



# Олимпиада «Физтех» по физике 2022

Класс 10

Вариант 10-01

Шифр

(заполняется секретарём)

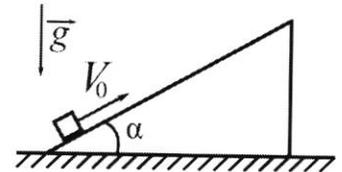
1. Фейерверк массой  $m = 2$  кг стартует после мгновенной работы двигателя с горизонтальной поверхности, летит вертикально вверх и разрывается в высшей точке траектории на множество осколков, которые летят во всевозможных направлениях с одинаковыми по величине скоростями. Высота точки разрыва  $H = 65$  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>.

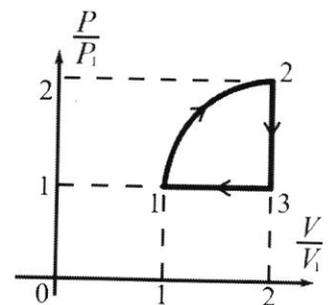
4. Один моль одноатомного идеального газа участвует в цикле 1-2-3-1 (см. рис.), участок 1-2 – дуга окружности с центром в точке 3. Температура газа в состоянии 1 равна  $T_1$ .

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  $q > 0$ .

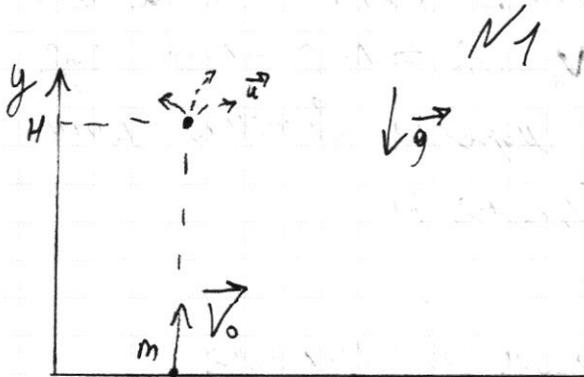
1) Найдите силу  $F_1$ , действующую на заряженный шарик.

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  
Дано:  $H = 65 \text{ м}$ ;  $m = 2 \text{ кг}$   
 $T = 10 \text{ с}$ ;  $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

1)  $V_0$  - ?

п.и.  $H$  - высшая точка кр.,

то:  $V_H = 0$ , тогда:  $0 = V_0 - g t$ ;  $H = \frac{g t^2}{2}$ ;  $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ , где  $t$  - время полёта до высшей точки

$$0 = V_0 - g t; \quad V_0 = g t = g \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 65} = \sqrt{1300} = 10\sqrt{13} \approx 36 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2)  $\sum E_k$  - ? ; п.и. ~~взрыв происходит мгновенно, и~~  
~~результат~~  $\sum E_k = \sum \frac{\Delta m u^2}{2} = \frac{m u^2}{2}$ , где  $u$  - скорость осколков

Очевидно, что дальше всего будут разлетаться осколки, летящие вертикально вверх, т.е. время его падения  $T$

$$y: -H = uT - \frac{gT^2}{2}; \quad uT = \frac{gT^2}{2} - H$$

$$u = \frac{gT}{2} - \frac{H}{T} = 50 - 6,5 = 43,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\sum E_k = \frac{m u^2}{2} = \frac{2 \cdot 43,5^2}{2} \approx 1892 \text{ Дж}$$

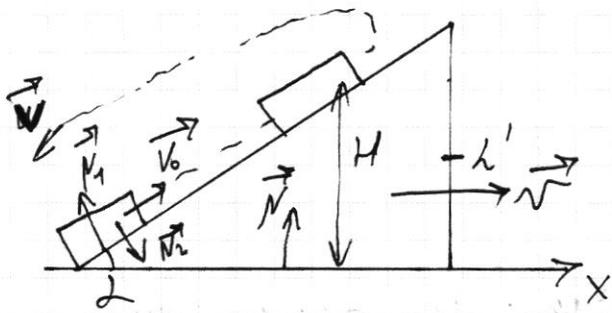
Ответ:  $V_0 = 36 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $\sum E_k = 1892 \text{ Дж}$ .

