

Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

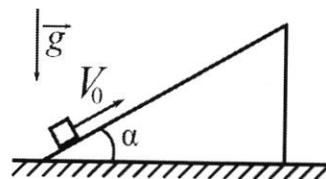
(заполняется секретарем)

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 земле осколки падают в течение $t = 10 \text{ с}$.~~ *Вероятно, что при взрыве скорость фейер.*

- 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



$H = 0,2 \text{ м}$. *после взрыва 1 осколок упадет* 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. *цб по хз кассе*
- 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 $g = 10 \text{ м/с}^2$.

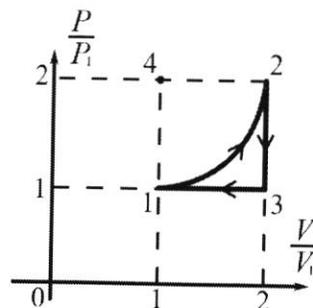
4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 4. Считать заданными давление P_1 и объём V_1 .

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

2) Найдите работу A газа за цикл.

3) Найдите КПД η цикла.

$$Q_{12} = \frac{3}{2} \cdot (4-1) P_1 V_1 + k \cdot \frac{3}{2} P_1 V_1 = 1,5 P_1 V_1 \left(\frac{13}{2} - \frac{11}{2} \right)$$



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.

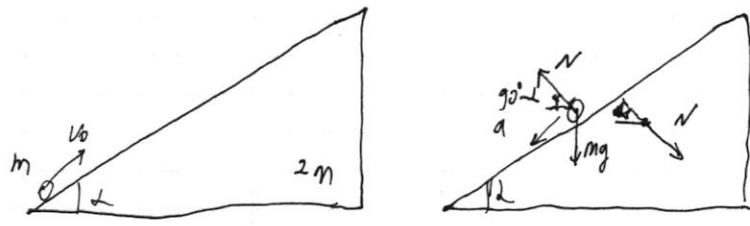
$$Q = \sqrt{N^2 + (0,8N)^2} = N\sqrt{1 + \frac{16}{25}} = 2mg$$

$$N = \frac{5}{\sqrt{41}} \cdot 2mg$$

Очевидно, что первым упадет осколок, у которого скорость направлена вертикально вниз, а последним, у которого скорость направлена вертикально вверх, так как точка взрыва одинакова и скорости по модулю равны. П.к. взрыв происходит в

ДИИ: $S = v_1 \cdot t_I + \frac{gt_I^2}{2}$ ДИИ последнего: $S = -v_1 t_{II} + \frac{gt_{II}^2}{2}$

- М_к
 дано:
 М_ш
 $\cos \alpha = 0,6$
 v_0
 $M = 0,24$ - наиб.
 $m = 2M$



- 1) $v_0 = ?$
 2) $v_k = ?$ $M_k = M_w$

Пусть M_w - масса шайбы, M_k - масса клина.

В момент, когда шайба достигает наивысшей точки ее скорость равна скорости клина ($v_{относ.} = 0$)

$A = \frac{(M_k + M_w) v_k^2}{2} + M_w g h - \frac{M_w v_0^2}{2}$

$A = 0$, т.к. для системы ~~внешних сил~~ работа внешних сил O ^{одна из} них вертикальна, а перемещение ^{то есть их работу} горизонтально, на ~~шайбу~~ систему действует ^{внешняя} Mg , но ее я учитываю в изменении потенциальной энергии.

ЗСЦ:
 $M_w v_0 \cos \alpha = (M_w + M_k) v_k$
 $v_k = \frac{M_w}{M_w + M_k} \cdot v_0 \cos \alpha$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1
Дано:
 $m = 1 \text{ кг}$
 $T = 3 \text{ с}$ - выш. точка
 $K = 1800 \text{ Дж}$
 $T = 10 \text{ с}$
1) H - ?
2) T_1 - ?

1) $K = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta m_i \cdot v_i^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2}$, где Δm - масса осколка

$v_1 = \sqrt{\frac{2K}{m}}$ - скорость каждого кусочка после взрыва.

