

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

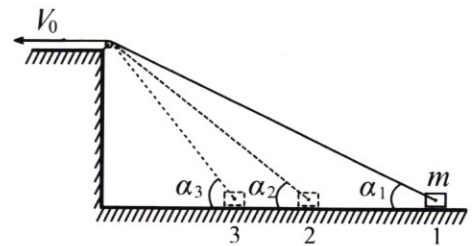
Класс 11

Вариант 11-08

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 $\sin \alpha_1 = \frac{1}{4}$, $\sin \alpha_2 = \frac{2}{3}$, $\sin \alpha_3 = \frac{3}{4}$. От точки 1 до точки 2 груз



перемещается за время t_{12} .

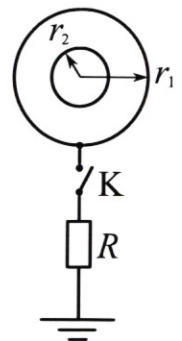
- 1) Найти скорость V_2 груза при прохождении точки 2.
- 2) Найти работу лебедки A_{12} при перемещении груза из точки 1 в точку 2.
- 3) Найти время t_{13} перемещения груза из точки 1 в точку 3.

2. Цилиндрический сосуд, стоящий на горизонтальном столике, помещен в термостат, в котором поддерживается постоянная температура $T_0 = 373 \text{ K}$. 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 $P_0/8$, 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 положительный заряд q , а на внутреннем шаре - положительный заряд Q . Внешний шар соединен с Землей через ключ K и резистор R . Ключ замыкают.

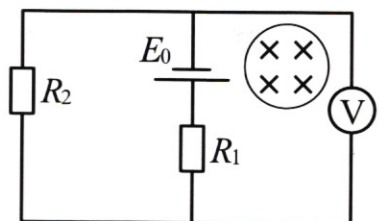


- 1) Найти заряд q_1 на внешнем шаре после замыкания ключа.
- 2) Найти энергию W_1 электрического поля в пространстве между шарами (сферами) до замыкания ключа.

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.

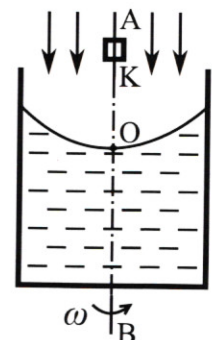
4. В проволочную конструкцию впаяны резисторы с сопротивлениями $R_1 = R$, $R_2 = 3R$, идеальный источник с ЭДС E_0 , вольтметр с сопротивлением $R_v = 5R$ (см. рис.). Сопротивление проводов конструкции пренебрежимо мало. Однородное магнитное поле сосредоточено практически в узкой области - магнитном 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 $\omega = 4 \text{ c}^{-1}$ вокруг вертикальной оси АВ, 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 $g = 10 \text{ м/с}^2$.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

Дано:

v_0

b_{12}

$$\sin \alpha_1 = \frac{1}{4}$$

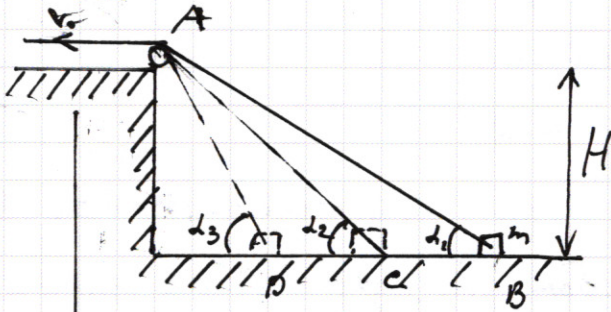
$$\sin \alpha_2 = \frac{3}{4}$$

$$\sin \alpha_3 = \frac{3}{4}$$

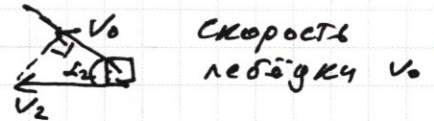
1) $v_2 = ?$

2) $A_{12} = ?$

3) $b_{13} = ?$



1) Рассмотрим тело m в момент, когда её скорость равна v_2



$$v_0 \cdot \cos \alpha_2 = v_2 \cos \alpha_2$$

$$v_2 = \frac{v_0}{\cos \alpha_2}; \quad \cos \alpha_2 = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_2}$$

