикально вверх.

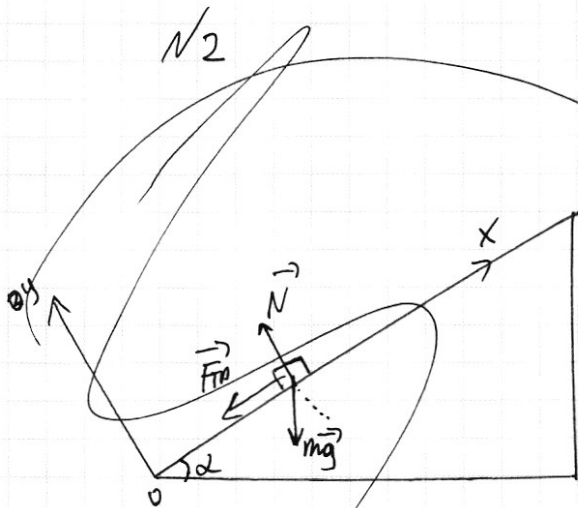
Пусть они оказались на земле через t_2 (с) своей начальной точке через t_2 (с)

Тогда $V = g \cdot \frac{t_2}{2}$

$$t_2 = \frac{2V}{g} = \frac{2 \cdot 60}{10} = 12 \text{ с}$$

Тогда всё время t_3 движения этого осколка $t_3 = t_2 + t_1 = 12 + 6 + 3\sqrt{5} = 18 + 3\sqrt{5}$

Тогда $\tau = t_3 - t_1 = 18 + 3\sqrt{5} - 6 - 3\sqrt{5} = 12 \text{ с}$ Ответ: 1) 45 м, 2) 12 с



$$Ox: mg \sin \alpha + F_{\text{тр}}$$

$$F_{\text{тр}} + mg \cdot \cos(90^\circ - \alpha) = ma,$$

a - ускорение (мань бы)

$$Oy: N = mg \cdot \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр}} + mg \cdot \cos(90^\circ - \alpha) = ma$$

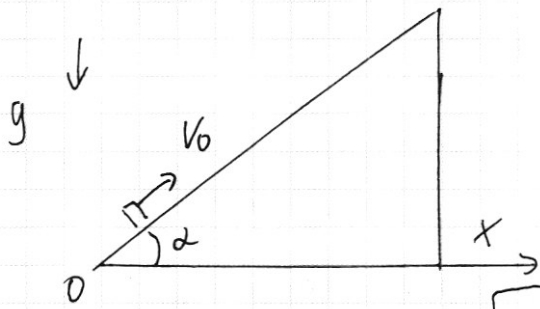
$$\mu \cdot N + mg \sin \alpha = ma$$

$$\mu \cdot mg \cdot \cos \alpha + mg \cdot \sin \alpha = ma$$

N (нормальное)

Если в задании спрашивают в течение какого времени t осколки будут падать на землю, то **ответ: 1) 45 м; 2) 12 с**

А если через какое время ~~первый~~ первый осколок упадет на землю, то ответ: **1) ~~45 м~~ 45 м; 2) 12,6 с**

$\sqrt{2}$ 

$$H = \frac{(V_0 \cdot \sin \alpha)^2}{2g}$$

$$2gH = V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2gH}{\sin^2 \alpha}} = \frac{\sqrt{2gH}}{\sin \alpha} = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}} =$$

$$= \frac{\sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,2}}{\sqrt{1 - 0,6^2}} = \frac{2}{0,8} = \frac{20}{8} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ м/с}$$

Пусть M — масса клина, m — масса шайбы.