№2.

Дано:  $\alpha = 30^\circ$  движение без трения

$$V_0 = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad m_{\text{к1}} = m_{\text{к2}} = m$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$



1)  $H$  - ?

П.и. поверхность гладкая, но для шмента "шмента + шмента" выполняется ЗСМ в ох:  
 $mV_0 \cos \alpha = mv + mv$ , где  
 $v$  - скорость движения шмента,

Когда шмента касаются на высоте  $H$

$$v = \frac{V_0 \cos \alpha}{2} = \frac{2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Движение без трения, при этом в шмента:

Анкетом =  $A_{N1} + A_{N2} = 0$ , тогда по ЗСМЭ:

$$\left( \frac{mV_0^2}{2} + 0 \right) + (0 + mgh') = \left( \frac{mv^2}{2} + mgh \right) + \left( \frac{mv^2}{2} + mgh' \right)$$

где  $h'$  - некий уровень шмента над платформой  $E_k = 0$ ;

$$\frac{V_0^2}{2} = v^2 + 2gh; \quad H = \frac{V_0^2 - 2v^2}{2g} = \frac{4 - 2 \cdot \frac{3}{4}}{2 \cdot 10} =$$

$$= \frac{2,5}{20} = \frac{25}{200} = \frac{1}{8} \text{ м} = 0,125 \text{ м}$$

2) ~~и? где и - скорость  $v$  - ?~~  
 Аналогично 1 шмента:

ЗСМх: (1)  $2mv = -mV \cos \alpha + mv'$ , где

$v'$  - скорость шмента после возвращения шмента в исходную позицию.

по ЗСМЭ: (2)  $\left( \frac{mv^2}{2} + mgh \right) + \left( \frac{mv'^2}{2} + mgh' \right) =$

$$= \left( \frac{mV^2}{2} + 0 \right) + \left( \frac{mv'^2}{2} + mgh' \right)$$

$$(1) \quad 2v = -V \cos \alpha + v'; \quad V \cos \alpha = v' - 2v$$

$$(2) \quad \frac{v^2}{2} + gh + \frac{v'^2}{2} = \frac{V^2}{2} + \frac{v'^2}{2} \quad | \cdot 2$$

$$2v^2 + 2gh = V^2 + v'^2; \quad v = \sqrt{\frac{V^2 + v'^2}{2} - gh}$$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$v' = V \cos \alpha + 2v ; \quad 2v^2 + 2gH = V^2 + V^2 \cos^2 \alpha + 4Vv \cos \alpha + 4v^2$$

$$V^2 (1 + \cos^2 \alpha) + V \cdot 4v \cos \alpha + 2v^2 - 2gH = 0$$

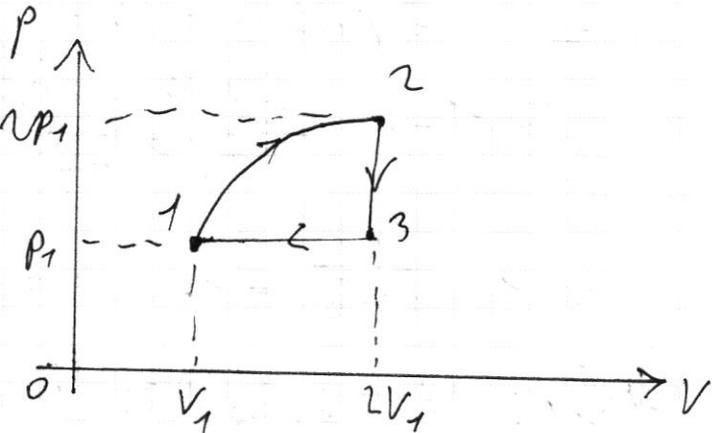
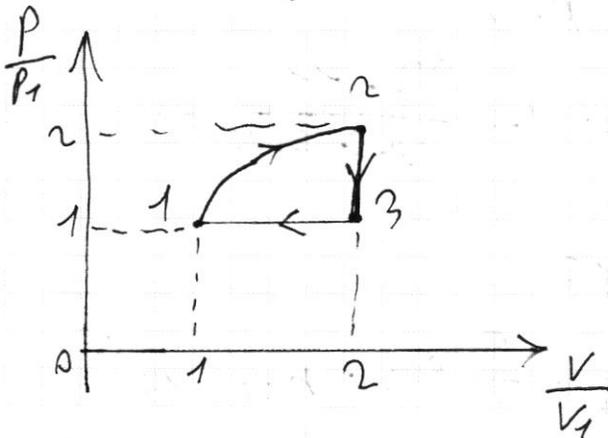
$$\frac{7}{4} V^2 + 3V - 1 = 0$$