2) $T = 3 \text{ с}$

$S = v_0 T - \frac{g T^2}{2}$, S - наиб. выш. точка траектории, где v_0 - начальная скорость фajerверка

Тогда $\dot{S} = 0$

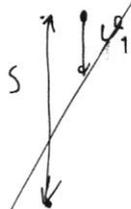
$0 = v_0 - g \cdot 2T$

или $v_0 = gT$

$S = gT^2 - \frac{gT^2}{2} = \frac{gT^2}{2}$

3) Вероятно в условии имеется в виду, что $T = 10 \text{ с}$ - время от взрыва до того момента, как упал последний осколок, необходимо найти T_1 - время между тем как упал первый и последний осколок. ~~первый~~. Пусть t_1 - время полета после взрыва I осколка; t_2 - время полета после взрыва последнего осколка

I:



II:



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$v_k = \frac{m}{2m+m} \cdot v_0 \cdot \cos \alpha = \frac{1}{3} v_0 \cos \alpha$$

ЗКЗ

$$\frac{(2m+m)}{2} \cdot \left(\frac{1}{3} v_0 \cos \alpha\right)^2 + mgh = \frac{m \cdot v_0^2}{2}$$

$$\frac{3m}{2} \cdot \frac{1}{9} \cdot v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha + mgh = \frac{m v_0^2}{2}$$

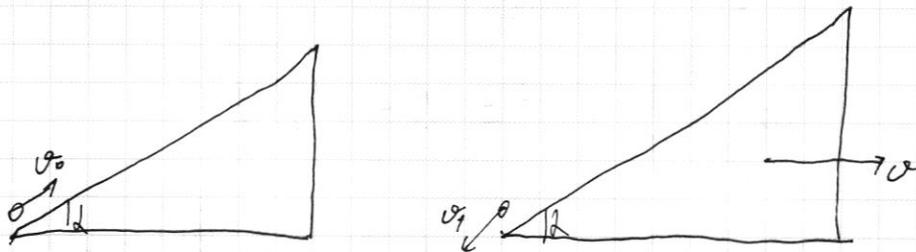
$$\frac{1}{6} v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha + gh = \frac{v_0^2}{2}$$

$$gh = v_0^2 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{3}{5}\right)^2\right)$$

$$gh = v_0^2 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{3}{10}\right) = v_0^2 \cdot \frac{11}{25}$$

$$v_0^2 = \sqrt{\frac{25gh}{11}} = \sqrt{\frac{25}{11} \cdot 10 \cdot \frac{2}{10}} = 5 \cdot \sqrt{\frac{2}{11}} = 5 \cdot \frac{14}{3,3} \approx 2,14 \text{ м/с}$$

2)



Горизонтальных внешних сил системы нет:

(1) ЗСИ: O_x :

$$m v_0 \cos \alpha = m v - m v_1 \cos \alpha$$

интервал
время

проекция импульса силы.

(2) ЗСИ: начало и конец:

$$A = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{m v^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2}$$

$A=0$ т.к. суммарная работа

внешних сил 0. т.к. $\Gamma_{\text{нат}} = \Gamma_{\text{кон}}$, других внешних сил, кроме

Формулы нет).

3 м7 гл читала и когда шаба на H:

$$(3) \quad 0 = \frac{(m+m) v_k^2}{2} + \cancel{mgh} mgH - \frac{m v_0^2}{2} \quad (\text{сохранение м. вл. 1)}$$

где v_k - скорость шарика и шаба когда шаба на высоте H.

$$(4) \quad \text{3(н): } m v_0 \cos \alpha = (m+m) v_k$$

$$\text{Реш: } v_k = \frac{v_0 \cos \alpha}{2}$$

$$(3): \quad \frac{m v_0^2}{2} = \frac{2m}{2} \cdot \left(\frac{v_0 \cos \alpha}{2} \right)^2 + mgH$$

$$\frac{v_0^2}{2} = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{4} + gH$$

$$v_0^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4} \right) = gH$$

$$v_0^2 \cdot \frac{1}{4} = gH \Rightarrow v_0^2 = \frac{400}{41} gH$$

$$(1): \quad v_0 = 10 \sqrt{\frac{gH}{41}}$$

$$10 \sqrt{\frac{gH}{41}} \cdot \frac{3}{5} = v - v_1 \cdot \frac{3}{5}$$

$$v_1 = \frac{5}{3} \cdot \left(v - 10 \sqrt{\frac{gH}{41}} \cdot \frac{3}{5} \right)$$