Тогда по закону сохранения импульсов:

$$0x: m \cdot V_0 \cdot \cos \alpha = -m \cdot V_0 \cdot \cos \alpha + M \cdot V$$

$$2 \cdot m \cdot V_0 \cdot \cos \alpha = M \cdot V$$

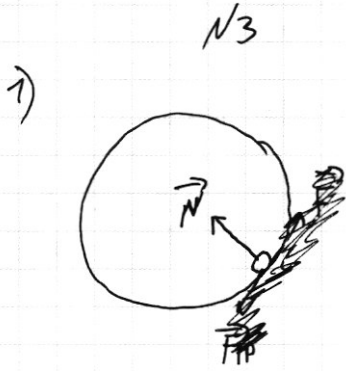
$$V = \frac{2m \cdot V_0 \cdot \cos \alpha}{M}, \text{ т.к. } m = M, \text{ то } V = 2 \cdot V_0 \cdot \cos \alpha =$$

$$= 2 \cdot 2,5 \cdot 0,6 = \frac{5 \cdot 6}{10} = 3 \text{ м/с}$$

Ответ: 1) $V_0 = \frac{\sqrt{2gH}}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}} = 2,5 \text{ м/с}$

2) $V = 2 \cdot V_0 \cdot \cos \alpha = 3 \text{ м/с}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Пусть ~~сила тяжести~~, N — сила, с которой на
сфера действует на машину. Тогда из
условия: $N = 2mg$, где m — масса машины.

Пусть ~~сила тяжести~~.

~~Пусть машина движется равномерно, то~~

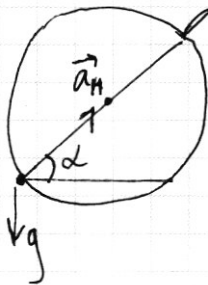
~~$F_{cp} = F$. Тогда ~~равномерно движется~~~~

По 2-ому закону Ньютона: $N = ma_1$, где a_1 — нормальное ускорение

$$a_1 = \frac{N}{m} = \frac{2mg}{m} = 2g$$

Тогда $a = \sqrt{a_1^2 + g^2} = \sqrt{4g^2 + g^2} = g\sqrt{5} = 10\sqrt{5} \approx 22 \text{ м/с}^2$

2)



плоскости, в которой движется машина.

a_n — нормальное ускорение.

Рассмотрим машину в самой нижней точке её
траектории.

Тогда $a_n \sin \alpha \geq g$

$$\frac{v_{\text{min}}^2}{R} \sin \alpha \geq g$$

$$v_{\text{min}} \geq \sqrt{\frac{gR}{\sin \alpha}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 1}{\sin 45^\circ}} = \sqrt{\frac{10}{\frac{1}{\sqrt{2}}}} =$$

$$= \sqrt{10\sqrt{2}} \approx \sqrt{14} \approx 3,7 \text{ м/с}$$

Ответ: 1) $g\sqrt{5} \approx 22 \text{ м/с}^2$; 2) $\approx 3,7 \text{ м/с}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

√4

Q = A₁₂? По 1ому закону термодинамики:

$$Q = A_{12} + \Delta U_{12}$$

$$A_{12} = \left(2p_1 \cdot V_1 - \frac{\pi \cdot V_1 \cdot p_1}{4} \right) \quad \text{из этого получается, если рассмотреть площадь под графиком}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \sqrt{R} \cdot \Delta T_{12} = \frac{3}{2} \cdot \sqrt{R} \cdot (T_2 - T_1)$$

Т₂ = 2 · Т₁. Из уравнения состояния изодоры:

$$p_1 \cdot V_1 = \sqrt{R} \cdot T_1 \quad \text{и} \quad p_2 \cdot V_2 = \sqrt{R} \cdot T_2$$

$$\text{Получа} \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{p_1 \cdot V_1} = 2 \cdot 2 = 4$$

$$\text{Получа} \quad \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \sqrt{R} \cdot (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \sqrt{R} \cdot 3T_1 = \frac{9}{2} \sqrt{R} \cdot T_1 = \frac{9}{2} \sqrt{R} \cdot \frac{p_1 \cdot V_1}{\sqrt{R}} =$$

$$= \frac{9 p_1 \cdot V_1}{2}$$

$$\text{Получа} \quad Q = 2p_1 \cdot V_1 - \frac{\pi \cdot V_1 \cdot p_1}{4} + \frac{9 p_1 \cdot V_1}{2} = \frac{26 p_1 \cdot V_1 - \pi \cdot V_1 \cdot p_1}{4} =$$

$$= \frac{V_1 p_1 (26 - \pi)}{4} \quad \text{или} \quad \frac{V_1 p_1 (26 - \pi)}{4}$$

