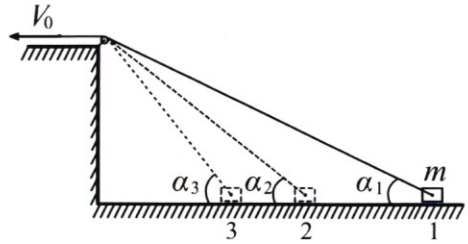
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

Класс 11 **Вариант 11-06**

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Груз массой m подтягивается по гладкой горизонтальной поверхности к стене с помощью лебедки, неподвижного небольшого легкого блока и легкого троса (см. рис.). Трос вытягивается лебедкой с постоянной скоростью V_0. Груз последовательно проходит точки 1, 2 и 3, для которых $\sin\alpha_1 = \frac{1}{2}, \sin\alpha_2 = \frac{3}{4}, \sin\alpha_3 = \frac{4}{5}$. От точки 1 до точки 2 груз перемещается за время t_{12}.



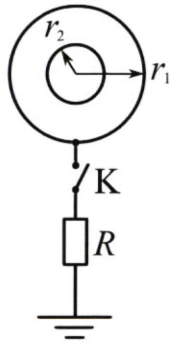
1) Найти скорость V_2 груза при прохождении точки 2.
2) Найти работу лебедки A_{23} при перемещении груза из точки 2 в точку 3.
3) Найти время t_{13} перемещения груза из точки 1 в точку 3.

2. Цилиндрический сосуд, стоящий на горизонтальном столике, помещен в термостат, в котором поддерживается постоянная температура T_0 =373 *К*. Стенки сосуда проводят тепло. Сосуд разделен на две части подвижным (нет трения при перемещении) поршнем. В нижней части находится воздух объемом V_1, в верхней - водяной пар и немного воды. Содержимое сосуда в равновесии. Поршень своим весом создает добавочное давление $P_0/6$, где P_0 – нормальное атмосферное давление. Сосуд переворачивают и ставят на столик, в верхней части оказывается воздух. Через некоторое время устанавливается новое равновесное состояние.

1) Найти объем V_2 воздуха в сосуде после переворачивания.
2) Найти изменение массы Δm воды.
3) Найти изменение внутренней энергии содержимого сосуда.

Удельная теплота испарения воды L, молярная масса воды μ. Массой воды, пара и воздуха по сравнению с массой поршня пренебречь. Объемом воды при конденсации пара можно пренебречь по сравнению с объемом пара, из которого образовалась вода. Воздух считать идеальным газом.

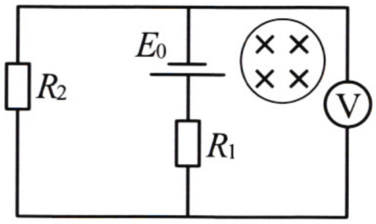
3. Два тонкостенных полых проводящих шара (тонкостенные сферы) с общим центром и радиусами r_1 и r_2 образуют сферический конденсатор (см. рис.). На внешнем шаре находится отрицательный заряд -q, где q >0, а на внутреннем шаре – положительный заряд Q. Внешний шар соединен с Землей через ключ К и резистор R. Ключ замыкают.



1) Найти заряд q_1 на внешнем шаре после замыкания ключа.
2) Найти энергию W_1 электрического поля в пространстве между шарами (сферами) до замыкания ключа.
3) Какое количество теплоты W выделится в резисторе R после замыкания ключа?

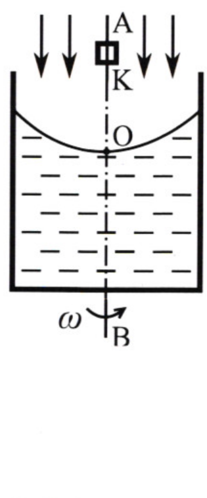
Сопротивление проводов, шаров и Земли не учитывать. Радиусы шаров значительно меньше расстояния между Землей и шарами.