$$(2): \quad 0 = v_1^2 + v^2 - v_0^2$$

$$\frac{100}{41} gH = \left(\frac{5}{3} v - 10 \sqrt{\frac{gH}{41}} \right)^2 + v^2$$

$$\frac{100}{41} gH = \frac{25}{9} v^2 - \frac{100}{3} v \sqrt{\frac{gH}{41}} + \frac{100}{41} gH + v^2$$

$$v \left(\frac{34}{9} v - \frac{100}{3} \sqrt{\frac{gH}{41}} \right) = 0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$g = 0 \text{ мм}$$

$$g = \frac{100}{3} \sqrt{\frac{gH}{41}} \cdot \frac{g}{34}$$

$$g = 0 - \text{кФ}$$

подходит, т.к.
это катаный
монитор ~~монитор~~

$$g = \frac{300}{34 \cdot \sqrt{41}} \cdot \sqrt{gH} = \frac{150}{17 \sqrt{41}} \cdot \sqrt{2} =$$

$$= \frac{15 \cdot 14}{17 \sqrt{41}} = 1,9 \text{ м/с}$$

$$\begin{array}{r} 6,5 \\ - 6,5 \\ \hline 32,5 \\ + 9,0 \\ \hline 41,5 \end{array}$$

$$\sqrt{41} \approx 6,4$$

$$\begin{array}{r} 15 \\ - 14 \\ \hline 10 \\ + 5 \\ \hline 210 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 17 \\ - 6,4 \\ \hline 6,8 \\ + 2,1 \\ \hline 108,9 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 210 \mid 209 \\ - 109 \mid 1,9 \\ \hline 101 \end{array}$$

Ответ: 1) 2,1 м/с
2) 1,9 м/с

№ 3

Дано: Дано:

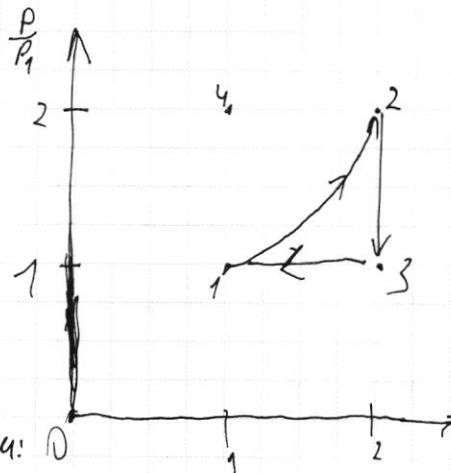
$m = 1 \text{ кг}$

P_1, V_1

Температура

$J = 1 \text{ моль}$

$i = 3$



Итак, температура: 0

$$1-2: Q_{12} = \frac{3}{2} J R (T_2 - T_1) + A_{12}$$

$$A_{12} = P_1 \cdot V_1 \left(1 + \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right) \right) = P_1 \cdot V_1 \left(2 - \frac{P_2}{P_1} \right)$$

1'. Уравнение Менделеева-Клапейрона: $P_1 \cdot V_1 = S R T_1$

$$2! \quad 2P_1 \cdot 2V_1 = \int R T_2 \quad (2)-(1)!$$

$$\int R (T_2 - T_1) = \cancel{4P_1 V_1 (2 - \frac{P_1}{4})}$$

$$3P_1 V_1 = \int R (T_2 - T_1)$$

$$Q_{12} = 3 \cdot \frac{3}{2} P_1 V_1 + P_1 \cdot V_1 (2 - \frac{P_1}{4}) = P_1 \cdot V_1 (\frac{9}{2} + 2 - \frac{P_1}{4}) = P_1 \cdot V_1 (\frac{13}{2} - \frac{P_1}{4})$$

$$2-3: \quad Q_{23} = A_{23}^{10} + \frac{3}{2} \int R (T_3 - T_2)$$

наполнение по закону 0.

