

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

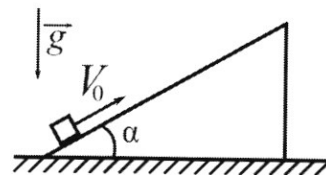
1. Фейерверк массой $m = 1 \text{ кг}$ стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через $T = 3 \text{ с}$ разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями.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

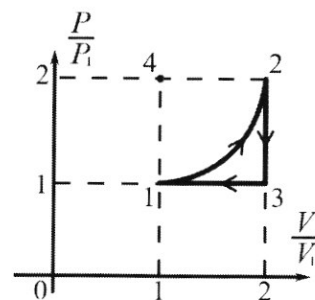
2) Вычислите минимальную допустимую скорость V_{MIN} равномерного движения модели по окружности в плоскости большого круга, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 45^\circ$. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,8$, радиус сферы $R = 1 \text{ м}$. Ускорение свободного падения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

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.

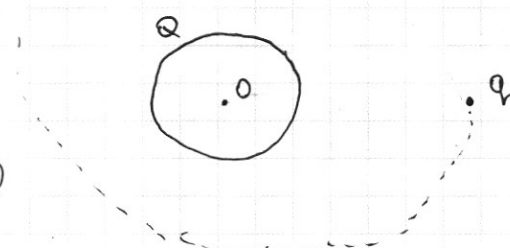
2) Найдите силу F_2 , с которой заряженный стержень действует на заряженную сферу.

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №5

1) Определим вспомогательную
Гауссову пов-ть - ~~сферу~~^{сферу}
радиуса $2R$ с центром в т. O



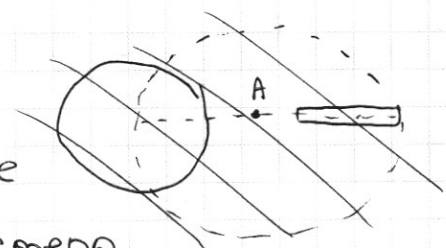
Тогда можно найти поле, создаваемое сферой возле
заряда q по т. Гаусса:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q_{in}}{\epsilon_0} \Rightarrow E \cdot 4\pi \cdot (2R)^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E \cdot 4\pi \cdot 4R^2 = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{kQ}{8R^2}$$

$$\text{Тогда } F_{на q} = E \cdot q = \frac{kQq}{8R^2}$$

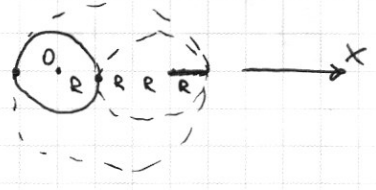
2) Определим вспом. пов-ть -
~~сферу~~^{сферу}
~~с ц. в т. А - середине~~
отр., согл. ^{дальней} концы стержня и ц. сфера



Тогда по т. Гаусса: $\oint \vec{E}_1 \cdot d\vec{S} = \frac{\sum q_{in}}{\epsilon_0} \Rightarrow$

\Rightarrow

2) Опшем 2 вспомогательные сферы (см. рис.) радиусами $\frac{3}{2}R$ и $\frac{5}{2}R$ и запишем 2 в. Гаусса:



$$\left\{ \begin{array}{l} \oint \vec{E}_1 dS_1 = \frac{\sum q_{in1}}{\epsilon_0} \\ \oint \vec{E}_2 dS_2 = \frac{\sum q_{in2}}{\epsilon_0} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} E_1 \cdot 4\pi \cdot \left(\frac{3}{2}R\right)^2 = q \cdot 4\pi R \\ E_2 \cdot 4\pi \cdot \left(\frac{5}{2}R\right)^2 = (q+Q) 4\pi R \end{array} \right. \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} |\vec{E}_1| = \frac{4kq}{3R^2} \\ |\vec{E}_2| = \frac{4kQ}{25R^2} \end{array} \right.$$

Ясно, что поле внутри сферы в ее центре будет скомпенсировано по любым осям, кроме x, т.е. по оси x расположен стержень, а действующем стержне по напр., отлн. от x можно пренебречь.

$$\text{Тогда } \vec{E}_0 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = |\vec{E}_1| - |\vec{E}_2| = \frac{64kq}{225R^2}$$