$$V_{1,2} = \frac{-3 \pm \sqrt{9+7}}{3,5} = \frac{-3 \pm 4}{3,5}; \quad V = \frac{1}{3,5} = \frac{10}{35} = \frac{2}{7} \approx 0,29 \frac{м}{с}$$

Ответ:  $H = 0,125 \frac{м}{с}; \quad V = 0,29 \frac{м}{с}.$   
N4

Дано:

$$I = 1 \text{ мА}; \quad T_1$$



Из рисунка видно, что

$$V_2 = V_3 = 2V_1$$

$$P_2 = 2P_1$$

$$P_3 = P_1$$

1) Q - ? (возведено при расширении),  
м.е. Q<sub>1-2</sub>; ~~м.е. Q<sub>2-3</sub>~~  
~~V<sub>2</sub> = 2V<sub>1</sub>~~

~~Q<sub>1-2</sub>~~

$$1 \text{ 3-к Т/В: } Q_{1-2} = \Delta U_{1-2} + A_{1-2}$$

$$A_{2-1} = \int_{V_1}^{2V_1} p \, dV = (V_2 - V_1) P_1 + \frac{P_1}{4} (V_2 - V_1)$$

$$+ \frac{P_1}{4} P_1 V_1 = P_1 V_1 + \frac{P_1}{4} P_1 V_1$$

$$\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} \Delta P V = \frac{3}{2} (2P_1 \cdot 2V_1 - P_1 V_1) = \frac{9}{2} P_1 V_1$$

но  $z$ -ую меняем - тогда:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1 ; p_1 V_1 = R T_1$$

$$Q = p_1 V_1 + \frac{\pi}{4} p_1 V_1 + \frac{2}{2} p_1 V_1 = \frac{11}{2} R T_1 + \frac{\pi}{4} R T_1 =$$

$$= R T_1 \left( \frac{11}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \approx 6,28 R T_1 \text{ и сумма}$$

$$2) A_{2-?} ; A_{2-} = + \nu p_1 V_1 = \frac{\pi}{4} \cdot R T_1$$

$$3) \eta^{-?} ; \eta = 1 - \frac{|Q_x|}{Q_H} \quad (Q_H = Q)$$

$$Q_{2-3} = \Delta u_{23} + A_{2-3}, \text{ но } \Delta V_{23} = 0 \Rightarrow A_{2-3} = 0$$

$$Q_{23} = \Delta u_{23} = \frac{3}{2} (p_1 \cdot V_1 - 2p_1 \cdot V_1) = \frac{3}{2} (-2p_1 V_1) =$$

$$= -3 p_1 V_1$$

$$Q_{31} = \Delta u_{31} + A_{31} = \frac{3}{2} (p_1 V_1 - p_1 \cdot 2V_1) - (V_1 + V_1) p_1 =$$

$$= -\frac{3}{2} p_1 V_1 - p_1 V_1 = -\frac{5}{2} p_1 V_1$$

$$\eta = 1 - \frac{\left( \frac{5}{2} p_1 V_1 + 3 p_1 V_1 \right)}{R T_1 \left( \frac{11}{2} + \frac{\pi}{4} \right)} = 1 - \frac{R T_1 \cdot 11}{2 R T_1 \cdot \left( \frac{11}{2} + \frac{\pi}{4} \right)} =$$