4. В проволочную конструкцию впаяны резисторы с сопротивлениями $R_1 = R$, $R_2 = 3R$, идеальный источник с ЭДС E_0, вольтметр с сопротивлением $R_V = 4R$ (см. рис.). Сопротивление проводов конструкции пренебрежимо мало. Однородное магнитное поле сосредоточено практически в узкой области – магнитном сердечнике с площадью поперечного сечения S.



1) Найти показание V_1 вольтметра, если индукция магнитного поля остается постоянной.
2) Найти показание V_2 вольтметра, если индукция магнитного поля возрастает с постоянной скоростью $\Delta B / \Delta t = k > 0$.

5. Цилиндрический сосуд с жидкостью вращается с угловой скоростью ω = 2,5 с$^{-1}$ вокруг вертикальной оси AB, совпадающей с осью симметрии сосуда (см. рис.). Наблюдатель, находясь вблизи экватора Земли, рассматривает в полдень изображение Солнца с помощью миниатюрной камеры К, расположенной на оси вращения.



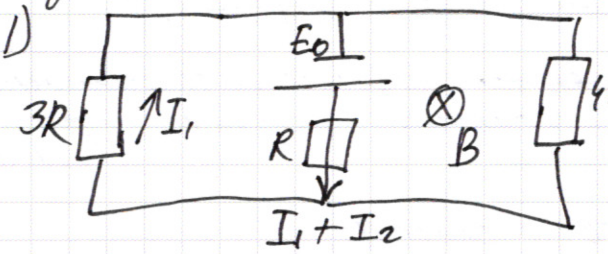
1) Найти радиус кривизны свободной поверхности жидкости в её нижней точке О.
2) На каком расстоянии от точки О будет наблюдаться изображение Солнца, полученное в отраженных от свободной поверхности жидкости лучах?

Принять g = 10 м/с^2.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача № 4.

1)



Заменю -(V)- на резистор 4R

Расставлю токи:

Напряжение на -(V)- $4RI_2$

Запишу законы Кирхгофа:

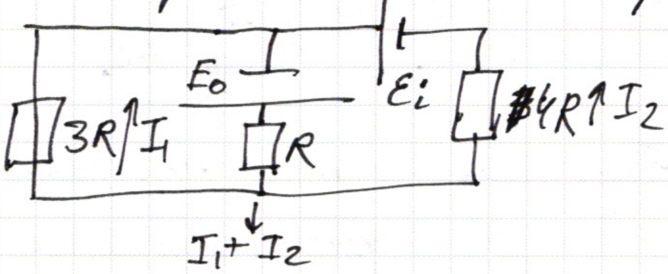
$$\begin{cases} E_0 = 4R\cdot I_2 + R(I_1+I_2) \\ 3RI_1 = 4RI_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = \frac{4}{3} I_2 \\ \frac{19}{3} RI_2 = E_0 \end{cases}$$

$$\boxed{V_1 = 4RI_2 = \frac{12}{19} E_0}$$

2) В контуре будет возникать $\mathcal{E}_i$ (ЭДС индукции $= \frac{d\Phi}{dt}$)

$$|\mathcal{E}_i| = \left|\frac{d\Phi}{dt}\right| = \left|\frac{dB}{dt} S\right| = |kS|$$

Направление ~~э~~ по прав. буравчика такое:



$$\begin{cases} E_0 = R(I_2+I_1) + 3RI_1 \\ \mathcal{E}_i + I_1 3R = 4RI_2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3I_1R = 4RI_2 - \mathcal{E}_i \\ E_0 = \frac{19}{3} RI_2 - \frac{4}{3}\mathcal{E}_i \end{cases}$$