ВУ на 3 уровне. мед-конт.

$$P_1 \cdot 2V_1 = \int R T_3.$$

$$\int R (T_3 - T_2) = (\frac{1}{2} P_1 V_1 - \frac{1}{4} P_1 V_1) = -\frac{1}{4} P_1 V_1$$

$$Q_{23} = -\frac{3}{2} P_1 V_1 = -3 P_1 V_1$$

$$3-1: \quad \text{ИТД:} \quad Q_{31} = \frac{3}{2} \int R (T_1 - T_3) - P_1 V_1$$

$$\int R (T_1 - T_3) = P_1 V_1 - 2P_1 V_1 = -P_1 V_1.$$

$$Q_{31} = -P_1 V_1 \cdot \frac{3}{2} - P_1 V_1 = -\frac{5}{2} P_1 V_1$$

Итого:

$$Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = P_1 V_1 (\frac{13}{2} - \frac{P_1}{4}) - 3 - \frac{5}{2}$$

Расширение: это 1-2, 2-3 $v = \text{const}$; 3-1 $v \downarrow$

$$Q_{12} = (\frac{13}{2} - \frac{P_1}{4}) P_1 V_1 \approx \frac{27}{4} P_1 V_1 = 5,7 P_1 V_1$$

$$A_{\text{цикла}} = A_{\text{рабочая}} = P_1 \cdot V_1 (1 - \frac{P_1}{4}) = P_1 V_1 \cdot \frac{0,85}{4} = 0,2 P_1 V_1$$

$$\eta = \frac{A}{Q_+} \cdot Q_+ > 0. \quad Q_+ \text{ это только } Q_{12}, \text{ другие } < 0.$$

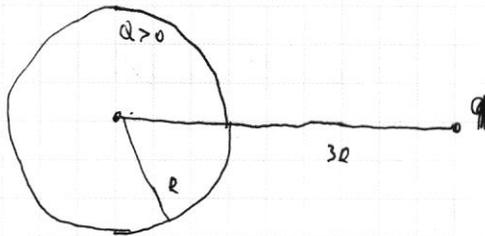
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$D = \frac{0,2 P_1 V_1}{5,7 P_1 V_1} = \frac{2}{57} \approx \frac{4}{114} \approx \cancel{0,035} \approx 0,035 \approx 3,5\%$$

$$\begin{array}{r} 400 \overline{) 114} \\ 314 \\ \hline 458 \end{array}$$

- Ответ:
- 1) $5,7 P_1 V_1$
 - 2) $0,2 P_1 V_1$
 - 3) $3,5\%$

№ 5



Возьмем сферу радиусом $3R$ и применим ТП Гаусса:

$$\Phi = q = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

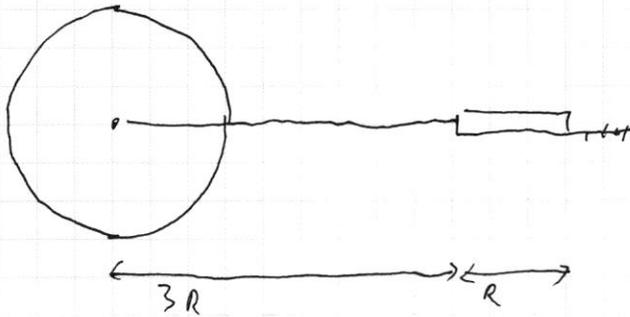
$$q = E \cdot S = E \cdot 4\pi(3R)^2 = E \cdot 36\pi R^2$$

Итак, $\frac{Q}{\epsilon_0} = E \cdot 36\pi R^2$

$$E = \frac{Q}{36\epsilon_0 \pi R^2} \quad ; \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

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

2)



Выберем ось x (сферой сферу радиуса x):

$$3R \leq x \leq 4R$$

Сим заряды, которые ^{сферы} "разорвать" сферой компенсации
внутренними. Поэтому когда выбираем Гауссову поверхность

будем считать что внутри выбранной сферы заряд Q .
или будем учитывать заряд Q внутри сферы.

$$E_x = \frac{Q}{\epsilon_0} = \frac{E_x \cdot 4\pi x^2}{4\pi x^2}$$

$$E_x = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 x^2} \text{ — поле от сферы на расстоянии } x.$$

$$F_z = \int E_x \cdot dq; \quad dq = \frac{q}{R} \cdot dx$$

$$F_z = \int \frac{kqQ}{x^2} \cdot \frac{q}{R} dx = \frac{qkQ}{R} \cdot \int (x)^{-2} dx = \dots$$

$$= -\frac{kqQ}{R} \cdot \frac{1}{x} \Big|_{3R}^{4R} = \frac{kqQ}{R} \cdot \left(\frac{1}{3R} - \frac{1}{4R} \right) = \frac{kqQ}{12R^2}$$