$$v_2 = \frac{v_0}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_2}} = 1,33 v_0$$

$$2) A_{12} = E_{k2} - E_{k1} = \frac{m v_2^2}{2 \cos^2 \alpha_2} - \frac{m v_0^2}{2 \cos^2 \alpha_1} = \frac{m v_0^2}{2} \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} \right)$$

$$A_{12} = \frac{m v_0^2}{2} \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha_2} - \frac{1}{\cos^2 \alpha_1} \right) = \frac{m v_0^2}{2} \left(\frac{\cos^2 \alpha_1 - \cos^2 \alpha_2}{\cos^2 \alpha_1 \cdot \cos^2 \alpha_2} \right)$$

$$A_{12} = \frac{11 m v_0^2}{30}$$

3) Пусть $BA = L_1$; $AC = L_2$; $AD = L_3$

$$L_{12} = \frac{L_1 - L_2}{v_0}; \quad L_1 = \frac{H}{\sin \alpha_1}; \quad L_2 = \frac{H}{\sin \alpha_2}; \quad L_3 = \frac{H}{\sin \alpha_3}$$

$$b_{12} = \frac{\frac{H}{\sin \alpha_1} - \frac{H}{\sin \alpha_2}}{v_0} \Rightarrow \frac{H}{v_0} = b_{12} \frac{\sin \alpha_1 \sin \alpha_2}{\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1}$$

$$L_{13} = \frac{L_1 - L_3}{v_0} = \frac{\frac{H}{\sin \alpha_1} - \frac{H}{\sin \alpha_3}}{v_0} = \frac{H}{v_0} \frac{\sin \alpha_3 - \sin \alpha_1}{\sin \alpha_3 \cdot \sin \alpha_1}$$

$$b_{13} = b_{12} \frac{\sin \alpha_1 \sin \alpha_2 (\sin \alpha_3 - \sin \alpha_1)}{\sin \alpha_3 - \sin \alpha_1 (\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)} = 4 b_{12}$$

Ответ:

1) $1,33 v_0$

2) $\frac{11}{30} m v_0^2$

3) $4 b_{12}$

№3

- Дано
- n
- r_1
- r_2
- q
- Q
-
- 1) $\varphi_1 = ?$
- 2) $W_1 = ?$
- 3) $W = ?$
- от r_2



1) Рассмотрим после замыкания ключа K

Используем метод узловых потенциалов

$\varphi_1 = 0$ (потенциал на сфере радиуса r_1)

$$\varphi_1 = k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{Q}{r_1}$$

$$q_1 + Q = 0$$

$$\varphi_1 = -Q$$

2) Рассмотрим до замыкания ключа K
 $W_1 = A$ (A - работа по перемещению заряда q

до r_1)

$$W_1 = q \left(k \frac{Q}{r_1} - k \frac{Q}{r_2} \right) = \frac{kQq(r_2 - r_1)}{r_1 \cdot r_2}$$

3) Рассмотрим после замыкания ключа K

$W_2 = A^*$ (A* - работа по перемещению заряда q_1 от r_2 до r_1)

$$W_2 = q_1 \left(k \frac{q_1}{r_1} - k \frac{q_1}{r_2} \right) = \frac{kQq_1(r_2 - r_1)}{r_1 + r_2} = \frac{kQq(r_1 - r_2)}{r_1 \cdot r_2}$$

