Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-02

Шифр

(заполняется секретарём)

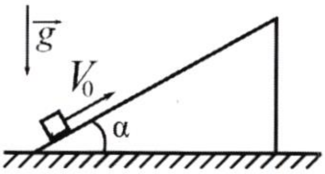
1. Фейерверк массой $m = 1$ кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и через $T = 3$ с разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Суммарная кинетическая энергия осколков сразу после взрыва $K = 1800$ Дж. На землю осколки падают в течение $\tau = 10$ 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 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



$H = 0,2$ м. Масса клина в два раз больше массы шайбы. Ускорение свободного падения g=10 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 $\alpha = 45^0$. Коэффициент трения скольжения шин по поверхности сферы $\mu = 0,8$, радиус сферы $R = 1$ м. Ускорение свободного падения g=10 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

1.1) Если V_0 – начальная скорость ~~фейерверка~~ фейерверка, то $V_0 = gT$.

$$H = \frac{V_0^2}{2g} = \frac{g^2T^2}{2g} = \frac{gT^2}{2} = \frac{10\cdot 9}{2} = 45 \text{ м}$$

2) Пусть V – скорость, с которой разлетелись осколки. ~~Время τ равно времени, через которое на землю упадет последний осколок~~

Тогда $K = \frac{mV^2}{2} \Rightarrow V = \sqrt{\frac{2K}{m}} = \sqrt{\frac{2\cdot 1800}{1}} = \sqrt{3600} = 60$ м/с

Первым на землю упадёт осколок, у которого скорость сразу после взрыва будет направлена вертикально вниз.

Пусть скорость этого осколка прямо перед падением на землю равна $V_к$. По ЗСЭ

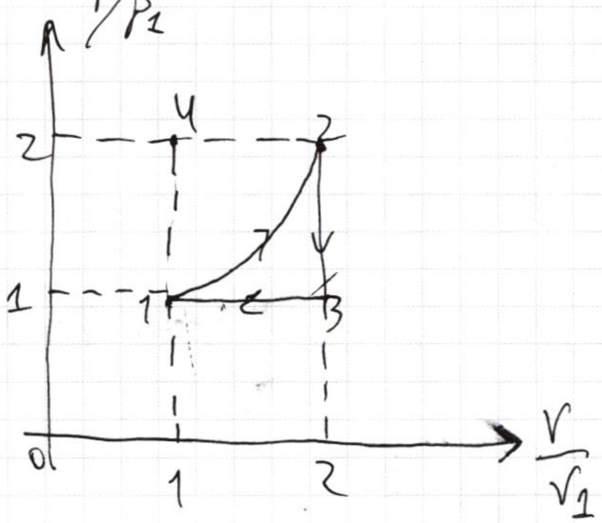
$$mgH + \frac{mV^2}{2} = \frac{mV_к^2}{2} \Rightarrow V_к = \sqrt{V^2+2gH}$$

Время его падения равно

$$t = \frac{\sqrt{V^2+2gH}-V}{g} = \frac{\sqrt{4500}-60}{10} \approx 0,7 \text{ с}$$

Ответ: 1) $H = 45$ м 2) $t \approx 0,7$ с

4.



1) Газ расширяется в процессе 1-2. По 1 началу термодинамики

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

$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}\Delta(pV) = \frac{3}{2}(2p_1\cdot 2V_1 - p_1V_1) = \frac{3}{2}(4p_1V_1 - p_1V_1)$
$= \frac{3}{2}\cdot 3p_1V_1 = \frac{9}{2}p_1V_1$

Работа A_{12} ~~равна~~ пропорциональна площади под ~~графиком~~ кривой 1-2. Её значение равно

$A_{12} = p_1V_1\cdot S$, где S - площадь под кривой 1-2 в данных координатах.

$S = 2\cdot 1 - \frac{\pi\cdot 1^2}{4} = 2 - \frac{\pi}{4}$

$Q = \frac{9}{2}p_1V_1 + p_1V_1\left(2 - \frac{\pi}{4}\right) = p_1V_1\left(\frac{9}{2} + 2 - \frac{\pi}{4}\right) = p_1V_1\left(\frac{13}{2} - \frac{\pi}{4}\right)$

2) $A = p_1V_1\cdot S_ц$, где $S_ц$ − площадь цикла в данных координатах.

