



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Авшенюк Александр Сергеевич**

Класс: 11

Технический балл: **96**

Дата проведения: 26 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9700496

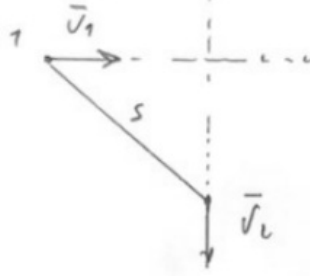
	1	2	3	4	Σ
Задача	15	15	15	15	96
Вопрос	9	9	9	9	

ЧИСТОВИК

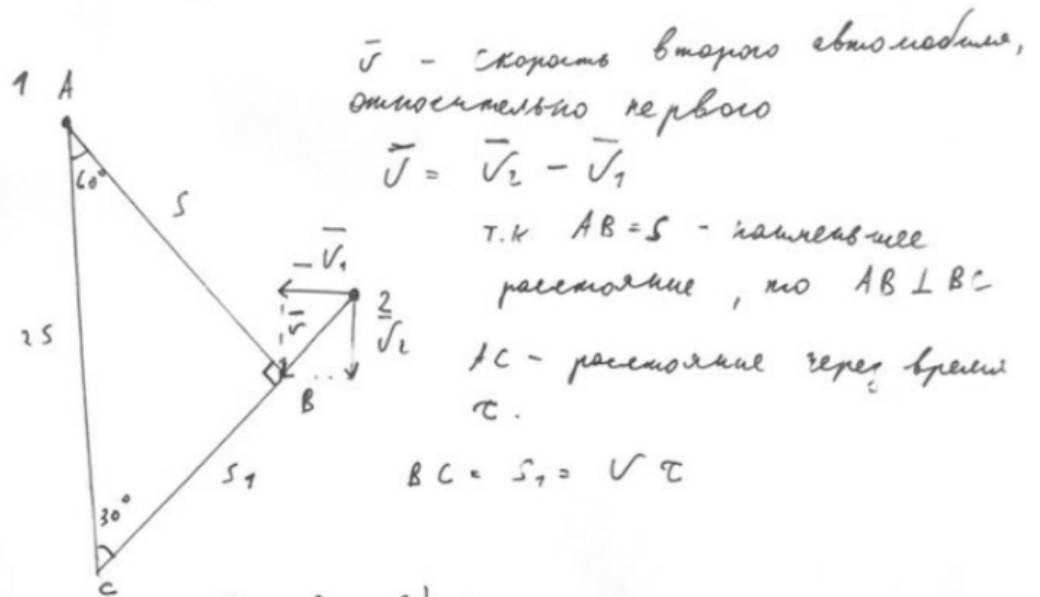
Задача 1.21.

Дано:

$v_2 = 36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$	СЧ
$S = 100 \text{ м}$	$10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$\tau = 10 \text{ с}$	
$v_1 = ?$	



Переведем в С.О. "Автомобиль 1". Это ИСО, так как автомобиль движется с постоянной скоростью.



\vec{v} - скорость второго автомобиля, относительно первого

$$\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$$

т.к. $AB = S$ - наименьшее расстояние, то $AB \perp BC$

AC - расстояние через время τ .

$$BC = S_1 = v \tau$$

рассм ΔABC ($\angle B = 90^\circ$)

т.к. $\frac{AC}{AB} = 2$, то $\cos \angle BAC = \frac{1}{2}$ $\angle BAC = 60^\circ$

$$BC = 2S \cdot \sin 60^\circ = S\sqrt{3}$$

$$v \tau = S\sqrt{3}$$

$$v = \frac{S\sqrt{3}}{\tau} \quad v = \frac{100\sqrt{3} \text{ м}}{10 \text{ с}} = 10\sqrt{3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 \quad v_1 = \sqrt{v^2 - v_2^2}$$

$$v_1 = \sqrt{300 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 36\sqrt{2} \frac{\text{км}}{\text{ч}} \approx 50,76 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

Ответ: $50,76 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$

Мет (1)

Вопросы

ЧИСТОВИК

- Скорость - это производная первого порядка от координаты тела. Изменение пути во времени, за которое этот путь был пройден. $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$ $v = \frac{s}{t}$
- Скорость тела относительно неподвижной системы отсчёта равна векторной сумме скорости тела относительно подвижной системы отсчёта и скорости подвижной системы отсчёта относительно неподвижной системы отсчёта. $\vec{v}_{\text{тел}} = \vec{v}_{\text{тел}} + \vec{v}_{\text{подв. с. о.}}$

Задача 2.8.1.