Работа А газа за цикл, если рассмотреть площадь под графиком

$$A = 2p_1 \cdot V_1 - \frac{\pi \cdot V_1 \cdot p_1}{4} = \frac{4p_1 \cdot V_1 - \pi \cdot V_1 \cdot p_1}{4} = \frac{V_1 \cdot p_1 \cdot (4 - \pi)}{4}$$

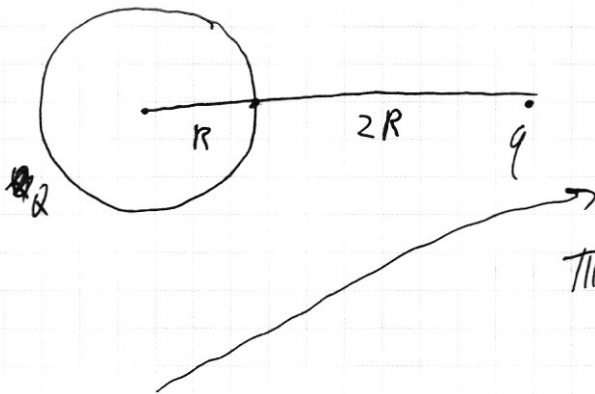
КПД цикла

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{V_1 \cdot p_1 \cdot (4 - \pi)}{V_1 \cdot p_1 \cdot (26 - \pi)} = \frac{4 - \pi}{26 - \pi} \approx \frac{4 - 3}{26 - 3} = \frac{1}{23}$$

$$\text{Ответ: } 1) Q = \frac{V_1 p_1 (26 - \pi)}{4} ; 2) A = \frac{V_1 p_1 (4 - \pi)}{4} ; 3) \eta = \frac{4 - \pi}{26 - \pi} \approx \frac{1}{23}$$

N 5

1)



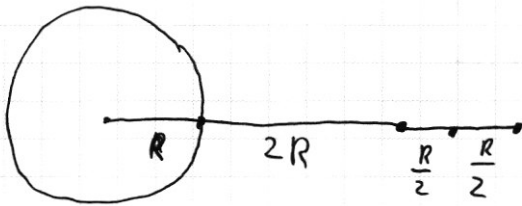
Найдем напряженность, которую создаст сфера Q на расстоянии $3R$ от центра

$$E = \frac{k \cdot Q}{(3R)^2} = \frac{k \cdot Q}{9R^2}$$

Тогда $F_1 = E \cdot q = \frac{k \cdot Q \cdot q}{9R^2}$

(Напряженность считается точкой, потому что сферу можно заменить на точку с зарядом Q)

2)



П.к. стержень заряжен однородно, то можно считать, что весь заряд q расположен на расстоянии $R + 2R + \frac{R}{2} = 3,5R$ от центра сферы.

По 3-ему закону Ньютона сила, с которой сфера действует на стержень, равна силе, с которой стержень действует на сферу. Тогда $F_2 = E_2 \cdot q = \frac{k \cdot Q}{(3,5R)^2} \cdot q = \frac{k \cdot q \cdot Q}{\frac{49}{4} R^2} = \frac{4 \cdot k \cdot q \cdot Q}{49 R^2}$

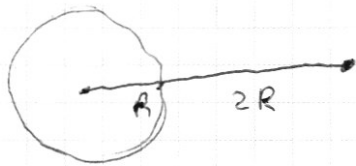
Ответ: 1) $F_1 = \frac{k \cdot Q \cdot q}{9R^2}$