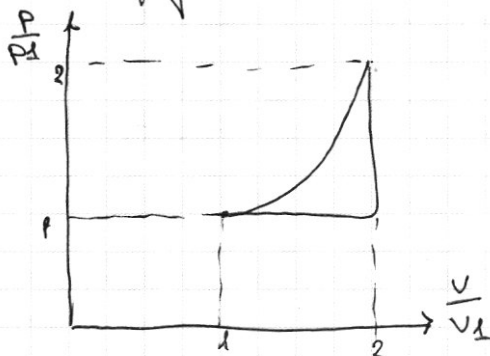
$$\text{Тогда } F_{\text{на сф}} = E_0 \cdot Q = \frac{64kQq}{225R^2}$$

$$\text{Ответ: 1) } \frac{kqQ}{9R^2} \quad 2) \frac{64}{225} \frac{kQq}{R^2}$$

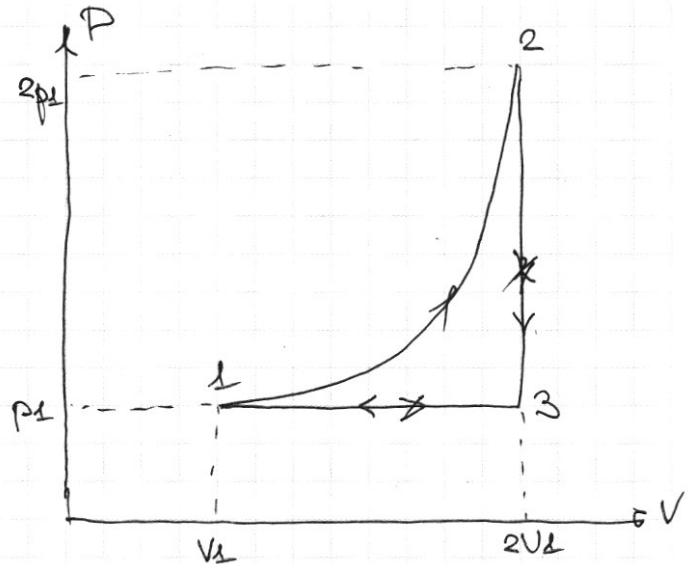
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №4

Перерисуем график
в координатах (P, V)



⇒



Ясно, что изобара и изохора сохранится при переходе
(если $\frac{P}{P_1}$ или $\frac{V}{V_1} = \text{const}$, то и P или V соотв. = const)
окружность может не сохраниться, (*) но при растягива-
нии осей в a и b раз площадь любой фигуры на
такой пл-ти увеличится в ab раз.

1) Расширение - только 1-2 ⇒ $Q_{расш} = Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12} =$

$$= \frac{3}{2} (4P_1V_1 - P_1V_1) + S_{\text{под графиком 12}} =$$

$$= \frac{9}{2} P_1V_1 + P_1V_1 + \left(P_1V_1 - \frac{\pi P_1V_1}{4} \right) \approx \boxed{5,74 P_1V_1}$$

$S_{\text{под графиком}}$ площадь $\frac{1}{4}$ растянутой большой окр.
по утверждению (*)

2) $A_{за цикл} = S_{\text{фигуры 123}} = P_1V_1 - \frac{\pi}{4} P_1V_1 \approx \boxed{0,24 P_1V_1}$

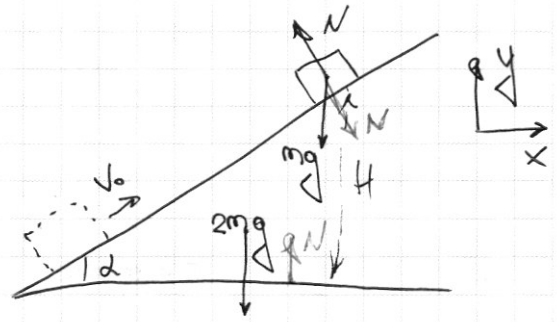
3) $\eta = \frac{A_{за цикл}}{Q_{12}} = \frac{0,24 P_1V_1}{5,74 P_1V_1} \approx 0,041 \approx \boxed{4,1\%}$

