

# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-01

Шифр

(заполняется секретарём)

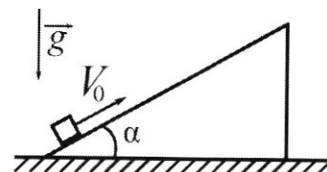
1. Фейерверк массой  $m = 2$  кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и разбивается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Высота точки разрыва  $H = 65$  м. На землю осколки падают в течение  $\tau = 10$  с.

1) Найдите начальную скорость  $V_0$  фейерверка.

2) Найдите суммарную кинетическую энергию  $K$  осколков сразу после взрыва.

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>. Сопротивление воздуха считайте пренебрежимо малым.

2. На гладкой горизонтальной поверхности расположен клин. Гладкая наклонная поверхность клина образует с горизонтом угол  $\alpha = 30^\circ$ . Шайбе, находящейся на наклонной поверхности клина, сообщают начальную скорость  $V_0 = 2$  м/с (см. рис.), далее шайба безотрывно скользит по клину. Массы шайбы и клина одинаковы. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.



1) На какую максимальную высоту  $H$  над точкой старта поднимется шайба на клине?

2) Найдите скорость  $V$  клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

3. По внутренней поверхности проволочной металлической сферы радиуса  $R = 1,2$  м равномерно со скоростью  $V_0 = 3,7$  м/с движется модель автомобиля. Движение происходит в горизонтальной плоскости большого круга. Масса модели  $m = 0,4$  кг. Модель приводится в движение двигателем. Силу сопротивления считайте пренебрежимо малой.

1) С какой по величине силой  $P$  модель действует на сферу?

2) Рассмотрим модель автомобиля равномерно движущуюся по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол  $\alpha = \frac{\pi}{6}$ . Вычислите минимальную допустимую скорость  $V_{MIN}$  такого

равномерного движения. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы  $\mu = 0,9$ .

Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>.

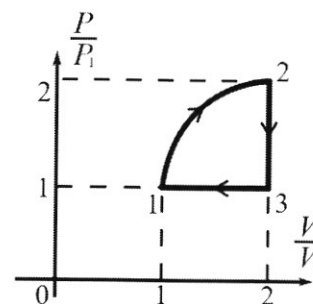
4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 3. Температура газа в состоянии 1 равна  $T_1$ .

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

2) Найдите работу  $A$  газа за цикл.

3) Найдите КПД  $\eta$  цикла.

Универсальная газовая постоянная  $R$ .



5. Заряд  $Q > 0$  однородно распределен по сфере радиуса  $R$ . В первом опыте на расстоянии  $2R$  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  $2R$  от центра.

2) Найдите силу  $F_2$ , с которой заряд сферы действует на заряженный стержень.

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

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1

1) Запишем закон сохранения энергии для расщепления:

$$\frac{m V_0^2}{2} = m g H \quad (\Rightarrow) \quad V_0^2 = 2 g H \quad (\Rightarrow) \quad V_0 = \sqrt{2 g H} = \sqrt{1300} \frac{m}{c} \approx 36,1 \frac{m}{c}$$

$\uparrow$   $\uparrow$   
 полн. энерг. в начале полн. энерг. в верхн. точке

Ответ:  $36,1 \frac{m}{c}$

2) Первый (палевавший вниз) осколок приземляется на  $\tau$  раньше последнего (палевавшего вверх). Запишем ур-я движения этих осколков

$$\begin{cases} V_{взр} \cdot t_1 + \frac{g t_1^2}{2} = H \\ -V_{взр} \cdot (t_1 + \tau) + \frac{g(t_1 + \tau)^2}{2} = H \end{cases}$$