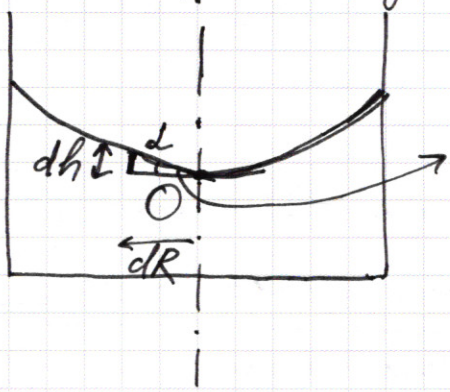
$$V_2 = 4RI_2 = \frac{12}{19} E_0 + \frac{16}{19}\mathcal{E}_i$$

Ответ: 1) $V_1 = \frac{12}{19} E_0$

2) $V_2 = \frac{12}{19} E_0 + \frac{16}{19} kS$

Задача №5

1) Рассмотрим жидкость возле точки O. угол $\alpha \ll 1$



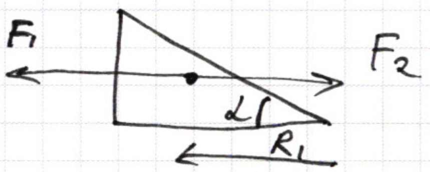
возьмем кусочек воды толщиной d где $d \to 0$

его длина $dR \to 0$ и $dh \to 0$

$\Rightarrow$ его ~~площ~~ сечение, показанное ~~на~~ на рисунке можно приблизить

к треугольнику.

Рассмотрим силы, действующие на него по горизонтали



$F_1 = F_2$ (так, как всё ~~это~~ в равновесии)

$\rho_ж$ (плотность жидкости)

F_2 (сила избыточного давления справа)

F_1 (~~сила~~ центростремительная сила)

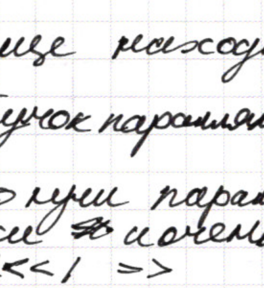
R_1 (R — до центра масс кусочка по горизонтали от т. O.) $R_1 = \frac{2}{3}dR$

$$F_1 = \frac{dh \cdot dR \cdot d}{2}\rho_ж \cdot w^2 \cdot \frac{2}{3}dR$$

$$F_2 = \rho_ж g \frac{(dh)^2}{2} \cdot d$$

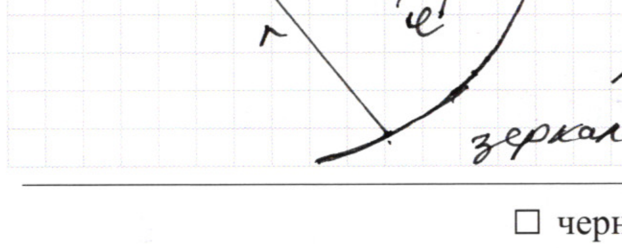
$$F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{2}{3}d^2R \cdot w^2 = dh \cdot g$$

$$\begin{cases} \alpha = \frac{dR}{\cos\alpha \cdot r} = \frac{dR}{r} \\ tg\alpha = \frac{dh}{dR} = \alpha \end{cases} \Rightarrow r = \frac{dR^2}{dh}$$



$$\boxed{r = \frac{d^2R}{dh} = \frac{3g}{2w^2} = 2{,}4м}$$

2) ~~Если Солнце находится на~~ В полдень солнце находится над экватором. Представим его лучи как пучок параллельных лучей:



Будем считать что лучи параллельны оптической оси и очень близки к ней $\Rightarrow \varphi \ll 1 \Rightarrow$

поверхность жидкости можно представить как сферическое зеркало уже с ~~известным~~ найденным радиусом.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