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \frac{kQq(r_1 - r_2)}{r_1 r_2} - \frac{kQq(r_2 - r_1)}{r_1 r_2}$$

$$\Delta W = 2 \frac{kQq(r_1 - r_2)}{r_1 r_2}$$

ΔW - изменение внутр. энергии

ЗСЭ:

$$\Delta W = 2W$$

$$W = 2 \frac{kQq(r_1 - r_2)}{r_1 \cdot r_2}$$

Ответ: 1) - Q

2) $\frac{kQq(r_2 - r_1)}{r_1 + r_2}$

3) $\frac{2kQq(r_1 - r_2)}{r_1 \cdot r_2}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

$$R_1 = R$$

$$R_2 = 3R$$

E_0

$$R_V = 5R$$

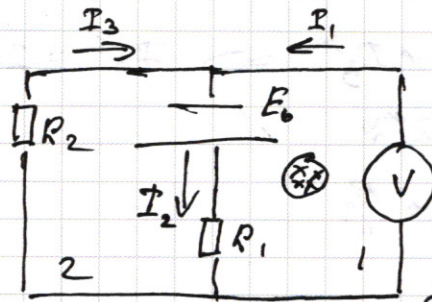
S

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = k > 0$$

1) $V_1 = ?$

2) $V_2 = ?$

Решение:



1) Используем

2 Зак. Кирх.

обход по 5

контур 1-1

$$(1) I_1 \cdot 5R + I_2 \cdot R = E_0$$

2 Зак. Кирх. обход по 2 контур 2-2;

$$(2) I_3 \cdot 3R + I_2 R = E_0$$

$$\text{ЗСЗ: } I_2 = I_1 + I_3 \Rightarrow I_3 = I_2 - I_1$$

подставляем (3) в (2):

$$3I_2 R - 3I_1 R + I_2 R = E_0$$

$$I_2 R = \frac{E_0}{4} + \frac{3}{4} I_1 R$$

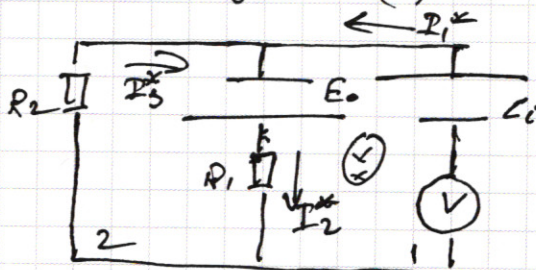
$$I_1 \cdot 5R + I_2 R = E_0 \Rightarrow I_1 \cdot 5R + \frac{3}{4} I_1 R + \frac{E_0}{4} = E_0$$

$$I_1 \cdot 5R = \frac{3}{4} E_0$$

$$\frac{23}{4} I_1 R = \frac{3}{4} E_0$$

$$I_1 R = \frac{3 E_0}{23} \Rightarrow V_1 = \frac{15 E_0}{23}$$

2) когда $B'(t) \neq 0$



$$|E_i| = |\varphi'(t)|$$

$$\varphi(t) = B(t) \cdot S \Rightarrow$$

$$\varphi'(t) = k \cdot S$$

и (Продолжение):

Используем 2 зак. Кирхгофа:

по контуру 1, обход \square

$$K \cdot S + E_0 = 5 I_1^* R + I_2^* R$$

для контура 2; обход \square

$$E_0 = I_2^* R + 3 I_3^* R$$

$$\text{ЗСЗ! } I_2^* = I_1^* + I_3^* \Rightarrow I_3^* = I_2^* - I_1^*$$

$$E_0 = 4 I_2^* R - 3 I_1^* R$$

$$I_2^* R = \frac{3 I_1^* R}{4} + \frac{E_0}{4}$$

$$5 I_1^* R = 4 I_2^* R - 3 I_1^* R$$

$$K \cdot S + E_0 = 5 I_1^* R + \frac{3}{4} I_1^* R + \frac{E_0}{4}$$

$$\frac{23}{4} I_1^* R = K S + \frac{3}{4} E_0$$

$$I_1^* R = \frac{4}{23} (K S + \frac{3}{4} E_0)$$

$$V_2 = \frac{2R}{23} (K S + \frac{3}{4} E_0)$$

Ответ:

$$1) V_1 = \frac{15}{23} E_0$$

$$2) V_2 = \frac{2R}{23} (K S + \frac{3}{4} E_0)$$

№ 2

Дано:

$T_0 = 373 K$

$\frac{P_0}{\delta}$

V_1

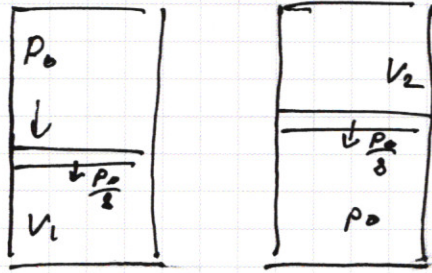
L

M

$V_2 = ?$
1) $\Delta m = ?$

2) $\Delta m = ?$

3) $\Delta U = ?$



Давление пара равно P_0

т.к. пар насыщ. и $T = 373 K$.

$P_n = const = P_0$

~~Занятым ср. Мех. кн. для вас~~

$T = const$ т.к. пар насыщ.

$PV = const \Rightarrow P_1 V_1 = P_2 V_2$

$P_1 = P_0 + \frac{P_0}{8} = \frac{9}{8} P_0$; $P_2 = P_0 - \frac{P_0}{8} = \frac{7}{8} P_0$

$\frac{9}{8} P_0 V_1 = \frac{7}{8} P_0 V_2 \Rightarrow 9 V_1 = 7 V_2$

$V_2 = \frac{9}{7} V_1$

2) ЗЦЗ:

$\Delta U + A_1' + L_m = Q$ пар

$A_1' = -\frac{2}{7} P_0 V_1$ пар

$-Q = +A_2'$ воздух

$A_2' = A_1' - A_{порш}$

$A_{порш} = \frac{P_0}{8} \cdot \frac{2}{7} V_1 = \frac{2}{56} P_0 V_1 = \frac{1}{28} P_0 V_1$

$-Q = A_2' = \frac{1}{4} P_0 V_1$

$\Delta U = \frac{2}{7} P_0 V_1 - L_m = -\frac{1}{4} P_0 V_1$

$\Delta U = \frac{5}{2} \frac{\Delta m}{M} R T_0$

$-L_m + \frac{5}{2} \frac{\Delta m}{M} R T_0 = \frac{1}{28} P_0 V_1$

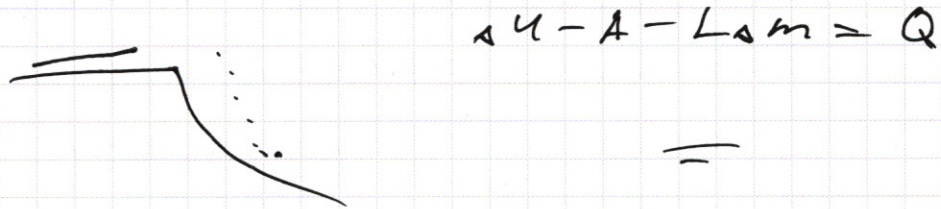
$\Delta m = \frac{P_0 V_1}{28} \left(\frac{5 R T_0}{2 M} - 1 \right) = \frac{P_0 V_1}{28} \left(\frac{5 R \cdot 373}{2 M} - 1 \right)$

3) $\Delta U = \frac{5 R T_0}{2 M} \cdot \frac{P_0 V_1}{28} \left(\frac{2 M}{5 R T_0} - 1 \right)$ $\Delta U = 0$ т.к. $T = const$

Ответ: 1) $\frac{9}{7} V_1$; 2) $\frac{P_0 V_1}{28} \left(\frac{2 M}{5 R T_0} - 1 \right)$