, где  $V_{взр}$  - см-ть осколков сразу после взрыва

$t_1$  - промежуток времени между взрывом и приземлением 1-го осколка

$$\Rightarrow V_{взр} \cdot (2t_1 + \tau) + g \frac{(t_1^2 - t_1^2 - 2t_1 \tau - \tau^2)}{2} = 0 \Leftrightarrow V_{взр} \cdot (2t_1 + \tau) - \frac{g \tau \cdot (2t_1 + \tau)}{2} = 0 \Leftrightarrow$$

$$V_{взр} = \frac{g \cdot \tau}{2} = 50 \frac{m}{c}$$

$$K = \sum_i \Delta K_i = \sum_i \frac{\Delta m_i V_{взр}^2}{2} = \frac{V_{взр}^2}{2} \underbrace{\sum_i \Delta m_i}_m = \frac{m V_{взр}^2}{2} = \frac{m \cdot \left(\frac{g \tau}{2}\right)^2}{2} = 2500 \text{ Дж}$$

$\Delta K_i$  - кинетич. энергия  $i$ -го осколка

$\Delta m_i$  - масса  $i$ -го осколка

Ответ: 2500 Дж

- 1) В момент, когда шайба достигнет max высоты, её ~~потенц.~~ эн-зия будет max  $\Rightarrow$  кинет. эн-зия сис-мы будет min (м.к. в <sup>механик.</sup> отсутствие трения ползает эн-зия сохр-ся). Понк как кинетич. эн-зия сис-мы  $E_{кин} = \frac{V_c^2 \cdot \sum m_i}{2} + \sum E_{отн.ц.м.i}$  (где  $V_c$  — ск-ть центра масс сис-мы,  $\sum m_i$  — суммарная масса всех тел сис-мы,  $\sum E_{отн.ц.м.i}$  — сумма кин. энергии движения всех тел отн-но центра масс), то мин. эн-зия min, когда  $\sum E_{отн.ц.м.i} = 0 \Rightarrow$  кинет и шайба в этот момент имеют одинаковую ск-рость  $U$ .

Запишем закон сохранения импульса по горизонт. оси:

$$m \cdot V_0 \cdot \cos \alpha = m \cdot U + m U \Rightarrow U = \frac{V_0 \cdot \cos \alpha}{2}, \text{ где } m - \text{масса шайбы}$$

Запишем закон сохранения энергии:

$$\frac{m \cdot V_0^2}{2} = \frac{2m U^2}{2} + m g H \Rightarrow \frac{m V_0^2}{2} - \frac{3m U^2}{1.6} = m g H \Rightarrow$$

макс. высота  
погиба  $\frac{5m V_0^2}{16} = m g H \Rightarrow H = \frac{5 V_0^2}{16 g} = 0,125$

Ответ:  $0,125 \text{ м}$

- 2) Запишем сис-му ур-й из законов сохр-я эн-ии и импульса для начального и конечного положений:

$$\begin{cases} \frac{m V_0^2}{2} = \frac{m V_1^2}{2} + \frac{m V^2}{2}, \text{ где } V_1 - \text{конечная ск-ть шайбы} \\ m V_0 \cdot \cos \alpha = m V_1 \cdot \cos \alpha + m V \end{cases}$$

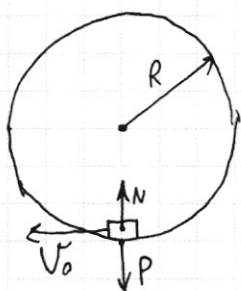
$$\Rightarrow \begin{cases} V_0^2 = V_1^2 + V^2 \\ V_0 = V_1 + \frac{V}{\cos \alpha} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} (V_0 - V_1)(V_0 + V_1) = V^2 \\ (V_0 - V_1) = \frac{V}{\cos \alpha} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_0 + V_1 = V \cdot \cos \alpha \\ V_0 - V_1 = \frac{V}{\cos \alpha} \end{cases} \Rightarrow$$

$$2 V_0 = V \left( \cos \alpha + \frac{1}{\cos \alpha} \right) \Rightarrow 2 V_0 = V \frac{7}{4 \cos \alpha} \Rightarrow V = \frac{8 \cos \alpha}{7} V_0 = \frac{4 \sqrt{3}}{7} V_0 \approx \frac{4 \cdot 1,73}{7} \cdot V_0 = \frac{6,92}{7} V_0 = 1,9772 \frac{m}{c}$$

