

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

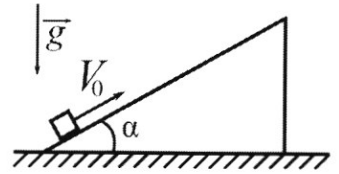
1. Фейерверк массой $m = 1 \text{ кг}$ стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через $T = 3 \text{ с}$ разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями.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

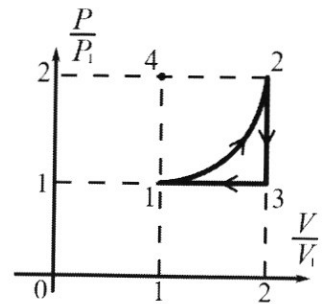
2) Найдите скорость V клина, в тот момент, когда шайба вернется в точку старта на клине. Массы шайбы и клина одинаковы.

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

5) 1) ~~Равномерно заряженный стержень~~

~~Равномерно~~ Равномерно заряженный стержень

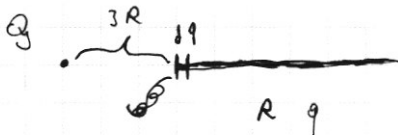
можно считать точечным зарядом, если ~~его~~ ^{его} ~~центр~~ ^{центр} ~~находится~~ ^{находится}

вне $\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \cdot \vec{r}$

тогда $F_1 = \frac{kQ \cdot q}{R^2}$ (модуль)

2) Рассмотрим малый ~~элемент~~ ^{элемент} ~~стержня~~ ^{стержня} с зарядом dq

Сила, действующая на него:



$$dF = \frac{k \cdot Q \cdot dq}{R^2} \quad (\text{R меняется})$$

При этом стержень заряжен равномерно,

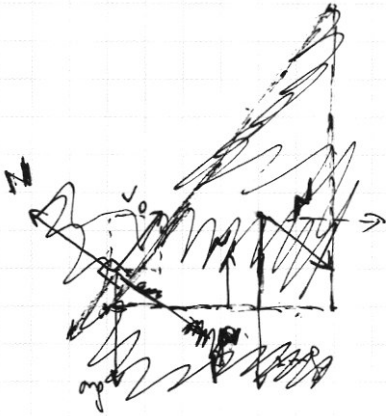
т.е. если $\lambda = \frac{Q}{L}$, где L — длина стержня, а λ — линейная

плотность заряда, то $dq = \lambda \cdot dR$

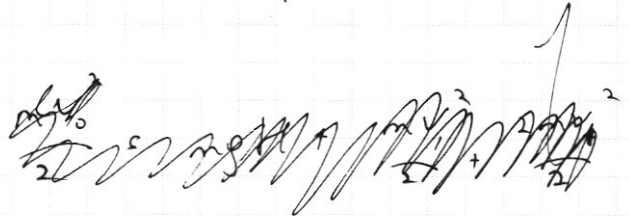
$$\text{т.о. } F_2 = \int_{F_{01}}^{F_{02}} dF = \int_{3R}^{4R} \frac{kQ \cdot \lambda \cdot dR}{R^2} = kQ \cdot \lambda \cdot \int_{3R}^{4R} R^{-2} \cdot dR$$

$$= kQ \cdot \lambda \cdot \left(-\frac{1}{R}\right) \Big|_{3R}^{4R} = \frac{kQ \cdot \lambda}{3R} - \frac{kQ \cdot \lambda}{4R} = k \frac{Q \cdot Q}{12R^2} \quad (\text{т.к. } L=2R)$$

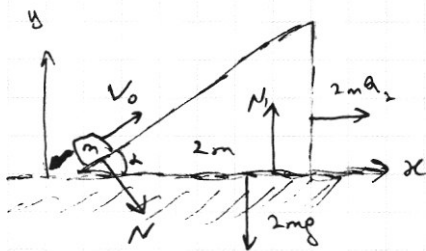
Ответ: 1) $k \cdot \frac{Q \cdot q}{R^2}$ 2) $k \cdot \frac{Q \cdot q}{12R^2}$



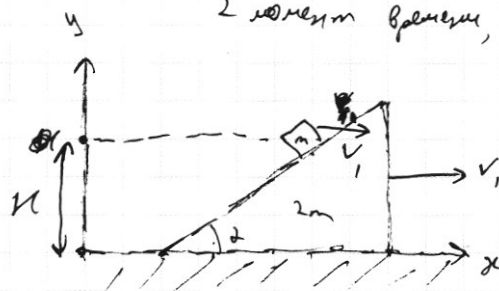
~~Handwritten scribbles and text, possibly describing a physical process or a derivation.~~