На ~~ри~~ рисунке я показал, что ~~изображение~~

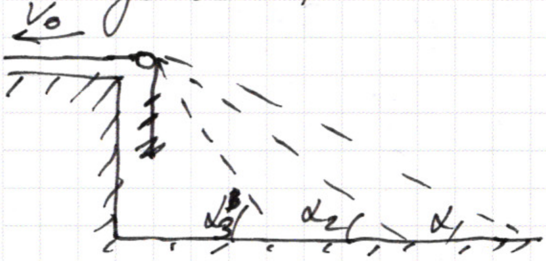
$tg\varphi \cdot r = tg2\varphi \cdot x$ где $x = S'O$ т.к. $\varphi \ll 1$ $tg\varphi = \varphi$

$\Rightarrow \boxed{x = \frac{r}{2} = 1{,}2\,м.}$

Ответ: 1) 2,4 м

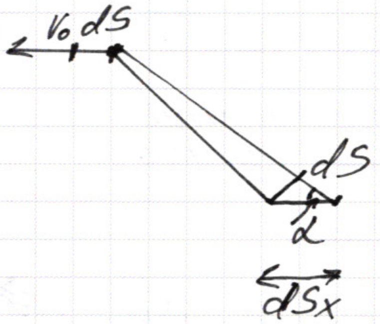
2) 1,2 м

Задача №1



~~А~~ Обозначу $dS = V_0 dt$ где dt очень маленькое приращение времени.

тогда:



$\Rightarrow dS_x = \frac{dS}{\cos\alpha}$

$\frac{dS}{V_0} = \frac{dS_x}{V_x} \Rightarrow V_x = \frac{V_0}{\cos\alpha}$

$\cos\alpha = \sqrt{1 - \sin\alpha^2}$

1) $V_2 = \frac{V_0}{\sqrt{1 - \frac{9}{16}}} = \boxed{\frac{4V_0}{\sqrt{7}}}$

2) $A_{23} = E_3 - E_2$ где E_3, E_2 кинетические энергии груза.

$A_{23} = \frac{mV_0^2}{2}\left(\cancel{\sin\alpha}\frac{1}{1-\sin\alpha_3} - \frac{1}{1-\sin\alpha_2}\right) = \frac{mV_0^2}{2}\left(\frac{25}{9} - \frac{16}{7}\right) =$

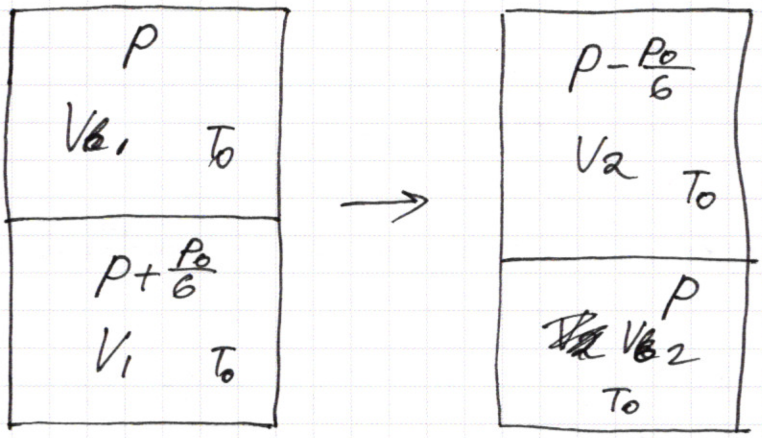
$= \boxed{\frac{31}{126} mV_0^2}$

Ответ: 1) $\frac{4V_0}{\sqrt{7}}$; 2) $\frac{31}{126} mV_0^2$.

Задача №2

~~1) случай.~~

~~1-й случай~~



P – давление насыщенных паров при 373 K

$P = P_0$ при $T_0 = \cancel{27}\ 373K$

при нормальных условиях.