Дано:

$$V = 0,1 \text{ м}^3$$

$$J_1 = 0,05 \text{ моль}$$

$$J_2 = 1 \text{ моль}$$

$$T = 293 \text{ К}$$

$$p_H = 2330 \text{ Па}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$\omega = 23 \%$$

$$\varphi = ?$$

$$M_{\text{возд}} = 29 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$M_K = 32 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$\omega = \frac{m_K}{m_{\text{возд}}}$$

$$m_K = J_K \cdot M_K$$

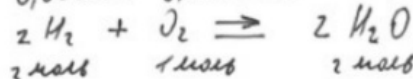
$$m_{\text{возд}} = J_2 \cdot M_{\text{возд}}$$

$$\omega = \frac{J_K \cdot M_K}{J_2 \cdot M_{\text{возд}}}$$

$$J_K = \frac{\omega J_2 M_{\text{возд}}}{M_K}$$

$$J_K = \frac{0,23 \cdot 1 \cdot 29}{32} \text{ моль} \approx 0,2084 \text{ моль}$$

$$0,05 \text{ моль} \quad 0,015 \text{ моль} \quad 0,05 \text{ моль}$$



$$2 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль} \quad 2 \text{ моль}$$

т.к. $J_K > J_1$, то кислорода в избытке
расчёт ведём по водороду.

$$J_1 = J_{\text{водн}}$$

по з-у Менделеева-Клапейрона.

когда вся вода испарилась, то по з-у Менделеева-Клапейрона:

$$pV = J_{\text{водн}} \cdot R \cdot T$$

$$p = \frac{J_{\text{водн}} \cdot R \cdot T}{V}$$

$$\varphi = \frac{p}{p_H} \cdot 100 \%$$

$$\varphi = \frac{J_{\text{водн}} \cdot R \cdot T}{V p_H} \cdot 100 \%$$

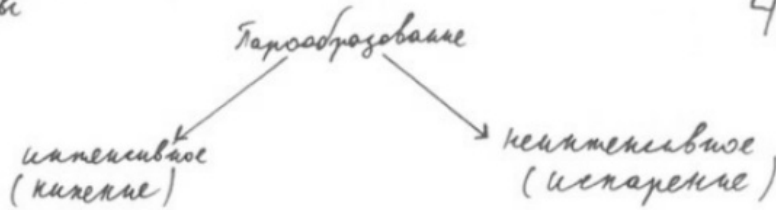
$$\varphi = \frac{0,05 \cdot 8,31 \cdot 293}{0,1 \cdot 2330} \cdot 100 \% \approx 52 \%$$

Лист (2)

Ответ: 52%

Вопросы

ЧИСТОВИК



$$L = \frac{Q}{m}$$

Удельная теплота парообразования - отношение теплоты, затраченной на парообразование жидкости к массе этой жидкости.

Задача 3.8.2.

Дано:

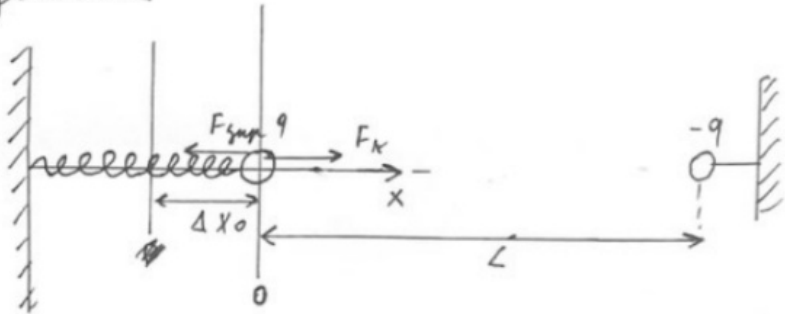
$$m = 0,01 \text{ кг}$$

$$q = 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

$$f = 1,97 \text{ Гг}$$

$$L = 0,5 \text{ м}$$



В положении равновесия:

$$k \Delta x_0 = F_k \quad F_k = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2}$$

$$k \Delta x_0 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} \quad \Delta x_0 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2 k}$$