2) 1 момент времени



2 момент времени, шайба перпендикулярна к поверхности



В с.о. шайба
шайба останавливается
т.е. в с.о. Земли
шайба и ~~шайба~~ шайба

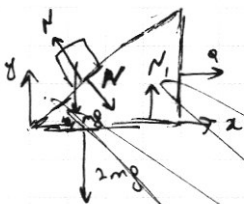
будет двигаться с одной
скоростью V_1

~~Handwritten scribbles.~~

по оси x не действует внешних сил, т.е. можно считать з.с.и. в движении

по оси x:

$$m V_0 \cos \alpha = 3m + V_1, \text{ т.е. } V_1 = \frac{V_0 \cdot \cos \alpha}{3}$$



Д з.и. для шайба:

~~Handwritten scribbles.~~

x: $N \cdot \sin \alpha = 2mg$

Для шайбы:

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

(по д з.и. шайба и шайба действуют друг на друга с равными по

модулю силами M)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~Вопрос~~ ~~2 мая~~ ~~с~~ ~~19~~ ~~19~~ ~~19~~

~~А~~ ~~3.И.~~ ~~для~~ ~~клина~~

~~В~~ ~~с.о.~~ ~~клина~~

a_1 - ускорение шара
в с.о. клина

a_2 - ускорение клина в с.о.
Земли

А 3.И. для клина: ~~составляющие~~

$x: N \cdot \sin \alpha \cdot 2m a_2$

N - сила с которой шарик
давит на клин
по 3.И.

~~составляющие~~ $a_2 \cdot \frac{N \sin \alpha}{2m}$

В с.о. клина:

А 3.И. для шара:



$x: m a_1 \cdot \cos \alpha \cdot \dots \dots \dots N \cdot \sin \alpha + m a_2$ составляющая
 $y: m a_1 \cdot \sin \alpha + m g - N \cdot \cos \alpha$

$a_1 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{3}{2m} N \cdot \sin \alpha \Rightarrow N \cdot \cos \alpha = \frac{3}{2} m a_1 \cdot \tan \alpha$

Подставляем в y:

$m a_1 \cdot \sin \alpha + m g - a_1 \cdot \frac{3}{2} m \tan \alpha$

~~составляющие~~

$a_1 \cdot \frac{g}{\sin \alpha + \frac{3}{2} \tan \alpha}$

При этом (из кинематики):

~~составляющие~~ ~~составляющие~~

~~составляющие~~

~~составляющие~~ $K \cdot$

(конечная скорость по оси y равна 0)

$\frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2 a_1 \cdot \sin \alpha} = \frac{v_0^2 \cdot \sin \alpha}{2 a_1} = \frac{v_0^2 \cdot (\frac{g}{\sin \alpha + \frac{3}{2} \tan \alpha}) \cdot \sin \alpha}{2 g}$

$$V_0^2 = \frac{2k \cdot g}{\sin^2 \alpha + \frac{2}{3} \cos \alpha}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2k \cdot g}{\sin^2 \alpha + \frac{2}{3} \cos \alpha}}$$

~~0,6 0,6~~
~~2,4 м/с~~

2). Степень массы камня и шарики равны, поэтому $a_2 = \frac{N \cdot \sin \alpha}{m}$

$$N = m \cdot g \cdot \frac{\cos \alpha}{2}$$

$$k = \frac{V_0^2 \cdot \sin \alpha}{2g}$$

\ll

$$a_1 = \frac{g}{\sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{2}} = \frac{2g}{2 \sin \alpha + \cos \alpha}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{2gk}{2 \sin \alpha + \cos \alpha}}$$

$$V_0 = \sqrt{\frac{4gk}{(2 \sin \alpha + \cos \alpha)}}$$

↑ скорость шарика

$$a_2 = \frac{g \cdot \cos \alpha}{2}$$

~~0,6 0,6~~
~~0,3 м/с~~

~~Камень и шарик движутся по наклонной плоскости, т.е. в начале у них будет нулевая скорость, а шарик будет двигаться быстрее, чем камень, так как у него больше ускорение.~~

a_2 в В.С.О. Камень на шарик действует постоянное ускорение, т.е. она будет иметь такую же по модулю скорость в конце. т.е.

$$2V_0 = a_1 \cdot t, \quad t = \frac{2V_0}{a_1}$$

За то же время в С.О. Земли скорость камня увеличится до V , т.е.