$S_ц = 1 - \frac{\pi\cdot 1^2}{4} = 1 - \frac{\pi}{4}$

$A = p_1V_1\left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$

3) Тепло к газу подводится только

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

на участке 1-2, поэтому

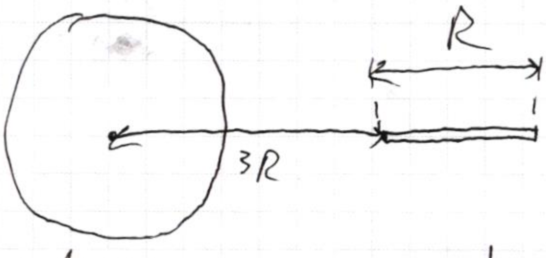
$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{1-\frac{\pi}{4}}{\frac{13}{2}-\frac{\pi}{4}} \approx 4,5\ \%$$

Ответ: 1) $Q = p_1V_1\left(\frac{13}{2}-\frac{\pi}{4}\right)$, 2) $A = p_1V_1\left(1-\frac{\pi}{4}\right)$

3) $\eta \approx 4,5\%$

~~4. 3. 1) По 3 закону Ньютона, сила, с которой модель действует на сферу, равна силе, с которой сфера действует на модель.~~

5. 1) $F_1 = \frac{kQq}{(3R)^2} = \frac{kQq}{9R^2}$

2) 

Рассмотрим точечный заряд dq, находящийся на расстоянии r от центра сферы. Его сила взаимодействия со сферой равна

$$dF = \frac{kQdq}{r^2}$$

В силу того, что стержень заряжен однородно $\frac{dq}{dr} = \frac{q}{R} \Rightarrow dq = \frac{qdr}{R}$

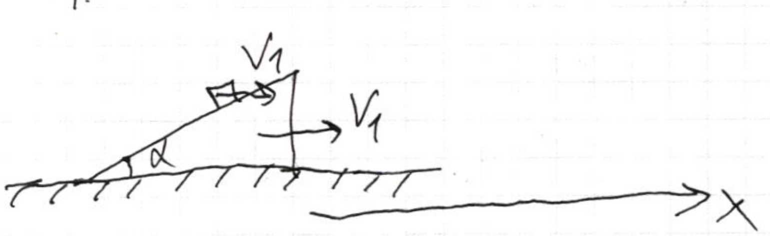
Полная сила взаимодействия стержня со сферой равна

$$F_2 = \int dF = \int \frac{kQdq}{r^2} = \int_{3R}^{4R} \frac{kQqdr}{Rr^2} = \frac{kqQ}{R} \int_{3R}^{4R} \frac{dr}{r^2} =$$

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

Ответ: 1) $F_1 = \frac{kqQ}{9R^2}$ 2) $F_2 = \frac{kqQ}{12R^2}$

2. 1) В момент, когда шайба поднимется на максимальную высоту, скорости шайбы и клина будут равны. Пусть их скорость в этот момент равна V_1.



Введём горизонтальную ось x, направленную вправо. Все внешние силы, действующие

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

на систему - вертикальные силы. Поэтому импульс системы в проекции на ось x сохраняется

$mV_0\cos\alpha = mV_1 + 2mV_1 = 3mV_1$, где m - масса шайбы

$$V_1 = \frac{V_0\cos\alpha}{3}$$

в силу ЗСЭ

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} + \frac{2mV_1^2}{2} + mgH = \frac{3mV_1^2}{2} + mgH$$ или

$$V_0^2 = 3V_1^2 + 2gH$$

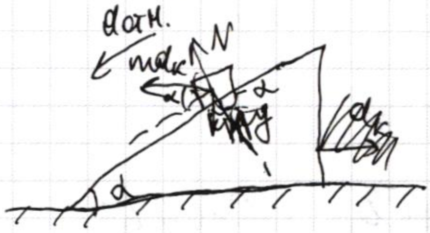
$$V_0^2 - 3V_1^2 = 2gH$$

$$V_0^2 - \cancel{3}\frac{V_0^2\cos^2\alpha}{\cancel{9}\,3} = 2gH$$

$$\frac{V_0^2(3-\cos^2\alpha)}{3} = 2gH \Rightarrow V_0 = \sqrt{\frac{6gH}{3-\cos^2\alpha}} \approx 2{,}2\,м/с$$

2) Пусть $a_к$ - ускорение клина, а N - сила нормальной реакции, действующая на шайбу со стороны клина.