$$= 1 - \frac{11}{11 + \frac{\pi}{2}} = 1 - 0,87 = 0,13$$

Ответ:  $Q = 6,28 R T_1 ; A_{2-} = \frac{\pi}{4} \cdot R T_1 ; \eta = 0,13$

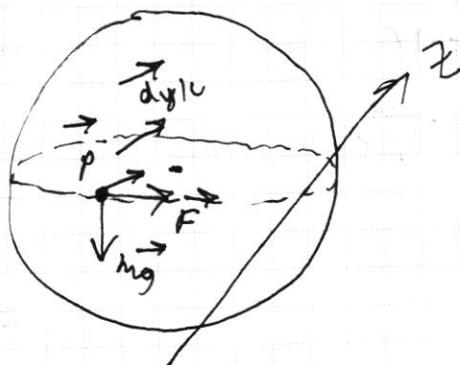
$N_3$  (1 мкг воздуха)

Дано:  $R = 1,2 \mu$

$V_0 = 3,7 \frac{\mu}{\text{с}}$

$m = 0,4 \mu$

1)  $P$ -?



### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

м. и. движение равномерное, но  $a = a_{ц/к}$

$F: P = m a_{ц/к}^2$

$P = m \frac{V_0^2}{R} = 0,4 \cdot \frac{3,7^2}{1,2} \approx 4,56 \text{ Н};$

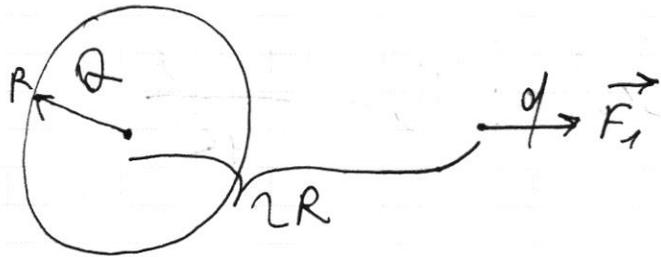
Ответ:  $P = 4,56 \text{ Н}$

№ 5

Дано:

$Q > 0, q > 0; R;$   
 $k - \text{коэф. прот.}$

1)  $F_1 - ?$

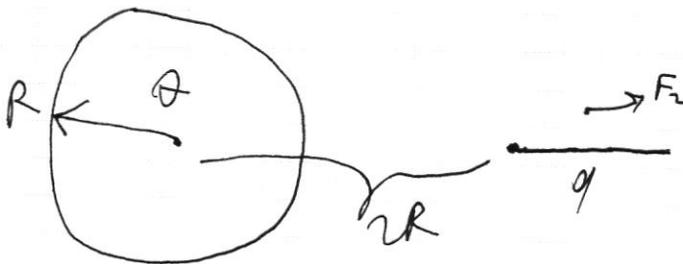


по з-ну Кулона:

$F_1 = k \cdot \frac{qQ}{4R^2}$

(однородное распределение заряда по сфере  
равноильно точечному заряду Q;  
находящемуся в центре сферы)

2)  $F_2 - ?$



На каждую точку сферы действует сила

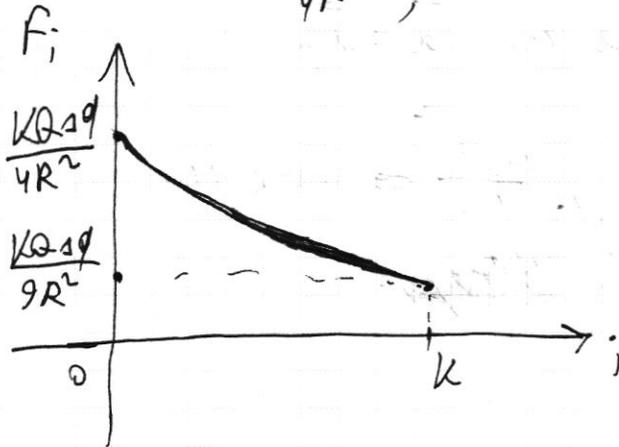
$F_i = \frac{kQ \Delta q}{(R + r_i)^2}, \text{ где } \sum \Delta q = q \text{ и } \sum r_i = R$