Ответ: 1) $\frac{kqQ}{9R^2}$

2) $\frac{kqQ}{12R^2}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1
Дано:
 $m = 1 \text{ кг}$.
 $T = 3 \text{ с}$ - выскочил
точка.
 $K = 1800 \text{ Дж}$.
1) $H = ?$
2) $T = ?$

1) П.к. При $T = 3 \text{ с}$ фейерверк достигает
высшей точки, то $\sigma_{\text{центра масс}} = 0$.

$$K = \sum_{i=1} \frac{\Delta m \cdot v_{\text{иск}}^2}{2} = \frac{m v_0^2}{2}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2K}{m}} - \text{скорость взрыва}$$

2) $H = v_0 T - \frac{gT^2}{2}$ - в проекции на верт. вверх.
направление по ось.

$$H_{\text{max}} \Rightarrow \dot{H} = 0 \quad (\text{или } H - \text{переменная, а не const})$$

$$0 = v_0 - \frac{2gT}{2} \Rightarrow v_0 = gT$$

$$H = gT \cdot T - \frac{gT^2}{2} \Rightarrow H = \frac{gT^2}{2} = \frac{10 \cdot 3^2}{2} = 45 \text{ м}$$

2) После Т.к. у всех осколков скорость по модулю
одинаковая, то первая земля достигнет той, у кого
скорость направлена вертикально вниз.

$$\begin{aligned} \text{Суд: } H &= v_0 T + \frac{gT^2}{2} \\ H &= \sqrt{\frac{2K}{m}} \cdot T + \frac{gT^2}{2} \end{aligned}$$

$$\frac{g}{2} T^2 + \sqrt{\frac{2K}{m}} \cdot T - H = 0$$

$$t = \frac{-\sqrt{\frac{2k}{m}} \pm \sqrt{\frac{2k}{m} + 4 \cdot \frac{g}{2} \cdot h}}{2 \cdot \frac{g}{2}} ; \tau > 0 \text{ по физич. смысле}$$

$$T = \frac{-\sqrt{\frac{2k}{m}} + \sqrt{\frac{2k}{m} + 2gh}}{g}$$

$$\tau = \frac{-60 + \sqrt{3600 + 20 \cdot 45}}{10} = \frac{-60 + \sqrt{3600 + 900}}{10} = \frac{-60 + \sqrt{4500}}{10} = \frac{-60 + \sqrt{900 \cdot 5}}{10} = \frac{-60 + 30\sqrt{5}}{10} = -6 + 3\sqrt{5} \approx -6 + 3 \cdot 2,25 = 0,75 \text{ с.}$$

23
23
46
529

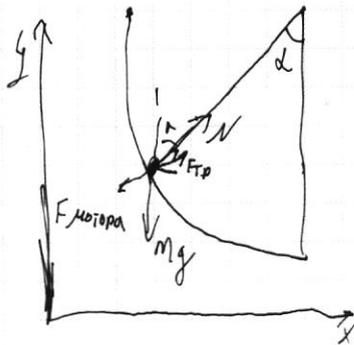
Ответ: 1) 45 м
2) 0,75 с

13

Дано:

$$Q = 2mg$$

a-?



Решение:

$$a = a_n \text{ — так как ускорение только по касательной к телу.}$$

$$N^2 + F_{тр}^2 = Q^2$$

$$N \sqrt{1 + \mu^2} = Q = 2mg \Rightarrow N = \frac{2mg}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

↑
по ум.

$$O_y: N \cos \alpha = mg \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2mg}{\sqrt{1 + \mu^2}} = mg \Rightarrow \cos \alpha = \frac{\sqrt{1 + \mu^2}}{2}$$

$$O_x: N \sin \alpha = ma$$

$$\frac{2mg}{\sqrt{1 + \mu^2}} \cdot \frac{\sqrt{3 - \mu^2}}{2} = ma$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{1 + \mu^2}{4}} = \sqrt{\frac{3 - \mu^2}{4}}$$