Перейдём в систему отсчёта клина.



В ней на шайбу будет действовать сила инерции ma_K. Так как в этой СО шайба может двигаться только вдоль поверхности клина, то

$N + ma_K \sin\alpha = mg\cos\alpha$ (1)

На клин будут действовать сила тяжести, сила реакции со стороны земли и сила стороны шайбы, равная N по 3 закону Ньютона. Из них горизонтальную проекцию имеет только сила N. Тогда

$N\sin\alpha = ma_K$ (т.к. ускорение клина горизонтально). С учётом (1) получим, что

$$\cancel{m}g\sin\alpha\cos\alpha - \cancel{m}a_K\sin^2\alpha = \cancel{m}a_K$$

$$g\sin\alpha\cos\alpha = a_K + a_K\sin^2\alpha = a_K(1+\sin^2\alpha)$$

$$a_K = g\frac{\sin\alpha\cos\alpha}{1+\sin^2\alpha} \approx 3\ м/с^2$$

В СО клина шайба будет двигаться с постоянным ускорением

$\cancel{m}a_{отн} = \cancel{m}a_K\cos\alpha + \cancel{m}g\sin\alpha \approx 9{,}8\ м/с^2$. Время движения ~~клина~~ шайбы до точки старта равно

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\tau = \frac{2V_0}{a_{отн.}} \approx \frac{2\cdot 2,2}{9,8} \approx 4,4\,c$$

За это время клин разгонится до скорости

$$V = a_к \tau \approx 3\cdot 4,4 \approx 13,2\,м/с$$

Ответ: 1) $V_0 \approx 2,2$ м/с 2) ~~$V \approx 13$ м/с~~ $V \approx 13,2$ м/с

3.  вид сверху. Так как автомобиль движется равномерно, то у него может быть только нормальное ускорение, которое будет сообщать сила нормальной реакции N. Сила взаимодействия сферы с автомобилем равна $\sqrt{N^2+F_{тр}^2}$, где $F_{тр}$ – сила трения, действующая на автомобиль. При этом $F_{тр} = \mu N$. Тогда $N\sqrt{1+\mu^2} = 2mg$, где m – масса автомобиля.

$$N = ma = \frac{2\mu m g}{\sqrt{1+\mu^2}}$$

$$a = \frac{2g}{\sqrt{1+\mu^2}} \approx 15 \text{ м/с}^2$$

2) Обозначим скорость автомобиля в верхней точке траектории за v.

Единственные силы, сообщающие автомобилю нормальное ускорение a_0 — сила нормальной реакции N_0 и сила тяжести mg.

При этом

$$N + mg\sin\alpha = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow N = \frac{mv^2}{R} - mg\sin\alpha$$

Автомобиль сможет двигаться по окружности, если сила N_0 в верхней точке траектори ≥ 0. То есть

$$\frac{mv^2}{R} \geq mg\sin\alpha$$

$$v^2 \geq gR\sin\alpha$$

$v \geq \sqrt{gR\sin\alpha}$. Тогда

$V_{min} = \sqrt{gR\sin\alpha} \approx 2{,}7$ м/с Ответ: 1) $a \approx 15$ м/с^2

2) $V_{min} \approx 2{,}7$ м/с

$p_1V_1\left(1-\frac{\pi}{4}\right) + \frac{9}{2}p_1V_1 \quad Q = p_1V_1\left(\frac{11}{2}-\frac{\pi}{4}\right)$

$\sqrt{2VV_1 - V^2}\, dV \qquad A = \left(1-\frac{\pi}{4}\right)p_1V_1$

$\Delta U = \frac{3}{2}(4p_1V_1 - p_1V_1) = \frac{3}{2}\cdot 3p_1V_1 = \frac{9}{2}p_1V_1$