2) $F_2 = \frac{4k \cdot q \cdot Q}{49R^2}$

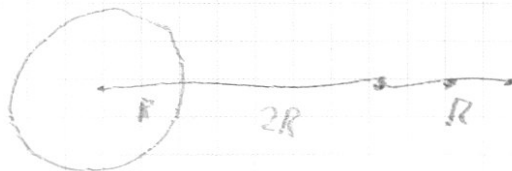
$$T^2 = \frac{2R}{g}$$

$$R = gT^2 = V$$

$$\frac{g^2 T^2}{2g} = H$$



$$E = \frac{kq \cdot kQ}{(3R)^2}$$



$$3,5RL$$

$$m \cdot v_0 \cos \alpha + M \cdot v_1 = M \cdot v_2$$

$$M = v_0 + v_1 + gT^2$$

$$\frac{2 \cdot 10 \cdot 0,1}{8} = \frac{10 \cdot 5}{4 \cdot 2} = 2,5$$



$$\begin{array}{r} 2,2 \\ - 2,2 \\ \hline 4 \end{array}$$

v2

$$v_0 = \frac{20 \cdot 0,1}{0,2} = 20$$



$$N = 2mg$$

$$\frac{kQq}{(3,5R)^2}$$

$$m \cdot N = F$$

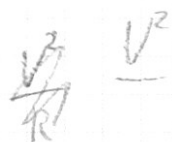
$$a = \frac{v^2}{R}$$

$$F = ma$$

$$a = \frac{F}{m} = 2mg$$

F =

$$H = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$



$$m \frac{v^2}{R} \cdot \cos 45^\circ = \frac{3}{2} mg$$

$$\frac{v^2}{R} \cdot \cos 45^\circ = 2g$$

$$v^2 \geq \frac{Rg}{\cos 45^\circ} = 1,4gR$$

v3 = 1,4g

$$\begin{array}{r} 3 \ 3 \\ - 3 \ 3 \\ \hline 1 \ 9 \ 9 \\ 9 \ 9 \\ \hline 10 \ 8 \ 9 \\ 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \\ 2 \\ 3,5 \\ - 3,5 \\ \hline 117 \ 5 \\ 10 \ 5 \\ \hline 12 \ 25 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ 4 \\ 3,7 \\ 3,7 \\ \hline 25 \ 9 \\ 17 \ 1 \\ \hline 13 \ 6 \ 9 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

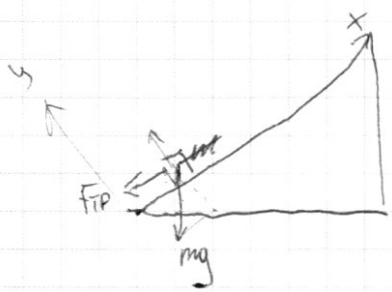
$\frac{V_1^2}{2} = \frac{V_2^2}{2} - g h$
 $V_2 = V_1 - g t$
 $h = \frac{V_1^2}{2g}$
 $h = \frac{V_2}{2} \cdot t$
 $V_1 = \frac{2h}{t}$
 $K = \frac{m \cdot V_2^2}{2}$
 $h = \frac{2h}{t} \cdot t - \frac{g t^2}{2}$
 $h = 2h - \frac{g t^2}{2}$
 $h = \frac{g t^2}{2} = \frac{10 \cdot 9}{2} = 45$

6.30
26.55

$K = 45 = 60 \cdot t + 5 t^2$
 $g = 12 + t^2$
 $t^2 + 12t + 9 = 0$
 $D = 144 + 36 = 180$
 $\frac{V^2}{2} = g h$

$V = \frac{V_1^2}{2g}$

$v = \sqrt{2gh}$
 $h = \frac{v^2}{2g}$
 $h = \sqrt{2gh} \cdot T - \frac{g T^2}{2}$
 $\frac{g T^2}{2} - 2gh$
 $2h = g T^2$



$mg + F_{тр} \sin \alpha - N \cos \alpha = m \cdot a$
 $mg + \mu \cdot N \sin \alpha -$

$N \cos \alpha = mg$
 $0.9 : N =$

через какое время после взрыва первый
 осколок упадет на
 землю
 $R = 8,31$

$c = 3 \frac{l+1}{2} \frac{l}{2}$

$Q = A + \Delta U$
 $Q = \left(2 P_1 \cdot V_1 - \frac{\pi \cdot V_1^2}{4} \right) + \frac{3}{2} \sqrt{R} \cdot \Delta T$

$P_1 \cdot V_1 = \sqrt{RT_1}$
 $P_2 \cdot V_2 = 2 P_1 \cdot V_1 = \sqrt{RT_2}$



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)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)