Ответ:  $1,9772 \frac{m}{c}$

№ 3

1)



При равном гв-ии по осп-ти нормальное ускор-е мела  $a_n = \frac{V_0^2}{R}$

по второму закону Ньютона:

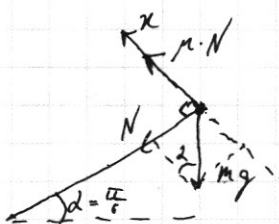
$$m \cdot a_n = N$$

по третьему закону Ньютона:

$$N = P \Rightarrow P = \frac{mV_0^2}{R} = 11,4083 \text{ Н}$$

Ответ: 11,4083 Н

2)



Сила трения скажем  $F_{тр} = \mu N$  при минимальной скорости в точке с минимальным трением гайма компенсирует силу тяжести. Найдём  $N$  как в

выраже 1.  $a_n = \frac{V_{min}^2}{R}$

$$m a_n = N + mg \cdot \sin \alpha \Leftrightarrow m(a_n - \frac{g}{2}) = N \Leftrightarrow N = (\frac{V_{min}^2}{R} - \frac{g}{2}) \cdot m$$

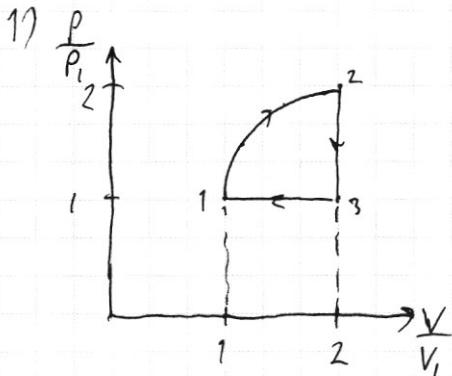
второй закон Ньютона на ось x (⊥ н-ти круга):

$$\mu \cdot N = mg \cdot \cos \alpha \Leftrightarrow \mu (\frac{V_{min}^2}{R} - \frac{g}{2}) = mg \cos \alpha \Leftrightarrow$$

$$\frac{V_{min}^2}{R} = g (\mu \cos \alpha + \frac{1}{2}) \Leftrightarrow V_{min} = \sqrt{gR \cdot (\mu \cos \alpha + \frac{1}{2})}$$

Ответ:  $\sqrt{gR \cdot (\mu \cos \alpha + \frac{1}{2})}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№4

Первое начало термодинамики:

$$Q = A_{12} + \Delta U_{12} \Leftrightarrow \text{где } \Delta U - \text{изменение внутр. энт-ии газа}$$

$$Q = \left(\frac{\pi \cdot 1^2}{4} + 1^2\right) \cdot p_1 V_1 + \frac{3}{2} \cdot (4 p_1 V_1 - p_1 V_1) =$$

$$= \frac{\pi+4}{4} \cdot p_1 V_1 + \frac{18}{4} p_1 V_1 \approx \frac{25,14}{4} \nu R T_1 = 5,285 \nu R T_1$$

конечн энергия      начальн. энергия

Ответ:  $5,285 \nu R T_1$

$$2) A = A_{12} + A_{31} = \left(\frac{\pi \cdot 1^2}{4} + 1^2 - 1^2\right) p_1 V_1 = \frac{\pi}{4} p_1 V_1 \approx 0,785 \nu R T_1$$

работа в процессе 12      работа в процессе 31

Ответ:  $0,785 \nu R T_1$

$$3) \eta = \frac{A}{Q} = \frac{0,785 \nu R T_1}{5,285 \nu R T_1} \approx \frac{0,785 \nu R T_1}{5,285 \nu R T_1} \approx 14\%$$