Тогда запишем систему из двух уравнений состояния для ~~газа~~ воздуха

$$\begin{cases}(P_0 + \frac{P_0}{6})V_1 = \nu R T_0 \\ (P_0 - \frac{P_0}{6})V_2 = \nu R T_0\end{cases}$$

1) Решение: $\boxed{V_2 = \frac{7}{5}V_1}$

Запишу систему из двух уравнений состояния для вода+пар

$$\begin{cases}V_{B1} P_0 = \nu_1 R T_0 \\ V_{B2} P_0 = \nu_2 R T_0\end{cases}$$

$\Delta V_B = V_{B1} - V_{B2}$

$\Delta\nu = \frac{\Delta V_B P_0}{R T_0}$ $\quad \Delta V_B = V_2 - V_1 = \frac{2}{5}V_1$

$$\boxed{\Delta m = \Delta\nu\mu = \frac{2P_0V_1}{5RT_0}\mu}$$

Внутренняя кинетическая энергия не менялась, т.к. T – const, но изменилась внутреняя потенциальная энергия молекул.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

ΔW (изменение внутренней энергии) $= -(\Delta m \cdot L)$

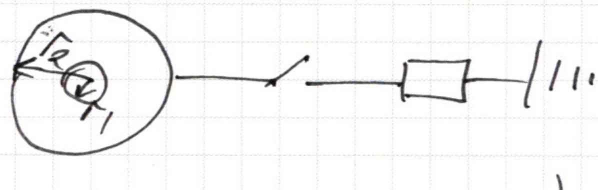
с минусом, т.к. внутренняя энергия уменьшилась.

Ответ: 1) $V_2 = \frac{7}{5} V_1$;

2) $\Delta m = \frac{2 P_0 V_1}{5 R T_0} \mu$;

3) $-\frac{2}{5} \frac{P_0 V_1}{R T_0} \mu L$.

Задача №3



$\Delta \varphi_1$ ($\Delta \varphi$ от бесконечности до 2 сферы) $= 0$

$$\Delta \varphi_{21} = \int_{\infty}^{r_2} \frac{Q}{4\pi r^2} dr - \int_{\infty}^{r_2} \frac{q_1}{4\pi r^2} dr$$

отсюда видно что $q_1 = -Q$

2) $W_1 = \varphi(Q, r_2) \cdot (-q)$ т.к. от внешней сферы поле внутри ноль.

~~разница~~ потенциал создаваемый сферой r_1

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

$$W_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon r_2} \cdot q$$

Ответ: 1) $q_1 = -Q$

2) $W_1 = \frac{Q q}{4\pi\varepsilon r_2}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

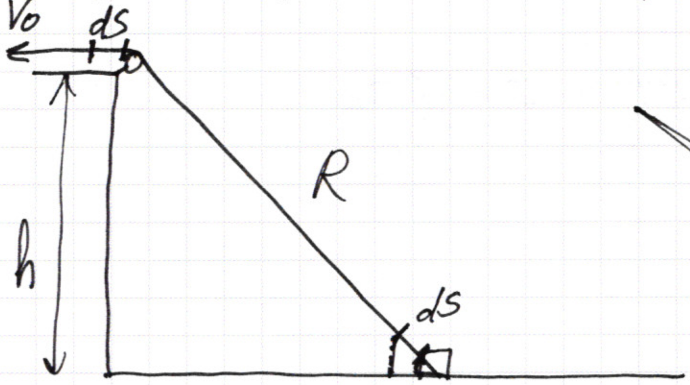
ШИФР

(заполняется секретарём)

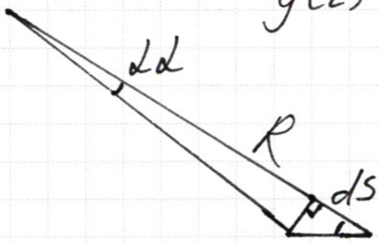
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$dS = V_0 \cdot dt$

$dt = \frac{dV}{g(t)}$



$g(t)\, dt = dV$



$R = \frac{h}{\sin\alpha}$

dS

$dS_{\cancel{2}} = dS / \cos\alpha_2$

$\sqrt{\frac{25}{25} - \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{9}{25}} = \frac{3}{5}$