$F_2 = \sum_0^k F_i = \sum \frac{kQ \Delta q}{4R^2 + 4Rr_i + r_i^2}, \text{ где } \Delta r_i - \text{среднеарифметическая величина, м.е.}$

$$F_2 = \sum \frac{kQ\Delta q}{4R^2 + 4R\Delta r_i} = kQq \cdot \sum \frac{1}{4R^2 + 4R\Delta r_i}$$

$$F_i = \frac{kQ\Delta q}{4R^2 + 4R\Delta r_i}, \text{ удельная сила. - Удельная}$$

$$F_0 = \frac{kQ\Delta q}{4R^2}; \quad F_k = \frac{kQ\Delta q}{9R^2}$$



Ответ:  $F_1 = \frac{kQq}{4R^2}$ .

аналогичное разложение:  $\sum M_x: 2mV = -m\ell \cos\alpha + mV'$

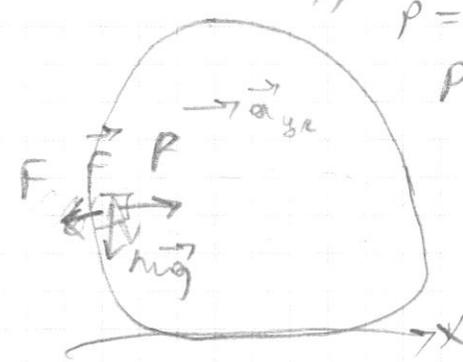
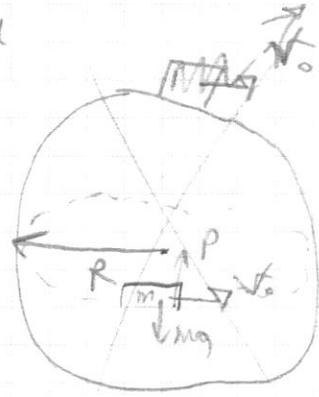
$V'$  - см. линия касания  $\omega$   $\omega_{\text{касания}}$

то  $\sum M_A: \left(\frac{mV^2}{2} + mgH\right) + \left(\frac{mV'}{2} + mgH'\right) = \left(\frac{m\ell^2}{2} + 0\right) \left(\frac{mV^2}{2} + mgH\right)$

$mV^2 + 2mgH = \frac{m\ell^2}{2} + \frac{mV'^2}{2}, 2V^2 + 2gH = \ell^2 + V'^2$

выразить и подставить

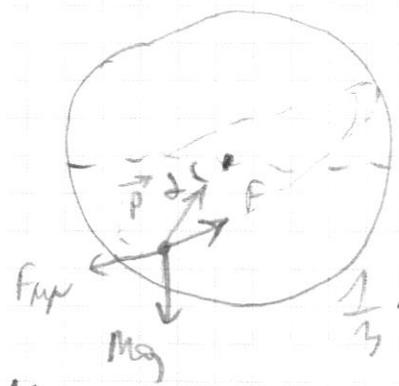
$R = 12 \text{ м}$   
 $V_0 = 3,7 \text{ м/с}$   
 $m = 0,4 \text{ кг}$



1)  $\rho = m\ell^2/L$   
 $\rho = \frac{m\ell^2}{R}$

$\frac{10}{8} / 0,125$   
 $\frac{20}{-16}$   
 $\frac{40}{0}$

2)



$\alpha = \frac{\pi}{6}; V_{\text{min}} - ?$

$g = 10$   
 $m = 0,9$

$\frac{13,69}{12,69} / \frac{13}{14,56}$   
 $\frac{15}{15}$

$1 + \cos^2 \alpha = 1 + \frac{3}{4} = \frac{7}{4}$   
 $4V \cos \alpha = 4 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 6$   
 $= \frac{4 \cdot 3}{4} = 3$

$2 \cdot \frac{3}{4} - 2 \cdot 10 \cdot \frac{1}{4} =$   
 $= 1,5 - \frac{10}{4} = 1,5 - 2,5 =$   
 $= -1$