$\int^{2V_1}_{V_1} p\,dV$

$1-\frac{3}{4} = \frac{1}{4}$

$\frac{13}{2} - \frac{3}{4}$

$\eta = \frac{\left(1-\frac{\pi}{4}\right)p_1V_1}{p_1V_1\left(\frac{13}{2}-\frac{\pi}{4}\right)} = \frac{1-\frac{\pi}{4}}{\frac{13}{2}-\frac{\pi}{4}}$

$\left(\frac{p}{p_1}-2\right)^2 + \left(\frac{V}{V_1}-1\right)^2 = 1$

$\left(\frac{p}{p_1}\right)^2 - \frac{4p}{p_1} + 4 + \left(\frac{V}{V_1}\right)^2 - \frac{2V}{V_1} = 0$

$p_1V_1\left(2-\frac{\pi}{4}\right) + \frac{9}{2}p_1V_1 = p_1V_1\left(\frac{?}{2}-\frac{\pi}{4}+\frac{9}{2}\right) = p_1V_1\left(\frac{13}{2}-\frac{\pi}{4}\right)$

$\frac{p}{p_1} = \frac{4 - 2\sqrt{\frac{2V}{V_1} - \left(\frac{V}{V_1}\right)^2}}{2} = 2 - \sqrt{\frac{2V}{V_1}}$

$D = 16 - 4\left(4 + \left(\frac{V}{V_1}\right)^2 - \frac{2V}{V_1}\right) = 4\left(\frac{2V}{V_1} - \left(\frac{V}{V_1}\right)^2\right)$

$k\frac{Qq}{2\sqrt{2}R} \quad 1-\frac{\pi}{4}$

$p = p_1\left(2 - \sqrt{\frac{2V}{V_1} - \left(\frac{V}{V_1}\right)^2}\right)$

$p_1 \int_{V_1}^{2V_1} \left(2 - \sqrt{\frac{2V}{V_1} - \left(\frac{V}{V_1}\right)^2}\right) dV$

$G\frac{m_1\,dm}{R^2} = Gm_1 \int \frac{dm}{R^2}$

$k\frac{Q\,dq}{\dots}$

$\sqrt{2}\,dr = d\alpha$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$V_0^2 = 3V_1^2 + 2g \cdot 3R$

$mV_0 \cos\alpha = 3mV$

$V_0^2(3 - \cos^2\alpha) = 6gH$

$V_0 = \sqrt{\dfrac{6gH}{3-\cos^2\alpha}}$

$k\dfrac{Q\lambda dr}{r^2}$

$\int r^{-2} dr = \dfrac{r^{-2+1}}{-2+1} = -\dfrac{1}{r}$

$N \sin\alpha = 2m a_k$

$N + ma_k \sin\alpha = mg\cos\alpha$

$a_k = \dfrac{g \sin\alpha \cos\alpha}{2 + \sin^2\alpha}$

$3(4+0,4) = 12 + 1,2$

$2(2+0,2) = 4 + 0,4$

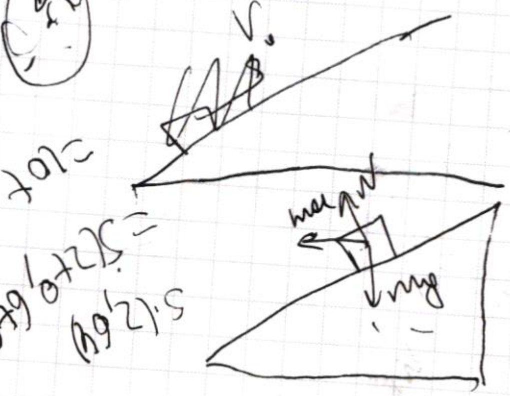
☑ черновик ☐ чистовик

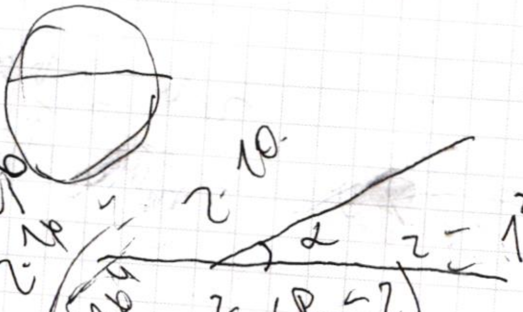
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