$dS_2 = \frac{dS \cdot \cancel{\cos\alpha_2}}{\cos\alpha_2}$

$dS \cdot \sin\alpha$

$\frac{V_2}{dt} = \frac{V_0 \cancel{dt}}{dt \cos\alpha_2} = \frac{V_2}{\cos\alpha_2}$

$d\alpha = \frac{dS \sin\alpha}{R}$

$V_2 = \frac{V_0}{\cos\alpha_2}$

$\sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \sqrt{\frac{7}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4}$

$d\alpha = \frac{V_0 dt \cdot \sin^2\alpha}{h}$

$\boxed{V_2 = \cancel{V_0}\ \frac{4V_0}{\sqrt{7}}}$

$V_3 = \frac{5V_0}{3}$

$\times 16$
9
144

$\frac{16}{7} - \cancel{0}\ \frac{25}{9}\left(\frac{mV_0^2}{2}\right)$

$\cancel{\frac{144 - 175}{63}}$

$\frac{25}{9} - \frac{16}{7} = \frac{175 - 144}{63} = \frac{\cancel{2}31}{63}\ \frac{mV_0^2}{2}$

$\boxed{\frac{31}{126}\ mV_0^2}$

$\frac{m}{2}\left((V+dV)^2 - V^2\right) = F\ dS$

$F = mV_x \cdot \frac{dV_x}{dS_x} = \frac{mV}{dt}$

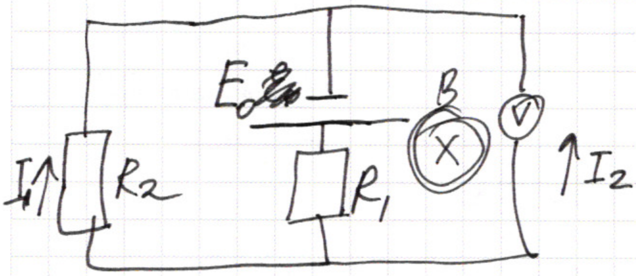
$\cancel{g}\ F = m\frac{dV_x}{dt}$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)



$\frac{12}{7}+1=\frac{19}{7}R$

$I_1+I_2=\frac{7}{19}\frac{E_0}{R}$

$E_0\ R(I_1+I_2)=$

$4RI_2=3RI_1 \quad I_1=\frac{4}{3}I_2$

$E_0=R(I_1+I_2)+4RI_2$

$E_0=\frac{7}{3}RI_2+\frac{12}{3}RI_2$

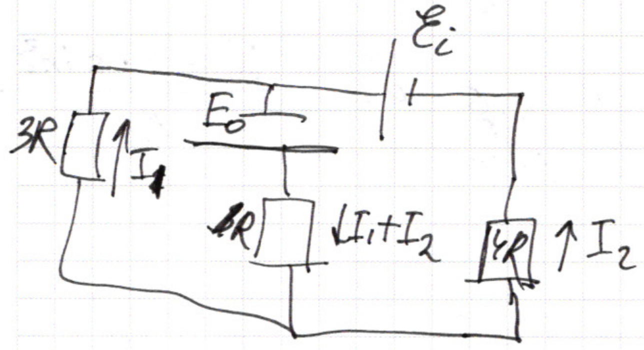
$\frac{19}{3}RI_2=E_0 \qquad I_2=\frac{3}{19}\frac{E_0}{R}\cdot 4R=\frac{12}{19}E_0$