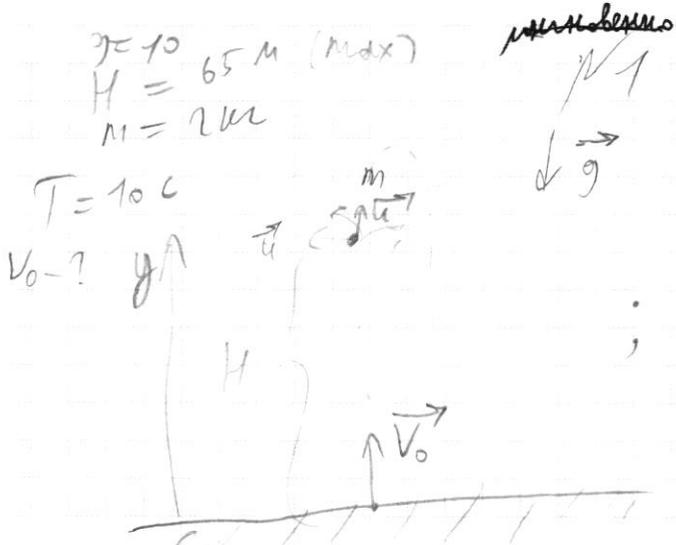
$11^2 = 121$   
 $12^2 = 144$   
 $13^2 = 169$   
 $14^2 = 196$   
 $15^2 = 225$   
 $16^2 = 256$   
 $17^2 = 289$   
 $18^2 = 324$   
 $19^2 = 361$   
 $20^2 = 400$   
 $21^2 = 441$   
 $22^2 = 484$   
 $23^2 = 529$   
 $24^2 = 576$   
 $25^2 = 625$   
 $26^2 = 676$   
 $27^2 = 729$   
 $28^2 = 784$   
 $29^2 = 841$   
 $30^2 = 900$

$\frac{20}{14} = 1,428$   
 $\frac{10}{14} = 0,714$   
 $\frac{10}{14} = 0,714$   
 $\frac{10}{14} = 0,714$

$\frac{110}{96} / \frac{126}{96}$   
 $\frac{1008}{96} / \frac{126}{96}$   
 $0,87$

$1,57$   
 $12,57 \approx 12,6$   
 $11 \text{ м/с}$   
 $11 \text{ м/с}$

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**



*м.ч*  $H$  - max высота, м

$V_{ис} \text{ в коэф} = 0$

1)  $y: H = \frac{gt}{2}; t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$

$v = V_0 - gt$

$V_0 = g \cdot \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{2gH}$

2)  $\Sigma E_k = ? \text{ (дж)}$

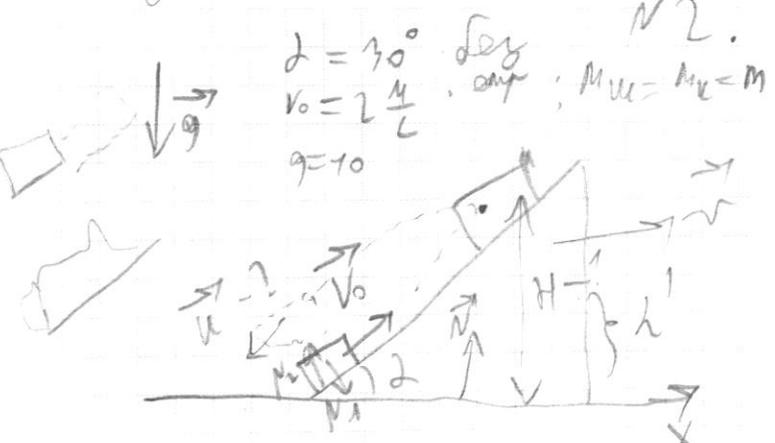
21  
37  
35  
725  
1070  
1215  
36  
36  
216  
1080  
1296

м.ч. взрыв происходит мгновенно по ЗИ:  $0 = \Delta m \vec{u} - \Delta m \vec{u}'$

$\Sigma E_k = \Sigma \frac{\Delta m u^2}{2} = \frac{m u^2}{2}$ ; очевидно, что дальше  
век будет падать только вертикально вверх вертикально.