Ответ: 1) $5,74 \text{ РзУ}$ 2) $0,24 \text{ РзУ}$ 3) $0,041 = 4,1\%$

Задача $\sqrt{2}$

1) По оси x система
на с-мму не действуют
внешние силы \Rightarrow

по оси x выполняется ЗСМ



2) Работа внешних и внутр. неупругих сил в системе
равна 0 (т.к. все пов-ти пружинные) \Rightarrow для с-ммы выполняется
ЗСЭ

$$\text{ЗСМ: } \begin{cases} mV_0 \cos \alpha = 3mV^* \end{cases}$$

$$\text{ЗСЭ: } \begin{cases} \frac{mV_0^2}{2} = mgh + \frac{mV^{*2}}{2} + \frac{2mV^{*2}}{2} \end{cases}$$

V^* - приобр. скор.
шара и шайбы

$$\Rightarrow V^* = \frac{V_0 \cos \alpha}{3} = 0,2 V_0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_0^2 = 2gh + (0,2)^2 V_0^2 + 2(0,2)^2 V_0^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2gh = V_0^2 \cdot 0,88 \Rightarrow V_0^2 = \frac{100gh}{44} = \frac{100 \cdot 9,8 \cdot 1}{44} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_0 = \sqrt{\frac{98}{44}} = 5 \sqrt{\frac{9,8}{11}} = 5 \sqrt{\frac{2}{11}} \text{ м/с} \approx \frac{2,25}{11} \text{ м/с}$$

$$\text{2) ЗСМ}_x: \begin{cases} 2 \frac{1}{2} mV^* = mV - mV_2 \cos \alpha \end{cases}$$

$$\text{ЗСЭ: } \begin{cases} mgh + \frac{2mV^{*2}}{2} = \frac{mV^2}{2} + \frac{mV_2^2}{2} \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{V - 2V^*}{\cos \alpha} = \frac{5V - 2V_0}{3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2gh + 2 \cdot (0,2V_0)^2 = V^2 + \left(\frac{5V - 2V_0}{3} \right)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 18gh + 0,72V_0^2 = V^2 + 25V^2 - 20VV_0 + 4V_0^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 25V^2 - 20VV_0 + (3,28V_0^2 - 18gh) = 0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$D = (20V_0)^2 - 4 \cdot 26 \cdot (3,8V_0^2 - 189H) \approx$$

$$\approx 62V_0^2 + 3900 \approx 4000$$

$$V = \frac{20V_0 \pm 20\sqrt{10}}{52} = \frac{20(2,25 \pm \sqrt{10})}{52} \approx \boxed{2,5 \text{ мкс}}$$

(т.к. $2,25 - \sqrt{10} < 0$ второй корень не подходит)

Ответ: 1) 2,25 мкс 2) 2,5 мкс

Задача №1



Рейсверк попал в высшую точку траектории

$$\Rightarrow V_y(\Gamma) = 0 \Rightarrow V_0 - g\Gamma = 0 \Rightarrow V_0 = g\Gamma$$

$$1) \text{ Ур-е п/у гв-е: } H = V_0\Gamma - \frac{g\Gamma^2}{2} = \frac{g\Gamma^2}{2} = \boxed{45 \text{ м}}$$

$$2) \text{ ЗСЭ: } \underbrace{mgH}_0 + \frac{mV(\Gamma)^2}{2} = \underbrace{\sum m_i V^2}_{\frac{mV^2}{2}} \Rightarrow V = \sqrt{gH \cdot 2} = 30 \text{ мкс}$$

с такой скор. разлетелся осколок

Тогда первый ударит тот, кто сразу полетел вниз

$$\cdot \text{ ур-е п/у гв-я: } H = V\Gamma_1 + \frac{(g+a)\Gamma_1^2}{2}$$

$$\text{последний оск: } H = -V\Gamma_2 + \frac{(g-a)\Gamma_2^2}{2}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} H = -V(\Gamma_1 + \Delta\Gamma) + \frac{(g-a)(\Gamma_1 + \Delta\Gamma)^2}{2} \\ H = V\Gamma_1 + \frac{(g+a)\Gamma_1^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2H = V\Delta\Gamma + g\Gamma_1^2 - \\ - a\Gamma_1\Delta\Gamma - \frac{a\Delta\Gamma^2}{2} \\ \alpha = \frac{(2H - 2V\Gamma_1)}{\Gamma_1^2} - g \end{cases}$$