$\frac{7}{3}RI_2$

$\frac{7}{3}\cdot\frac{3}{19}$

$\Phi=BS$

$\mathcal{E}_i\ \frac{d\Phi}{dt}=\frac{dB}{dt}S=kS$



$E_0=R(I_2+I_1)+3RI_1$

$\mathcal{E}_i+I_1\cdot 3R=4RI_2$

$3I_1R=4RI_2-\mathcal{E}_i$

$5+\frac{4}{3}$

$\frac{19}{3}$

$E_0=RI_2+\frac{4}{3}RI_2-\frac{\mathcal{E}_i}{3}+4RI_2-\mathcal{E}_i$

$E_0=\frac{19}{3}RI_2-\frac{4}{3}\mathcal{E}_i$

$4RI_2=\frac{12}{19}E_0+\frac{16}{19}\mathcal{E}_i$

$\frac{19}{3}RI_2=E_0+\frac{4}{3}\mathcal{E}_i$

$\cancel{\frac{19}{19}}\cdot\frac{12}{19}\cdot\frac{4}{3}=\frac{16}{19}$

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

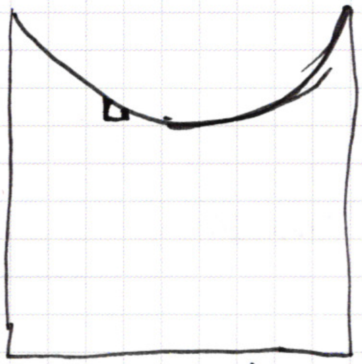
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

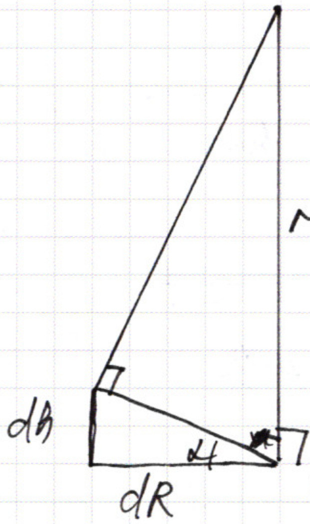
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА





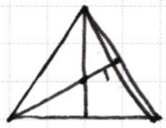
$\frac{dR}{r} = \alpha$

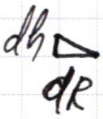
$r = \frac{dR}{\alpha} = \frac{dR^2}{dh}$

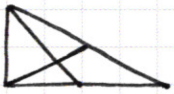
$\alpha = \frac{dh}{dR}$

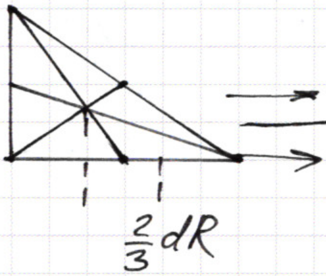
$m = \frac{dR \cdot dh \cdot d}{2} \cdot \rho$

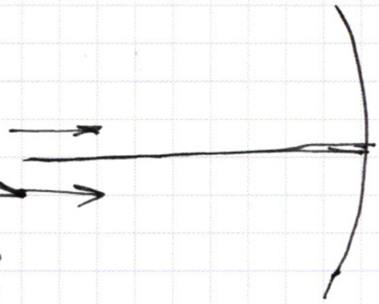
$ma =$ ←





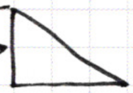






$w = \frac{v}{R}$

$\frac{\rho g\, dh^2 d}{2} \rightarrow$



$\cancel{v = w^2 R}$

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

$v = wR$

$$\cancel{ma}\quad dm \cdot a = \frac{dR \cdot dh \cdot d}{2}\rho \cdot w^2 \cdot \frac{2}{3}dR = \frac{\rho g\, dh^2 \cdot d}{2}$$

$$\frac{2}{3}\, dR^2 \cdot w^2 = dh \cdot g \qquad \frac{12}{5}$$

$$r = \frac{d^2R}{dh} = \frac{3g}{2w^2} = \frac{10 \cdot 3}{2 \cdot 2.5 \cdot 2.5} = \frac{4 \cdot 3}{2 \cdot 2{,}5} = \frac{2 \cdot 3}{2{,}5} = \frac{6}{5 \cdot 0{,}5} =$$