время его падения  $T = 10 \text{ с}$

$y: -H = uT - \frac{gT^2}{2}, uT = \frac{gT^2}{2} - H; u = \frac{gT}{2} - \frac{H}{T}$



1) м.ч. по в м., м

по Ох для м и м.

выполняем ЗИ:  $v = \frac{v_0 \cos \alpha}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

АЛЖАМБАН

$m v_0 \cos \alpha = m v + m v'$

где  $v'$  - скорость куска в  
тоже

$v_0 \cos \alpha = 2v; v = \frac{v_0 \cos \alpha}{2}$

50 - 65  
10  
50 - 65  
8  
10825  
10  
10  
10  
10  
10

движение без отрыва, при этом в шаре и м

Акселом =  $A_n + A_{\tau} = 0$ , тогда по ЗИ:

$(\frac{m v_0^2}{2} + 0) + (0 + m g h) = (\frac{m v^2}{2} + m g H) + (\frac{m v'^2}{2} + m g h')$

$\frac{m v_0^2}{2} = m v^2 + m g H; H = \frac{v_0^2 - 2v^2}{2g} = \frac{v - 2 \cdot \frac{v}{2}}{2 \cdot 10} = \frac{v - v}{20} = 0$

$k$ -коэф. прит.

№5.

$Q > 0, q > 0$ ;

однородное  
равновесие  
затрага в сфере



$q \rightarrow F_1$

равновесие  
мгновенно  
в центре сферы

$$F_1 = k \frac{qQ}{4R^2}, \quad 2)$$



1.1.2.04.04.05-  
15

На расстоянии  $r$  от центра

притягивает  $F_1 = k \frac{Q \cdot \Delta q}{(R + \Delta r)^2}$  ;

удаляет  $F_2 = k \frac{qQ}{R^2}$

$$F_1 = F_2$$

$$F_2 = \sum k \frac{Q \cdot \Delta q}{(R + \Delta r)^2}$$

сумма элементов, что

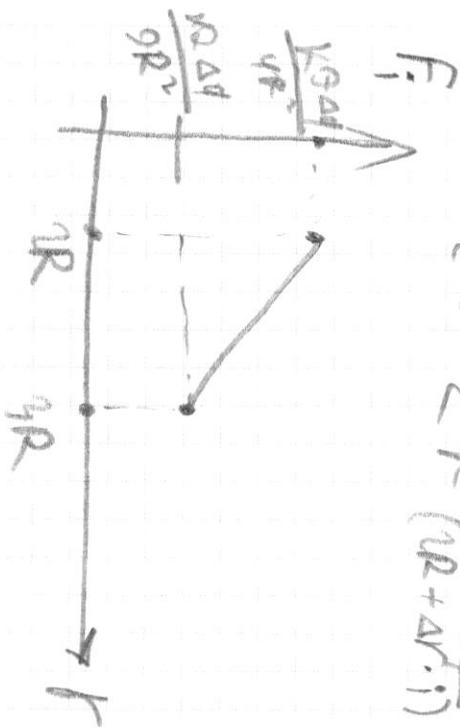
$$F_{11} = k \frac{Q \Delta q}{4R^2}$$

$$F_{1n} = \frac{kQ \Delta q}{9R^2}$$

всего  $n$  элементов  
затрага

$$F = \frac{q}{k}$$

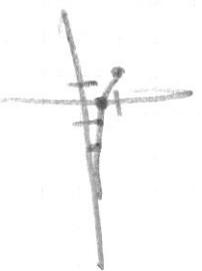
$$\Delta q = \delta \Delta R$$



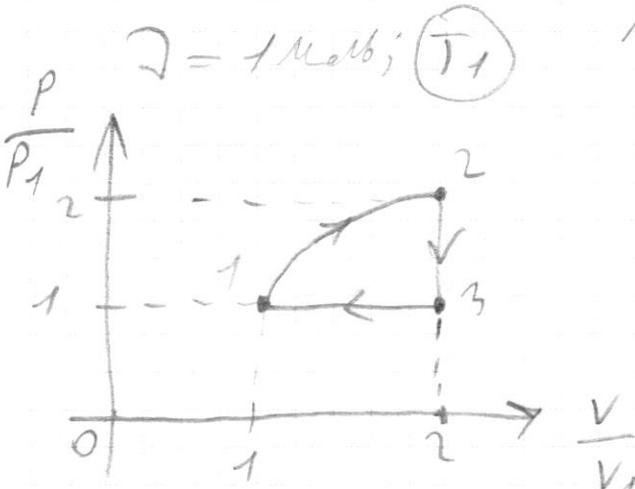
$$F_2 = \sum k \frac{Q \cdot \Delta q}{(R + \Delta r)^2} =$$