$$a = \frac{30 - 60T_1}{T_1^2} - 10$$

$$30 = 300 + 10T_1^2 - T_1 \cdot \frac{30 - 60T_1 - 10T_1^2}{T_1^2} \cdot 10 - \frac{30 - 60T_1 - 10T_1^2}{T_1^2} \cdot 50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 30T_1^2 = 300T_1^2 + 10T_1^4 - 300T_1 + 600T_1 + 100T_1^3 + (-\frac{30}{T_1^2} + \frac{60}{T_1} + 10)50 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 10T_1^4 + 100T_1^3 + 1310T_1^2 + 2100T_1 - 4500 = 0$$

$$T \approx 1,1 \text{ сек}$$

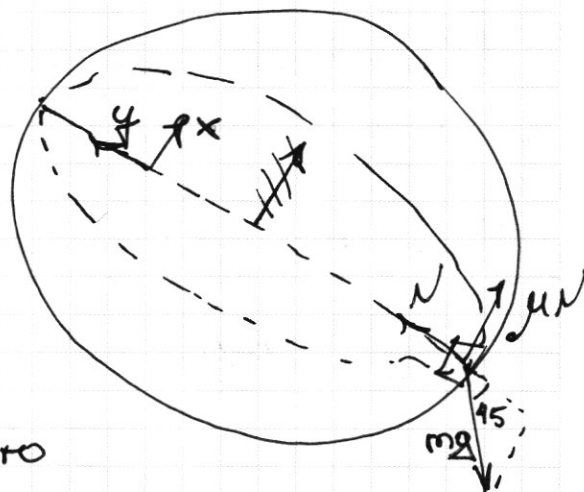
$$\text{Ответ: } H = 45 \text{ м; } T_1 \approx 1,1 \text{ с}$$

Задача №3

Рассмотрим призму. моменты времени, расставим силы.

В плоскости большого круга $\vec{F}_{тр}$ всегда будет направлена $\perp \vec{N}$ и будет создавать ~~не~~ тангенциальную компоненту ~~вдоль~~ ускорения, а \vec{N} будет создавать нормальную компоненту.

$\vec{m}\vec{g}$ в данном случае будет направлена под 45° к обеим силам и будет иметь проекции на x и y



создавать ~~не~~ тангенциальную компоненту ~~вдоль~~ ускорения, а \vec{N} будет создавать нормальную компоненту.

$\vec{m}\vec{g}$ в данном случае будет направлена под 45° к обеим силам и будет иметь проекции на x и y

к обеим силам и будет иметь проекции на x и y

$$\text{I} \text{ зн } x: \begin{cases} N - mg \cos \alpha = ma_x \\ N - mg \cos \alpha = ma_n \end{cases}$$

$$\text{II} \text{ зн } y: \begin{cases} N - mg \cos \alpha = ma_n \end{cases}$$

$$N = 2mg \quad (\text{т.к. по III зн Ньютона } |N_{на сф}| = |N_{сф}|)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\begin{cases} 2\mu g - g \cos \alpha = a_T \\ 2g - g \cos \alpha = a_n \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_T \approx 0,9g \\ a_n \approx 1,3g \end{cases}$$

$$a_{\text{полн}} = \sqrt{a_T^2 + a_n^2} = \sqrt{25}g \approx 1,6g \approx 16 \text{ м/с}^2$$

2) При μ м ϕ -ии по окружности $a_T = 0$

$$\Rightarrow \begin{cases} \mu N = mg \cos \alpha \\ N - mg \cos \alpha = ma_n \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \mu \cdot \mu \\ \mu \end{cases}$$

$$\Rightarrow + \mu mg \cos \alpha = mg \cos \alpha - \mu ma_n \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \mu ma_n = mg \cos \alpha (1 - \mu) \Rightarrow a_n = \frac{V_{\min}^2}{R} = \frac{g \cos \alpha (1 - \mu)}{\mu}$$

$$\Rightarrow V_{\min} = \sqrt{\frac{gR \cos \alpha (1 - \mu)}{\mu}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,2}{0,8}} = \frac{\sqrt{7}}{2} \approx 1,3 \text{ м/с}$$