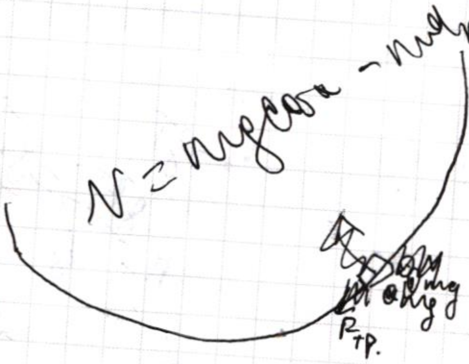
(Нумеровать только чистовики)

$F_{тр.} = \mu N$





$N = mg\cos\alpha - mg\sin\alpha$



$dA = p\,dV$

$A = \int_{V_1}^{2V_1} p\,dV$

$2mg = \sqrt{m^2g^2 + F^2}$

$4m^2g^2 = m^2g^2 + F^2$

$F^2 = 4m^2g^2 - m^2g^2 = 3m^2g^2$

$F = \sqrt{3}\,mg = ma$

$a = g\sqrt{3} \approx 17\ м/с^2$

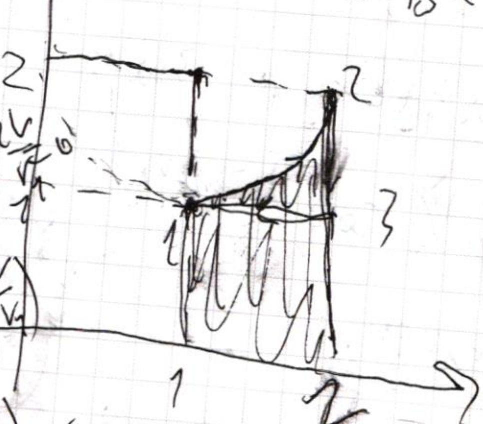
$\left(\frac{V}{V_1} - 1\right)^2 + \left(\frac{p}{p_1} - 2\right)^2 = 1^2$

$\frac{V^2}{V_1^2} - \frac{2V}{V_1} + 1 + \frac{p^2}{p_1^2} - \frac{4p}{p_1} + 4 = 1$

$\frac{p^2}{p_1^2} - \frac{4p}{p_1} + 4 + \frac{V^2}{V_1^2} - \frac{2V}{V_1}$

$D = 16 - 4\left(4 + \frac{V^2}{V_1^2} - \frac{2V}{V_1}\right)$

$= 4\left(\frac{2V}{V_1} - \left(\frac{V}{V_1}\right)^2\right)$



$Q = \Delta U + A$

$N + mg\sin\alpha = \frac{m v^2}{R}$

$\Delta U = \frac{3}{2}(2p_1 \cdot 2V_1 - p_1V_1)$

$= \frac{3}{2}(4p_1V_1 - p_1V_1)$

$= \frac{3}{2} \cdot 3p_1V_1$

$= \frac{9}{2}p_1V_1$

$1^2 - \frac{\pi}{4}$

$N = \frac{mv^2}{R} - mg\sin\alpha \geq 0$

$1 - \frac{\pi}{4} + 1 = 2 - \frac{\pi}{4}$

$v \geq \sqrt{\frac{gR}{\sqrt{2}}}$

$v^2 \geq gR\sin\alpha$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №___

(Нумеровать только чистовики)

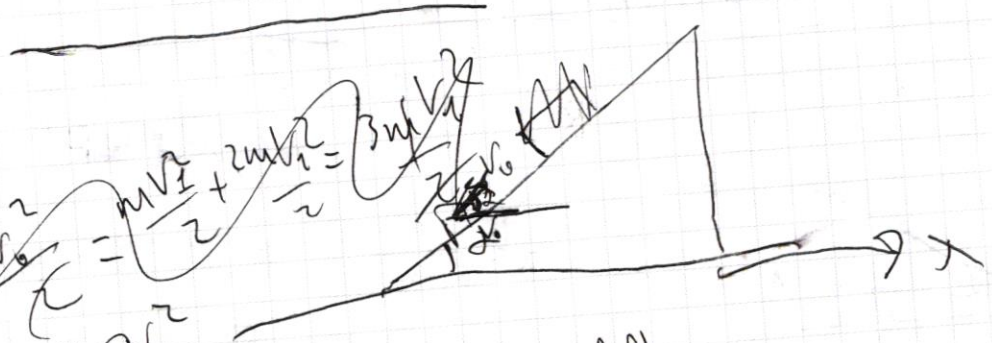
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
МФТИ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$V_0 = gT$