$$= \frac{12}{5} \qquad \frac{12}{5} = 2{,}4\ м.$$

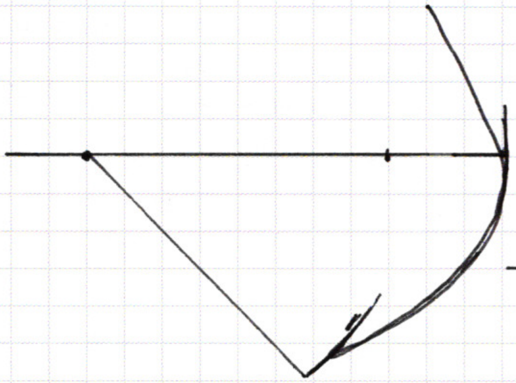
$60 \,|\, 5$, 12

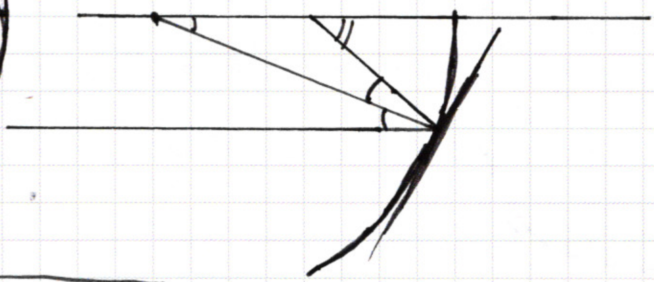
$12 \,|\, 5$, $2{,}4$

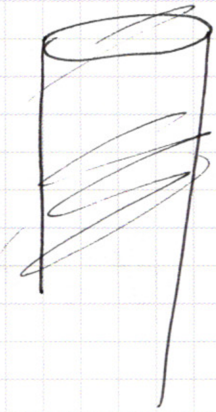
☑ черновик ☐ чистовик

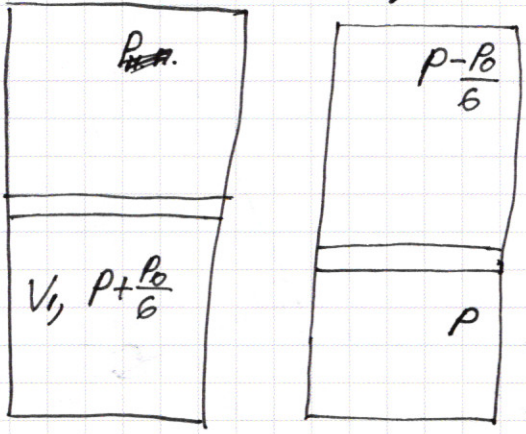
Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)





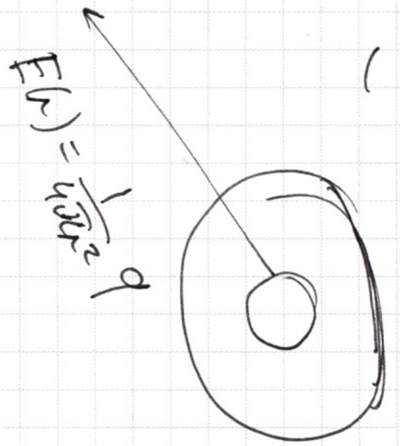




Tconst

$$\left(p+\frac{P_0}{6}\right)V_1 = \nu RT$$

$$\left(p+\frac{P_0}{6}\right)V_1 = \left(p-\frac{P_0}{6}\right)V_2$$



$$\frac{7}{6}P_0V_1 = \frac{5}{6}P_0V_2$$

$$\boxed{V_2 = \frac{7}{5}V_1} \qquad \Delta V = \frac{2}{5}V_1$$

III

$$V_1 P_0 = \nu_1 RT$$

$$V_2 P_0 = \nu_2 RT \qquad \mu\nu = M$$

$$(\nu_2-\nu_1) = \Delta V P_0 =$$

$$\Delta\nu = \frac{2}{5}\frac{V_1P_0}{RT_0}$$

$$\Delta m = \frac{2}{5}\frac{V_1P_0}{RT_0}\mu$$