При смещении на малое расстояние x относительно положения равновесия:

$$0x: \quad -F_{\text{гипр}}' + F_k' = m a_x$$

$$F_{\text{гипр}}' = k (\Delta x_0 + x)$$

$$F_k' = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2}$$

$$-k \left(\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2 k} + x \right) + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2} = m a_x$$

$$-kx - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2} = m a_x$$

$$\frac{1}{(L-x)^2} = \frac{1}{L^2 \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2} = L^{-2} \cdot \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{-2} \quad \text{①}$$

$$(1+x)^d \approx 1 + dx \quad dx \ll 1$$

$$\text{②} \quad L^{-2} \cdot \left(1 + \frac{2x}{L}\right) \quad \frac{x}{L} \ll 1$$

$$\text{исп. ③} \quad \text{н.о.} \quad \frac{1}{(L-x)^2} \approx \frac{1}{L^2} + \frac{2x}{L^3}$$

ЧИСТОВИК

$$-kx = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} + \frac{2xq^2}{24\pi\epsilon_0 L^3} = \max$$

$$\ddot{x} + \frac{x}{m} \left(k - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^3} \right) = 0 \quad \text{— уравнение гармонических колебаний}$$

П.о. колебания будут гармоническими.

$$\ddot{x} + \omega^2 x = 0$$

$$\omega^2 = \frac{\left(k - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^3} \right)}{m}$$

$$\omega = \sqrt{\dots}$$

$$\omega = 2\pi f \quad \omega^2 = 4\pi^2 f^2$$

$$\frac{f^2}{4\pi^2} = \frac{\left(k - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^3} \right)}{m}$$

$$k = 4\pi^2 f^2 m + \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^3}$$

$$k = 4 \cdot (3,14)^2 \cdot (1,42)^2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}} + 9,144 \frac{\text{Н}}{\text{м}} =$$

$$= 0,85 + 9,144 = 9,994 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

~~$$k = \frac{f^2 m}{4\pi^2} + \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^3}$$~~

~~$$k = \frac{(1,47)^2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{кг}}{\text{м}}}{4 \cdot (3,14)^2} + \frac{10^{-8} \cdot 10^{-8}}{25 \cdot 10^{-28} \frac{\text{Н}}{\text{м}}} = 0,055 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$~~

~~$$+ 0,144 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 0,14455 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 144,55 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$~~

Ответ: ~~144,55 $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$~~ 0,934 $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$

Вопросы:

- Напряжённость электрического поля — скалярная величина, отношение силы с которой заряд-источник некартеского поля действует на помещённый в него пробный заряд к величине пробного заряда $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{пр}}$ $E = \frac{q_{ист}}{4\pi\epsilon_0 R^2}$
- Напряжённость в некоторой точке кр-ва равна векторной сумме напряжённостей, которую создали бы каждый заряд — источник по отдельности.