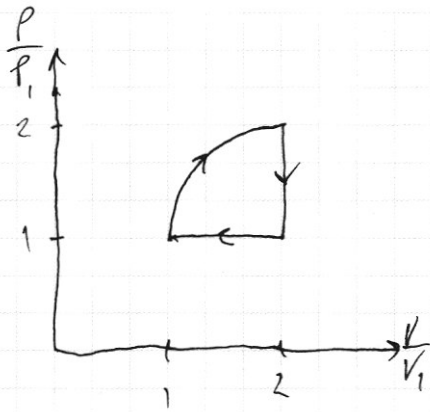
Ответ: 14%

№5

1) Сфера заряжена равномерно  $\Rightarrow$  она создаёт такое же поле, как точечный заряд  $Q$  в её центре  $\Rightarrow$  Сфера взаимодействует с точечным зарядом как точечный заряд  $Q$  помещ. в её центр.

$$F_1 = \frac{k q_0 Q}{4 R^2}$$

Ответ:  $\frac{k q_0 Q}{4 R^2}$



$$171T: Q = A + \Delta U$$

$$\frac{\pi r^2}{4} p^2 \quad \frac{3}{2} p_1 V_1$$

$$\frac{\pi + 4}{4} p_1 V_1 = \left( \frac{17,14}{4} + \frac{18}{4} \right) p_1 V_1 =$$

$$= \frac{25,14}{4} \Delta RT_1$$

$$A = \frac{\pi}{4} \Delta RT_1$$



$$\begin{array}{r} 25,14 \mid 4 \\ 20 \phantom{0} \\ \hline 51 \\ 4 \phantom{0} \\ \hline 11 \\ 34 \\ \hline 20 \end{array}$$

$$\frac{mg}{2} + R = ma$$

$$\frac{3,14}{25,14} = R = m(a - \frac{g}{2})$$

$$R = m \left( \frac{v_{min}^2}{R} - \frac{g}{2} \right)$$

$$\frac{v_{min}^2}{R} - \frac{g}{2} = R g \cos \alpha$$

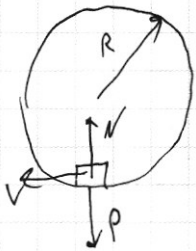
$$v_{min}^2 = R \cdot g (\cos \alpha + \frac{1}{2})$$

$$m \cdot m \left( \frac{v_{min}^2}{R} - \frac{g}{2} \right) = m g \cos \alpha$$

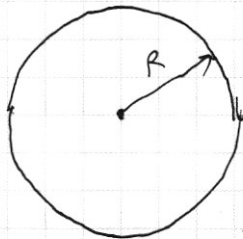
$$\begin{array}{r} 3,14 \mid 4 \\ 2,8 \phantom{0} \\ \hline 34 \\ \hline 20 \end{array} \quad \begin{array}{r} 4 \\ 0,785 \\ \hline 20 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 5,1285 \mid 0,785 \\ 4,30 \phantom{0} \\ \hline 85 \\ 2355 \\ \hline 7305 \\ 7065 \\ \hline 2408 \\ 2355 \\ \hline 25 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0,785 \mid 0 \\ 5,1285 \mid 5,1285 \\ \hline 27150 \\ 24940 \\ \hline 22070 \end{array} \quad \begin{array}{r} 3,7 \\ \times 3,7 \\ \hline 259 \\ 111 \\ \hline 1369 \mid 1,2 \\ 1649 \\ \hline 49 \\ 48 \\ \hline 100 \\ 90 \end{array}$$



$$\int_{2R}^{3R} \frac{kqQ}{R^2} dR = E = \frac{kq}{R}$$



$$\sum F_i = \frac{kqQ}{(2R+\Delta R)} - \frac{kqQ}{(3R-\Delta R)} = \frac{kqQ}{4R^2+4\Delta R R+\Delta R^2} + \frac{kQ\Delta Q}{9R^2-6\Delta R R+\Delta R^2}$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$x(t) = v_0 \cdot t - \frac{g t^2}{2} \quad \times 0,9886$$