$$V = t \cdot a_2 = \frac{2V_0 \cdot a_2}{a_1} = V_0 \cdot \cos \alpha$$

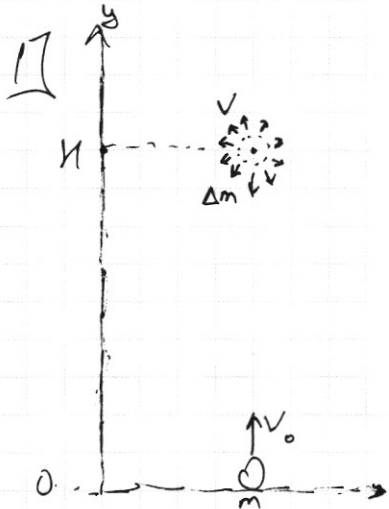
$$= \sqrt{\frac{4gk}{(2 \sin \alpha + \cos \alpha)}} \cdot \cos \alpha$$

$$= \sqrt{\frac{g}{1,320,6}} \cdot 0,6 \approx 1,3 \text{ м/с}$$

Итого: $V_0 = \sqrt{\frac{2k \cdot g}{\sin^2 \alpha + \frac{2}{3} \cos \alpha}} = 2 \text{ м/с}$

2) $V = \sqrt{\frac{4gk}{2 \sin \alpha + \cos \alpha}} \cdot \cos \alpha = 1,3 \text{ м/с}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Взрыв происходит в высшей точке, т.е. в ней у
рейфверга скорость равна 0 (по оси x скорость нет)

~~тогда~~ ~~тогда~~ ~~тогда~~ ~~тогда~~

$K = \frac{\rho F^2}{2}$ Если бы рейфверга не взорвался
вниз он бы летел 3 метра на время T)

~~тогда~~ тогда

45 м

$$K = \frac{\rho F^2}{2}$$

Если бы рейфверга не взорвался, он бы
летел вниз по не время T)

2) у ~~тогда~~ все осколки движутся с одинаковой скоростью, т.е. $K = \sum \frac{\Delta m_i \cdot V_i^2}{2}$

$$= \frac{V_0^2}{2} \cdot \sum \Delta m_i = \frac{m V_0^2}{2} \Rightarrow V_0 = \sqrt{\frac{2K}{m}} = 60 \text{ м/с}$$

~~тогда~~ ~~тогда~~ Первым упадет тот

осколок, что будет лететь вертикально вниз, т.е.

$$D = K - V \cdot T - \frac{g T^2}{2}$$

$$g T^2 + 2 V \cdot T - 2 K = 0$$

Скорость осколка отрицательна, т.к.
сформирован элемент
меньше нуля)

$$\frac{D}{g} = V^2 + 2 g K$$

$$T = \frac{-V + \sqrt{V^2 + 2gK}}{g}$$

$$= \frac{-60 + \sqrt{3600 + 900}}{10} = \frac{-60 + 30 \cdot 5}{10}$$

~~3~~ $= 3(\sqrt{5}-2) \approx 0,8c$

~~3~~

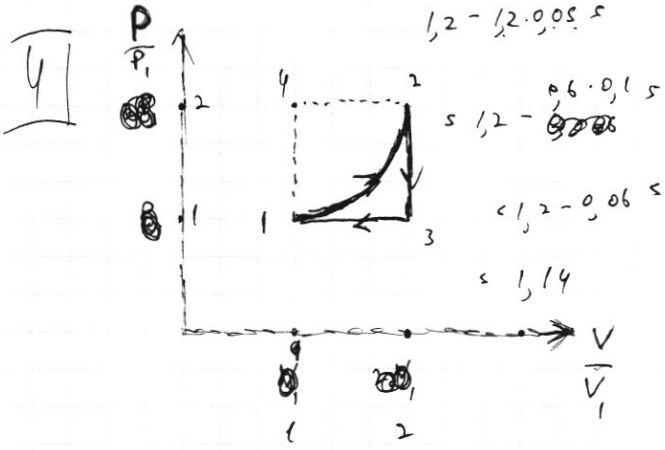
~~3~~

$DK = \frac{gT^2}{2} = 454$
 $2) \tau = \frac{-V + \sqrt{V^2 + 2gK}}{g} = 0,8c$
 $V = \sqrt{\frac{2K}{m}}$
 $K = \frac{gT^2}{2}$
 (рез. нулями)

Дано: 1) $K = \frac{gT^2}{2} = 454$

2) $\tau = \frac{-V + \sqrt{V^2 + 2gK}}{g} = 0,8c$, где $V = \sqrt{\frac{2K}{m}}$, $K = \frac{gT^2}{2}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Параметры газа в разных состояниях:
 $\frac{1}{22} \approx \frac{1}{20} = 0,05$

- 1 - (P_1, V_1)
- 2 - $(P_2, V_2) \approx (2P_1, 2V_1)$
- 3 - $(P_1, V_2) \approx (P_1, 2V_1)$

Ур. окруж.: $(\frac{V}{V_1} - 2)^2 + (\frac{P}{P_1} - 2)^2 = 1$ (умножим на $P_1^2 V_1^2$)