$$= k Q q \sum \frac{1}{(R + \Delta r)^2} = k Q q \sum \frac{1}{4R^2 + 4R \Delta r + \Delta r^2}$$

$$y = \frac{2R + 1}{1 - 1} \frac{1}{0.5} \frac{1}{0.5} \frac{1}{0.5}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



ИЧ.  $P_1 = 4$ ;  $V_1 = 6$ , тогда  $S_{из} = 4 \cdot 6 = 24$   
 $S_{об} = \frac{\pi}{4} \cdot 6^2 = 9\pi$   
 $S_{из} = 4 \cdot 6 = 24$   
 $S_{об} = \frac{\pi}{4} \cdot 6^2 = 9\pi$   
 $S_{из} = 4 \cdot 6 = 24$   
 $S_{об} = \frac{\pi}{4} \cdot 6^2 = 9\pi$

1)  $Q = ?$  (нагр в рамк) 1-2  
 из пр:  $V_2 = 2V_1 = V_3$  в пр 1-2.  
 $P_2 = P_1$   
 $P_3 = P_1$   
 1-3 ТР:  $Q = \Delta U + A_{2-3} =$   
 $= \frac{3}{2} p_1 \Delta V + S_{из} (P; V)$   
 3-1 изох-мех:

(1)  $P_1 V_1 = \nu R T_1$ ; (2)  $P_1 \cdot 2V_1 = \nu R T_2$ ,  $4P_1 V_1 = \nu R T_2$

(3)  $P_1 \cdot 2V_1 = \nu R T_3$ ;  $2P_1 V_1 = \nu R T_3$

$S_{из} = (V_2 - V_1) \cdot P_1$

$S_{из} = (2V_1 - V_1) \cdot P_1 + \frac{\pi V_1^2}{4}$

~~...~~;  $S_{из} = P_1 V_1 + \frac{\pi P_1 V_1^2}{4}$

$\Delta U = \frac{3}{2} (P_1 \cdot 2V_1 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} P_1 V_1$

$Q = S_{из} + \Delta U = \frac{1}{2} P_1 V_1 + P_1 V_1 + \frac{3}{2} (P_1 V_1) = \frac{11}{2} P_1 V_1$

$= \frac{11}{2} R T_1 + \frac{\pi}{4} \cdot P_1 V_1 = \frac{11}{2} R T_1 + \frac{\pi}{4} R T_1$

2)  $A_{2-3} = ?$ :  $A_{2-3} = S_{из} = \frac{\pi}{4} P_1 V_1 = \frac{\pi}{4} R T_1$

3)  $\eta = ?$   $\eta = \frac{A_{из}}{Q_{из}} = \frac{Q_{2-3}}{Q_{из}} = 1 - \frac{Q_{3-1}}{Q_{из}}$   $Q_{из} = Q$

$Q_{2-3} = \Delta U_{2-3} + A_{2-3} = \Delta U_{2-3} = \frac{3}{2} (P_1 \cdot 2V_1 - P_1 V_1) = \frac{3}{2} P_1 V_1$

$Q_{3-1} = \Delta U_{3-1} + A_{3-1} = \frac{3}{2} (P_1 V_1 - P_1 \cdot 2V_1) - (2V_1 - V_1) \cdot P_1 =$

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

$\eta = 1 - \frac{-\frac{5}{2} P_1 V_1}{\frac{11}{2} P_1 V_1 + \frac{\pi}{4} P_1 V_1} = 1 - \frac{5}{11 + \frac{\pi}{2}} = 1 - \frac{11 R T_1}{11 + \frac{\pi}{2}}$