$H = \frac{gT^2}{2}$

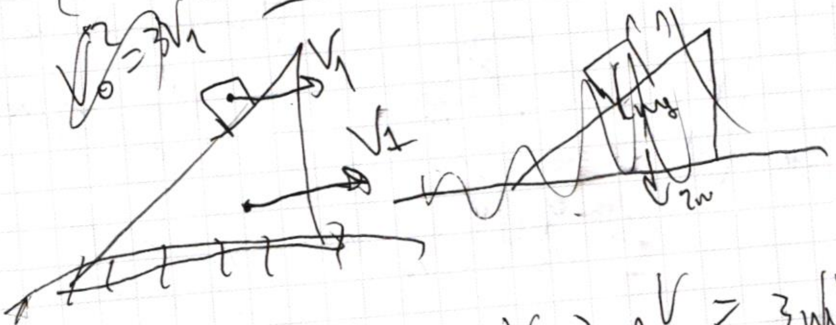
$\cos\alpha = 0,6$



$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV_1^2}{2} + \frac{2mV_1^2}{2} = \frac{3mV_1^2}{2}$

$V_0^2 = 3V_1^2$

$\frac{2 \cdot 10}{\sqrt{1,64}} = \frac{2 \cdot 10}{1,3} \approx 15$ м/с



$\frac{6 \cdot 10 \cdot 0,2}{3 - 0,36} = \frac{12}{2,64}$

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

$mV_0 \cos\alpha = mV_1 + 2mV_1 = 3mV_1$

$V_0 \cos\alpha = 3V_1$ $\quad V_1 = \frac{V_0 \cos\alpha}{3}$

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

$N = ma$

$N = \frac{mv^2}{R}$ $\quad \frac{mV_0^2}{2} = \frac{3mV_1^2}{2} + mgH$

$V_0^2 = 3V_1^2 + 2gH$

$V^2 = \frac{3 \cdot V_0^2 \cos^2\alpha}{9} + 2gH$

$V_0^2 - \frac{V_0^2 \cos^2\alpha}{3} = 2gH$

$\frac{V_0^2(3 - \cos^2\alpha)}{3} = 2gH$

$V_0^2 = \frac{6gH}{3 - \cos^2\alpha}$

$V_0 = \sqrt{\frac{6gH}{3 - \cos^2\alpha}} \approx 2,27$

$\sqrt{\mu^2 N^2 + N^2}$

$N\sqrt{1+\mu^2}$

$2mg$

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

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$m_1\frac{v_0^2}{2}+m_2\frac{v_0^2}{2}=m\frac{v_0^2}{2}$

$\Delta U=\frac{9}{2}p_1V_1$

$\frac{v_0}{g}$

$Q=\Delta U+A$

$K=\frac{mv_0^2}{2}$

$v_0=\sqrt{\frac{2K}{m}}$

$\frac{v_0^2}{2g}$

$\sqrt{2H+\frac{v_0^2}{2g}}$

$\sqrt{ax-x^2}\,dx$

$\frac{4\pm 2\sqrt{\frac{2V}{V_1}-\left(\frac{V}{V_1}\right)^2}}{2}=2\pm\sqrt{\frac{2V}{V_1}-\left(\frac{V}{V_1}\right)^2}$

$\frac{p}{p_1}=$

$p=p_1\left(2-\sqrt{\frac{2V}{V_1}-\left(\frac{V}{V_1}\right)^2}\right)dV$

$\frac{dt}{dx}=\sqrt{\frac{2V}{V_1}-\left(\frac{V}{V_1}\right)^2}=\sqrt{\frac{2VV_1-V^2}{V_1^2}}=\frac{\sqrt{2VV_1-V^2}}{V_1}$