Ответ: 1) $a = 16 \text{ м/с}^2$ 2) $V_{\min} = 1,3 \text{ м/с}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

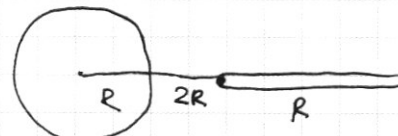
$$M = V_0 t - \frac{\rho t^2}{2}$$

$$M = V_0 t + \frac{\rho t^2}{2}$$

$$M = V_0 t + \frac{\rho t^2}{2} \quad v^* \cdot v$$

$$mgh = \frac{mv^{*2}}{2} \Rightarrow v^*$$

$$M = v^* t + \frac{\rho t^2}{2}$$



$$\epsilon \cdot S = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\epsilon \cdot 9S = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\epsilon = \frac{Q}{9S \epsilon_0}$$

$$\epsilon = \frac{Q}{9 \pi r^2 \epsilon_0}$$

$$\frac{315}{400}$$

$$\frac{85}{400}$$

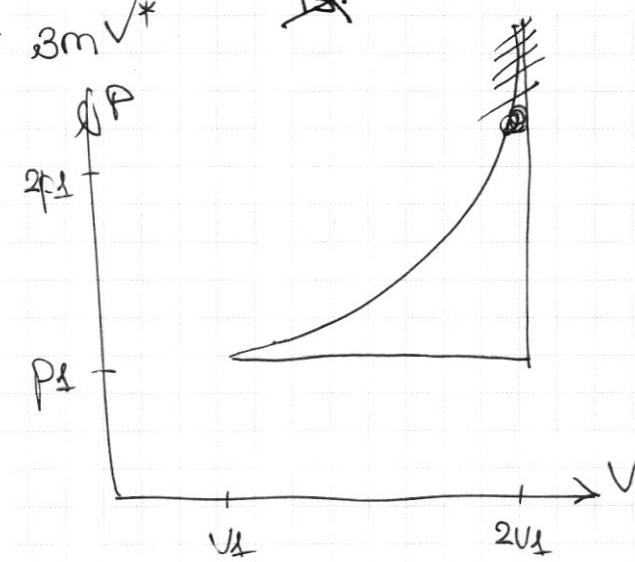
$$\frac{315}{400}$$

$$\frac{31}{40}$$

$$1) \left\{ \begin{aligned} \frac{mv_0^2}{2} &= mgh + \frac{3mv^{*2}}{2} \\ mv_0 \cos \alpha &= 3mv^* \end{aligned} \right.$$

$$\frac{p}{p_1} = 1$$

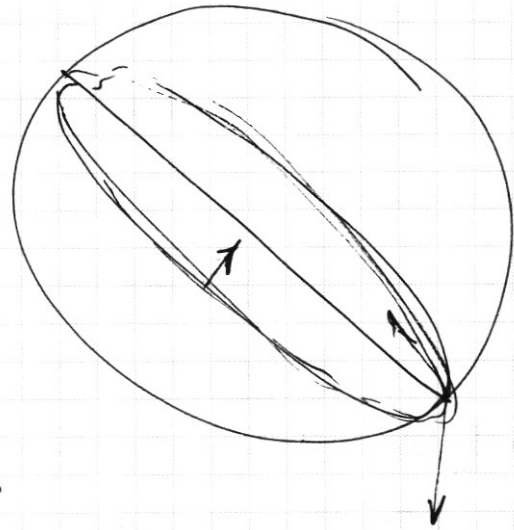
$$\frac{v}{v_1} = 1$$



$$Q = \Delta U + A =$$

$$\frac{\sqrt{3} p_1 v_1}{4}$$

$$\frac{24}{570}$$



$$625 + 1250 + 3200 + 1000$$

$$1 + 10 + 131 + 210 = 352$$

1/2

$$\cancel{8} + \cancel{8} + 16 + \cancel{80} +$$

$$16 + 80 + 500 + 420 = k$$