3) $\frac{5 R T_0}{2 M} \frac{P_0 V_1}{28} \left(\frac{2 M}{5 R T_0} - 1 \right)$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{15}{10} - \frac{5}{9}$$

$$\frac{135}{90} - \frac{50}{90}$$

$$\frac{85}{90}$$

$$15.9 - 5.14$$

$$10.76$$

$$\frac{135}{90} - \frac{50}{90}$$

$$\frac{85}{90}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5

Дано:

ω

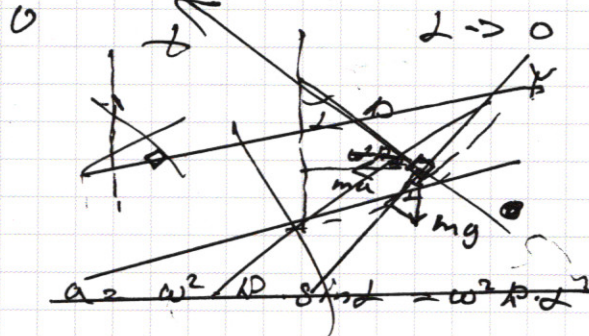
g

1) $R = ?$

2) $f = ?$



1) Рассмотрим кусок жидкости возле



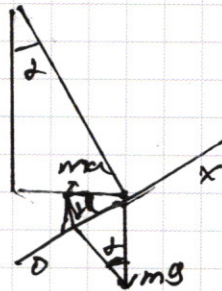
$$mg \cdot \sin \alpha$$

$$a = \omega^2 \cdot R \cdot \frac{d}{\sin \alpha} = \omega^2 \cdot R \cdot d \quad \text{т.к. } d \rightarrow 0$$

УХ:

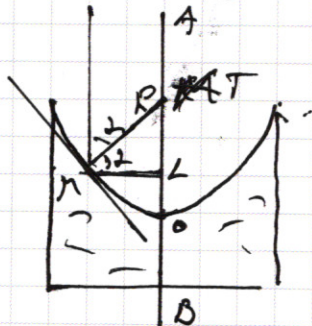
$$mg \cdot \sin \alpha = ma \cdot \cos \alpha$$

$$mg \cdot d = m \omega^2 \cdot R \cdot d$$



$$R = \frac{g}{\omega^2} = 0,625 \text{ м}$$

2) Можно рассмотреть поверхность жидкости как волну того зеркала радиуса R все лучи сходится в одной точке \Rightarrow это можем



рассмотреть, когда $\alpha = 45^\circ$

$$\angle ALM = 90^\circ; \quad KL = \frac{\sqrt{2}}{2} R$$

$$OL = r = R \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2}\right) = 0,3 R$$

изоб.
лучи лежат на АВ т.к. луч АВ отгр.
но той же осч

Ответ: 1) $R = 0,625 \text{ м}$

2) $f = 0,1275 \text{ м}$

Послекиа к н 5:

Изображение лежати оси АВ т.к.

Угол отражения в точке О равен углу

Трамаа к касательной — это ТМ — Р

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) $v_2 = \frac{v_0}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha_2}}$ $\times \# \times$

2) $A = -\frac{mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} \quad 1 - \frac{4}{9} = \frac{5}{9}$

$A = \frac{mv_0^2}{2} \left(\frac{1}{1 - \sin^2 \alpha_2} - \frac{1}{1 - \sin^2 \alpha_1} \right) =$

$A = \frac{mv_0^2}{2} \left(\frac{\sin^2 \alpha_2 - \sin^2 \alpha_1}{(1 - \sin^2 \alpha_1)(1 - \sin^2 \alpha_2)} \right)$

$A = \frac{mv_0^2}{2} \left(\frac{\frac{4}{9} - \frac{1}{16}}{\frac{8}{9} - \frac{15}{16}} \right) = \frac{16 \cdot 4 - 9}{5 \cdot 15}$

2) $A = \frac{mv_0^2}{2} \frac{64 - 9}{75} = \frac{mv_0^2}{2} \frac{55}{75} = \frac{11mv_0^2}{30}$