$\int\left(2p_1-p_1\sqrt{\frac{2V}{V_1}-\left(\frac{V}{V_1}\right)^2}\right)$

$2p_1\int dV-\frac{p_1}{V_1}\int_{V_1}\sqrt{2VV_1-V^2}\,dV$

$\sqrt{v_0^2+2gH}$

p/p_1

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

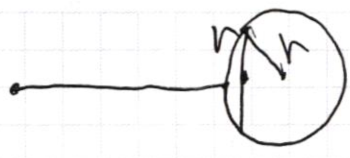
$\frac{\partial\varepsilon}{t}=\frac{\Delta\lambda}{t}-\frac{\partial\varepsilon}{t}$

$F=\frac{GMm}{R^2}$

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

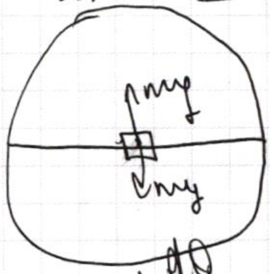
Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

$\frac{k_1 Q q_1}{9R^2}$



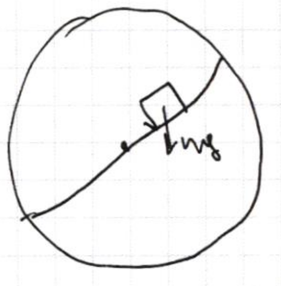
$\frac{kqq_0}{R^2}$

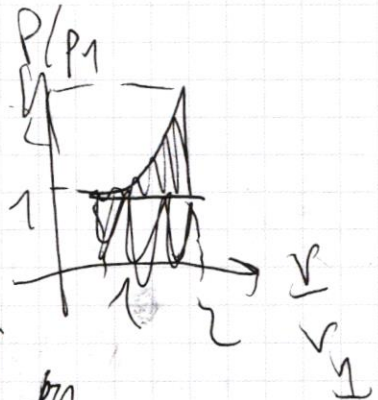
$= kq\frac{q_0}{R^2}$



$F = kqQ$

a_n

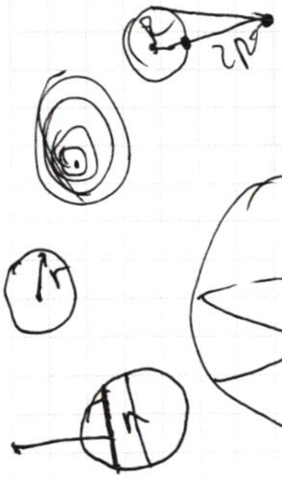


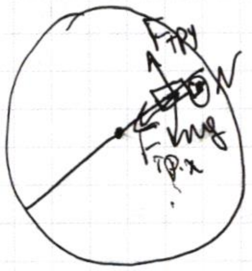


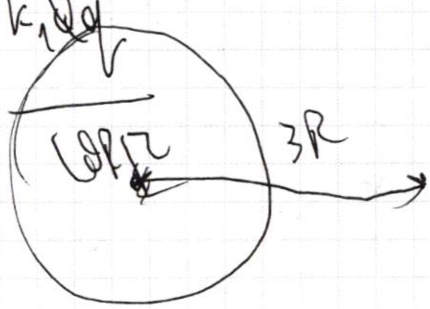
$F_{тр} \le \mu N$

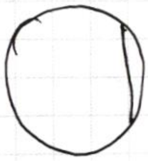
$F = \frac{k_1 Q q}{16R^2}$

$\frac{k q_1 q_2}{r^2}$









$Q = \Delta U + A$

$Q =$

$Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2}V(p_1 - 2p_1) = -\frac{3}{2}p_1V_1$

Q_{13}

$-p_1V_1 + \frac{3}{2}(p_1V_1 - 2p_1V_1)$

$= -p_1V_1 - \frac{3}{2}p_1V_1 = -\frac{5}{2}p_1V_1$

$Q = Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}$

$= Q_{12} - \frac{3}{2}p_1V_1 - \frac{5}{2}p_1V_1$

$= Q_{12} - 4p_1V_1$

$Q = A$

~~$Q_{12} - 4p_1V_1$~~

$Q_{12} - 4p_1V_1 - A_{12}$