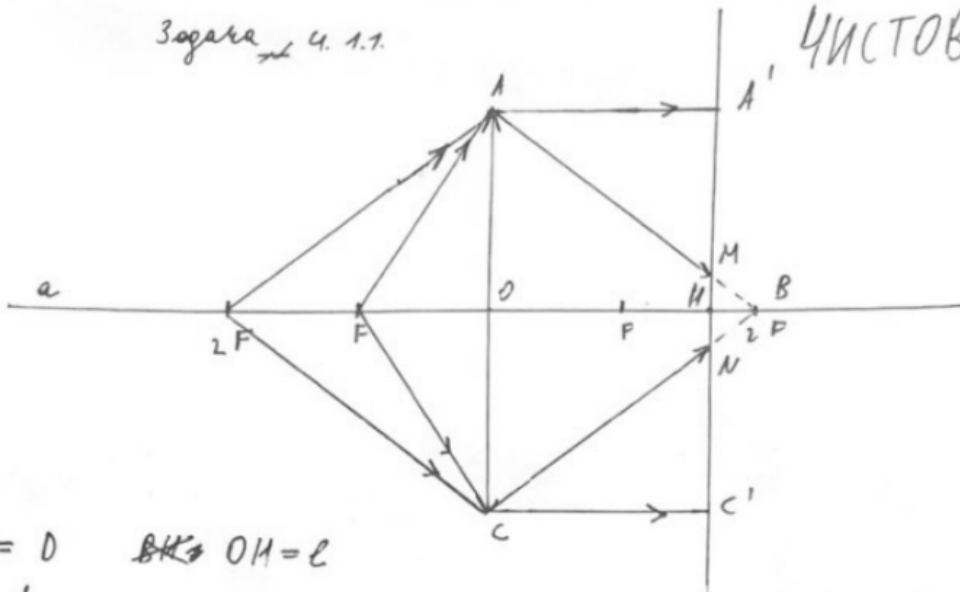
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n$$

Мет (4)

Задача 4.1.1.

ЧИСТОВИК

Дано:
 $l = 8 \text{ см}$
 $D = 5 \text{ см}$
 $d = 3 \text{ см}$
 $F?$



$$A'C' = D \quad \text{и} \quad OM = l$$

$$MN = d$$

Т.к. $AA' \parallel CC' \parallel a$, то $AC = D$

$$\Delta ABC \sim \Delta MBN$$

$$\frac{BM}{BO} = \frac{MN}{AC} \quad \frac{BO - OM}{BO} = \frac{MN}{AC}$$

$$\frac{2F - l}{2F} = \frac{d}{D} \quad 2dF = 2DF - Dl$$

$$2F(d - D) = -Dl$$

$$2F(D - d) = Dl$$

$$F = \frac{Dl}{2(D - d)}$$

$$F = \frac{5 \cdot 8 \text{ см}}{2 \cdot 2} = 10 \text{ см}$$

Ответ: 10 см

Вопросы:

- Фокусное расстояние - расстояние от главного оптического центра до точки фокуса, лежащей на главной оптической оси, в которой пересекаются лучи, выходящие из точки, лежащей на ней параллельно главной оптической оси.
- Оптическая сила линзы - величина обратная фокусному расстоянию.

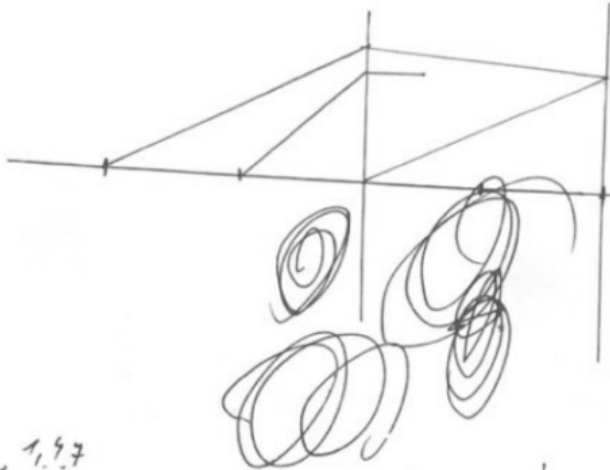
$$D = \frac{1}{F} \quad (\text{диоптр})$$

Лист (5)

✓ 4.

ЧЕРНОВИК

$$\begin{array}{r} 0,00055 \\ + 0,144 \\ \hline \end{array}$$



$$\begin{array}{r} \lambda 8,37 \\ 283 \\ \hline 2493 \\ + 7979 \\ \hline 1662 \\ \hline 2437,83 \end{array} \quad (95)^3 = 857375 \cdot 10^3$$