3) $L_1 = k \cdot \sin \alpha_1 \quad k = 1,5 \text{ Н} \quad 2,25$

$L_2 = k \cdot \sin \alpha_2 \quad 2,25 \text{ Н} \quad 2,25$

$\frac{L_2 - L_1}{v_0} = t_{12} \quad \frac{1}{v_0} = \frac{2}{3} t_{12} \quad 4,50 \quad 3$

$\frac{k(\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1)}{v_0} = t_{12} \quad 4,50 \quad 2,25$

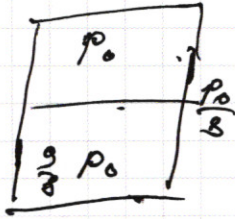
$\frac{1}{v_0} = \frac{t_{12}}{\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1} \quad 4,50 \quad 2,25$

$\frac{k(\sin \alpha_3 - \sin \alpha_1)}{v_0} = t_{13} \quad 4,50 \quad 2,25$

$t_{12} \frac{\sin \alpha_3 - \sin \alpha_1}{\sin \alpha_2 - \sin \alpha_1} = t_{13} \Rightarrow t_{13} = \frac{\frac{3}{4} - \frac{1}{4}}{\frac{2}{5} - \frac{1}{4}} = \frac{0,5}{\frac{8-5}{20}} = \frac{0,5 \cdot 20}{3} = \frac{10}{3}$

$$3) b_{13} = \frac{E}{3} b_{12}$$

N2



$$\frac{3}{8} \rho_0 V_1 = \frac{7}{8} \rho_0 V_2$$

$$1) V_2 = \frac{3}{7} V_1$$

$$2) \frac{\rho_0 V_1}{m_1} = \frac{\rho_0 V_2}{m_2}$$

$$\frac{V_1}{m_1} = \frac{V_2}{m_2 + \Delta m}$$

$$V_1 (m_1 + \Delta m) = V_2 m_2 + \Delta m V_2$$

$$\frac{2}{7} V_1 m_1 +$$

$$\rho_0 \frac{2}{7} V_1 + L_0 m = Q$$

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

$$\frac{q_1}{n} + \frac{Q}{n} = q_1 + Q = 0$$

$$\frac{E^2}{4\epsilon_0}$$

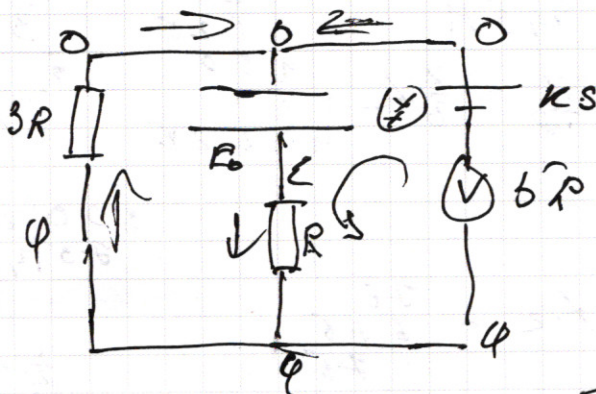
$$1) q_1 = -Q$$

2)

$$3) Q = W_2 - W_1$$

N4

$$|E_i| = \varphi'(z) = B'(z) \cdot S = k \cdot S$$



$$k \cdot S + E_0 = I_1 \cdot 3R + I_2 \cdot R$$

$$E_0 = I_2 \cdot R + I_3 \cdot 3R$$

$$I_2 = I_1 + I_3$$

$$E_0 = 3R I_1 + I_3 \cdot R + I_3 \cdot 3R$$

$$E_0 = I_2 \cdot R + I_2 \cdot R \cdot 3 - 3I_1 \cdot R$$

$$4kS + 3E_0 = 23I_1 R$$

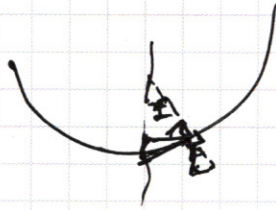
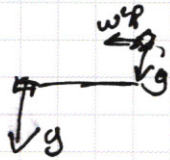
$$1) \frac{q}{3R} + \frac{q}{5R} = \frac{E - \varphi}{R}$$