~~$(P_1 V - P_1 V_1)^2 + (P V_1 - 2 P_1 V_1)^2 = P_1^2 V_1^2$~~

$P_1^2 V^2 - 2 P_1^2 V_1 V + P_1^2 \frac{V^2}{V_1^2} + P^2 V_1^2 - 4 P P_1 V_1^2 + 4 P_1^2 V_1^2 = P_1^2 V_1^2$

$P^2 V_1^2 - 4 P P_1 V_1^2 + 4 P_1^2 V_1^2 = 2 P_1^2 V_1 V - P^2 V^2$

$(P V_1 - 2 P_1 V_1)^2 = P_1^2 V_1 (2 V_1 - V)$ $\sqrt{\frac{5}{3}} \approx \sqrt{1,666666} \approx$

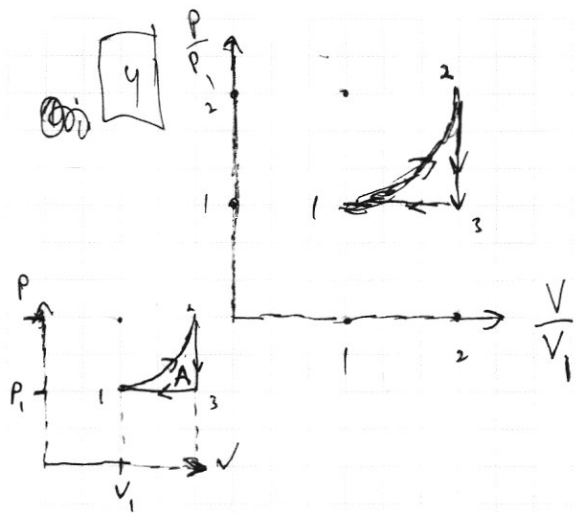
$P(V) \approx \frac{\sqrt{P_1 V (2 V_1 - V)}}{V_1} + 2 P_1$ $\approx \sqrt{1,69} \approx 1,3$

$23 \approx 400 + 120 + 9 \approx 529$ $2 \cdot 2 \cdot 20 + 4 \approx 484$

1. $Q_y \approx A + \Delta U = \int_{V_1}^{2V_1} P dV + \nu C_V \cdot \Delta T$

$\frac{\lambda}{32} \cdot 0,6 \approx \sqrt{\frac{40}{11}} \cdot 0,6 \approx \sqrt{4 - \frac{4}{11}} \cdot 0,6 \approx \frac{3}{2} \nu R \cdot \Delta P \approx \frac{3}{2} \nu R \cdot 3 P_1 V_1 \approx \frac{9}{2} \nu R P_1 V_1$

$\approx 2 \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{11}} \cdot 0,6 \approx 1,2 \cdot (1 - \frac{1}{22})$



~~Уравнение~~ y_p - 2 состояния газа
~~3 молекул~~
~~равно на 1 моль~~

Рассчитаем на 1 моль

1. $P_1 V_1 = RT_1$
2. $2P_1 2V_1 = 4P_1 V_1 = 4RT_1$
3. $P_1 \cdot 2V_1 = 2P_1 V_1 = 2RT_1$

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

В координатах P, V это будет уравнение эллипса

Площадь эллипса: $\pi R_1 \cdot R_2$, в нашем случае $\pi \cdot P_1 \cdot V_1$

1) $Q = \Delta A + \Delta U = 2P_1 V_1 - \frac{\pi}{4} P_1 V_1 + C_V \cdot \Delta T = 5,41 P_1 V_1$
(площадь по формуле) $\frac{5}{2}R$, т.к. из уравнения

2) Работа за весь цикл: $A = P_1 V_1 - \frac{\pi}{4} P_1 V_1 \approx \frac{0,22}{1} P_1 V_1 \approx 0,22 P_1 V_1$

3) $\eta = \frac{A}{Q} = \frac{0,22}{5,41} \approx \frac{2,2}{54,1}$

Ответы: 1) $Q = P_1 V_1 \left(2 - \frac{\pi}{4} + \frac{9}{2}\right) \approx 5,41 P_1 V_1$
 2) $A = P_1 V_1 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \approx 0,22 P_1 V_1$
 3) $\eta = \frac{1 - \frac{\pi}{4}}{2 - \frac{\pi}{4} + \frac{9}{2}} \approx \frac{2,2}{54,1}$



ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$2 - \frac{\pi}{4} + \frac{9}{2} =$$

$$= 5,51$$

$$\frac{8 + 10 - \pi}{4} =$$

$$\frac{22,84}{4} = \frac{11,42}{2} =$$

$$\frac{22}{5,51} =$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)