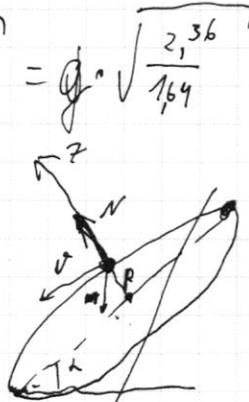
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$g \cdot \frac{\sqrt{3-\mu^2}}{\sqrt{1+\mu^2}} = a$$

$$\begin{array}{r} 236 \overline{) 164} \\ 164 \overline{) 164} \\ \hline 000 \\ \hline 000 \\ \hline 000 \\ \hline 000 \end{array}$$

$$a \approx g \cdot \sqrt{\frac{3-0,64}{1+0,64}} = g \cdot \sqrt{\frac{2,36}{1,64}} \approx 1,4g = 14 \text{ м/с}^2$$

2)



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

$$ma = F_{fp} = \mu N$$

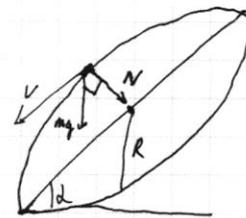
0z:

$$N \neq mg \quad 0 = N - mg \cos \alpha$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$ma = \mu mg \cos \alpha$$

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



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

v -min при min a , т.к. $v = \sqrt{a \cdot R}$

$$a = \frac{N}{m}$$

$$\mu N \cdot \cos \varphi = mg$$

$$(\mu N \sin \varphi = F_{\text{норм}} \sin \alpha + mg \cos \alpha)$$

$$N = \frac{mg}{\mu \cos \varphi}$$

φ - угол между вертикалью и

силой трения ~~качения~~. скольжения.

$$a = \frac{g}{\mu \cos \varphi}$$

$$V = \sqrt{\frac{g}{\mu \cos \varphi} \cdot R}$$

V_{min} при макс. $\cos \varphi$, т. е. $\cos \varphi = 1$

$$V = \sqrt{\frac{gR}{\mu}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 1}{98}} = \sqrt{\frac{100}{8}} = \sqrt{\frac{25}{2}} = \frac{5}{\sqrt{2}} \approx 3,5 \text{ м/с}$$

$\frac{50}{8} \left| \frac{14}{3} \right.$

ОТВЕТ: 1) 14 м/с^2
2) $3,5 \text{ м/с}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

- №3
1) $a = ?$
 $Q = 2mg$



$$N \cos \alpha = mg$$

II 3-й закон Ньютона по O_y : $N \cos \alpha = mg$

O_x : $N \sin \alpha = ma$

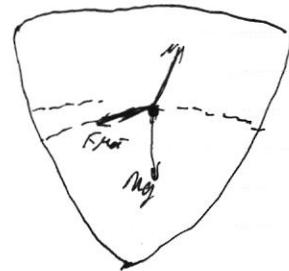
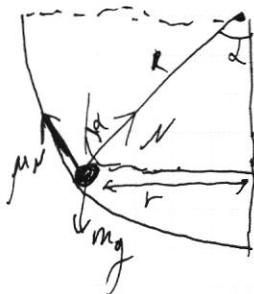
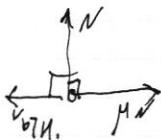
$$N = 2mg$$

$$2 \cos \alpha = 1 \Rightarrow \cos \alpha = \frac{1}{2} \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$2mg \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = ma$$

$$g\sqrt{3} = a. \quad a \approx 17 \text{ м/с}^2$$

- 2) Сила сопр. направлена
против скорости и компенсирует
силу создаваемой мотором.



$$Q = 2mg$$

$$Q = \sqrt{N^2 + (\mu N)^2} = N \sqrt{1 + \mu^2}$$

$$N = \frac{mg}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

$$N = \frac{Q}{\sqrt{1 + \mu^2}}$$

$$\begin{cases} ma = N \sin \alpha \\ mg = N \cos \alpha \end{cases} \Rightarrow$$

$$a = \frac{2g \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}}{\sqrt{1+\mu^2}}$$

$$g = \frac{2g}{\sqrt{1+\mu^2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$N = \frac{mg}{\cos \alpha}$$

$$ma = mg \cdot \tan \alpha$$

$$a = g \cdot \tan \alpha = g$$

$$a = \frac{v_{\min}^2}{r} \quad v = R \omega \sin \alpha$$

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

$$v_{\min} = \sqrt{g R \cos \alpha} = \sqrt{5 \cdot 2} = \sqrt{10} \approx 3,16 \text{ м/с}$$

27
27
189
54
229