$$5q + 3q = 15E - 15q$$

$$23q = 15E_0$$

$$2) \frac{5(4kS + 3E_0)}{23} = U_V \quad 1) q = \frac{15}{23} E_0$$

~ 5



$$2 \cdot g + - \omega^2 \cdot R \cdot l = \omega^2 \cdot l$$

$$g = \omega^2 R$$

$$R = \frac{g}{\omega^2}$$

$$l/R = \frac{g}{\omega^2} = \frac{10 \cdot 5}{8} = 0,625 \text{ M}$$

$$\begin{array}{r} 50 | 8 \\ \hline 0,625 \cdot 2 \\ 1,250 \end{array}$$

$$D = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{R}$$

mg

$$\frac{1}{R} \Rightarrow R = 2R$$

$$2 \cdot g =$$

$$2) L = \frac{2 \cdot g}{\omega^2} = 1,25 \text{ M}$$

$$mg = l^2 \omega^2 R$$

~ 2

$$-\frac{2}{7} P_0 V_1 + L \Delta m = Q$$



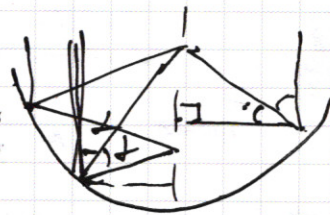
mg \cdot l

$$\frac{1}{8} P_0 \cdot \frac{2}{7} V_1 = A_m$$

$$\frac{2}{56} P_0 V_1$$

$$Q = \frac{2}{7} P_0 V_1 - \frac{2}{56} P_0 V_1$$

$$Q = \frac{14}{56} P_0 V_1 = \frac{7}{28} P_0 V_1 = \frac{1}{4} P_0 V_1$$



625

3

0,1875

0,1

$$\frac{5 \Delta m P_0}{2 \mu} + L \Delta m = \frac{30}{56 \cdot 26} P_0 V_1$$

$$1 - \frac{1,4}{2}$$

$$\frac{15 P_0 V_1}{26 L}$$

$$\frac{2 - 1,4}{2} = 0,3$$

$$\Delta m \left(\frac{5 P_0}{2 \mu} - L \right) = \frac{15}{26} P_0 V_1$$

$$\frac{Q \cdot g^2}{2 \epsilon_0 S}$$

$$\frac{q^2}{2 \epsilon_0 C}$$

$$2) \Delta m = \frac{15 P_0 V_1}{26 \left(\frac{5 P_0}{2 \mu} - L \right)}$$

$$\frac{Q = q}{2 \epsilon_0 S}$$

$$3) A \cdot U = \frac{5 \Delta m P_0}{2 \mu}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5

1) 0

~~2) $D = \left(\frac{h\nu}{hc} - 1 \right) (1 - 2) \checkmark$~~

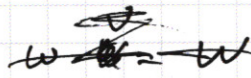
№ 2 $A \rightarrow \frac{2}{7} P_0 U_1$

$P_0 U_1 \frac{2}{7} = L \Delta m$

2) $\Delta m = \frac{2 P_0 U_1}{7 L}$

3) $\frac{2}{7} P_0 U_1$

№ 3



~~$W = k \frac{Qq}{r_1^2} - k \frac{Qq}{r_2^2}$~~



$k \frac{Qq(r_2^2 + r_1^2)}{(r_2^2 - r_1^2)}$

$k \frac{Qq(r_2 - r_1)}{r_1 \cdot r_2}$

2) ~~$W_1 = \frac{kQq(r_2 - r_1)}{r_1 \cdot r_2}$~~

$W_2 = \frac{kQq(r_1 - r_2)}{r_1 \cdot r_2}$

3) $Q = \frac{2kQq(r_1 - r_2)}{r_1 \cdot r_2}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)