$$v(t) = v_0 - g t = 0 \quad \frac{2}{1,9772}$$

$$x(t) = v_0 \cdot t - v_0 \cdot \frac{t}{2} = v_0 \cdot \frac{t}{2} = 65 \text{ м}$$

$$t_n = \frac{v_0}{g}$$

$$\frac{v_0^2}{2g} = 65 \text{ м}$$

$$\frac{v_0^2}{g} - \frac{v_0^2}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} = H$$

$$v_{\text{взр}} \cdot (t_1 + \tau) + \frac{g(t_1 + \tau)^2}{2} = 65 \text{ м}$$

$$v_{\text{взр}}(2t_1 + \tau) + \frac{g(t_1^2 - t_1^2 - 2t_1\tau - \tau^2)}{2} = 0$$

$$v_{\text{взр}}(2t_1 + \tau) + \frac{g(2t_1 + \tau)\tau}{2} = 0$$

$$v_{\text{взр}} = \frac{g\tau}{2} = 50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\frac{m v_0^2}{2} + mgh = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{m v^2}{2} \quad \frac{1,73}{6,92} = 2500 \text{ Дж}$$

$$m v_0 = m v_1 + m v$$

$$v_0^2 = v_1^2 + v^2$$

$$v_0 = v_1 + v$$

$$v_0^2 = v_1^2 + v^2$$

$$v_0(v_1 - v) = v_1^2 - v^2$$

$$(v_0 + v_1)(v_0 - v_1) = v^2(v_0 + v)(v_0 - v) = v^2$$

$$v_0 - v_1 = v$$

$$v_0 + v_1 = v$$

$$v_0 - v = v_1$$

$$v_0 + v = v_1$$

$$\text{ЗСЧ: } m v_0^2 = 2 m v \Rightarrow v = \frac{v_0^2}{2}$$

$$\text{ЗСЭ: } \frac{m v_0^2}{2} = \frac{2 m \cdot v^2}{2} + m g h$$

$$v_0^2 = v_1^2 + v^2$$

$$v_0 \cos \alpha = v_1 \cos \alpha + v$$

$$v_0 = v_1 - \frac{v}{\cos \alpha} \quad 2 v_0 = v \cdot \frac{2}{\cos \alpha}$$

$$(v_0 - v_1)(v_0 + v_1) = v^2 \quad v = v_0 \cdot \frac{4 \sqrt{3}}{7}$$

$$v_0 - v_1 = \frac{v}{\cos \alpha}$$

$$v_0 = \sqrt{2 g H} = \sqrt{1300} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10 \sqrt{13} \approx 36 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

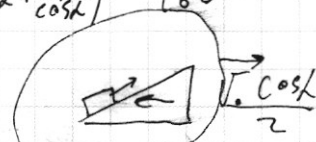
$$v_0 + v_1 = v \cdot \cos \alpha \quad 2 v_0 = v \left( \frac{\cos \alpha + 1}{\cos \alpha} \right)$$

$$v_0 - v_1 = \frac{v}{\cos \alpha}$$

$$2 v_0 = v \left( \cos \alpha + \frac{1}{\cos \alpha} \right)$$

$$\frac{5 \cdot 4}{160} = \frac{20}{160} = \frac{1}{8}$$

$$\begin{array}{r} 1296 \text{ : } 36 \\ 9 \overline{) 114} \\ 39 \\ 36 \end{array}$$



$$\begin{array}{r} 36,6 \\ \times 36,6 \\ \hline 2196 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1296 \\ 1098 \\ \hline 1339,56 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36,2 \\ 36,2 \\ \hline 724 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2172 \\ 1086 \\ \hline 1310,44 \end{array}$$



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)



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)