$$2437,83$$

$$\begin{array}{r} \lambda 1,77 \\ 7,42 \\ \hline 1029 \\ + 588 \\ 177 \\ \hline 2160,9 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2,7609 \mid 3,14 \\ - 1284 \mid 0,6887 \\ \hline 2269 \\ - 2512 \\ \hline 1,982570 \\ \lambda 11 \mid - 2512 \\ \hline 580 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0,688 \mid 3,74 \\ 628 \mid 0,219 \\ \hline 600 \\ - 374 \\ \hline 2860 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0,22 \mid 1 \\ - 20 \mid 0,055 \\ \hline 20 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \lambda 0,055 \\ 4 \\ \hline 0,220 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,0000 \mid 35,40 \\ \hline 10,9 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1277 \mid 415 \mid 255 \\ - 1165 \mid 0 \mid 0,5224 \\ \hline 529 \\ - 466 \\ \hline 584 \\ - 466 \\ \hline 778000 \\ \sqrt{d-D} = F \end{array}$$

$$2Fd = 2F \cdot D - CD$$

$$200 \quad 2F(d-D) = -10$$

$$\frac{d}{D} = \frac{2F-C}{2F}$$

$$2FD - 2Fd - DC$$

$$F = \frac{28 \cdot 5}{2 \cdot 1} = 10 \text{ cm}$$

$$9 \cdot 10^{-9}$$

$$18 \cdot 10^{-9}$$

$$\lambda 3,85$$

$$4$$

$$\hline 35,50$$

$$h = \frac{1}{4 \cdot 80} = 2$$

$$\begin{array}{r} 1,0000 \mid 35,40 \\ \hline 10000 \mid 35,60 \end{array}$$

луч (6)

ЧЕРНОВИК

$$\begin{array}{r} 1,41 \\ \times 36 \\ \hline + 846 \\ 423 \\ \hline 50,76 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 23 \\ 29 \\ \hline + 207 \\ 46 \\ \hline 687 \end{array}$$

6,67

мл.

$$\begin{array}{r} 6,67 \overline{) 132} \\ \underline{-64} \\ 70 \\ \underline{-256} \\ 790 \\ \underline{-768} \\ 220 \end{array}$$

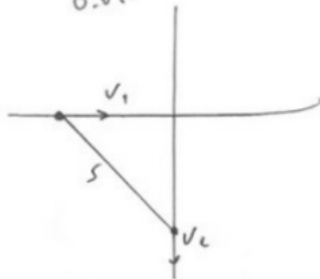
$2M_1 + 0_2 = 2M_0$

$J_+ = 0,23 \text{ мкс}$

V_{max}
 V_{min}

$$\begin{array}{r} 0,230 \\ - 0,025 \\ \hline 0,205 \end{array}$$

$V_0 = 0,37 \text{ мкс}$



0,46 мкс

0,23 мкс

0,46 мкс

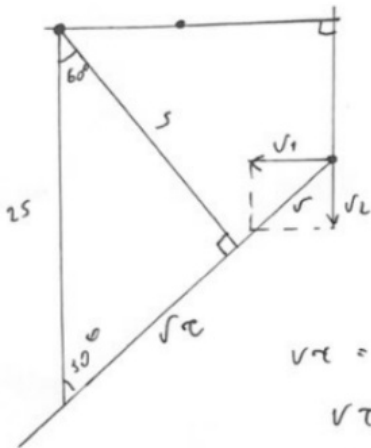
$M = 19 \frac{\text{кг}}{\text{мкс}}$

$2M_1 + 1 \text{ мкс} = 2M_0 + 2 \text{ мкс}$

Умно

0,16 мкс \log

0,42 \log



$$\begin{array}{r} 36 \\ \times 1,4 \\ \hline + 144 \\ 36 \\ \hline 50,4 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 36 \cdot 10 \\ 36 \overline{) 360} \\ \underline{36} \\ 0 \end{array}$$

$v_1 = 25 \sin 60^\circ$
 $v_2 = 25 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$

$v_1 = 5\sqrt{3}$

$v = \frac{5\sqrt{3}}{10} = \frac{100\sqrt{3}}{70} = 10\sqrt{3}$

$$\begin{array}{r} 1,41 \\ \times 36 \\ \hline 6 \end{array}$$

1,41

0,05 мкс, 0,025 мкс, 0,05 мкс

$2M_1 + 0_2 = 2M_0$

0,05 мкс \log

0,205 мкс O_2

0,77 мкс \log

$p \cdot V = \sqrt{4} RT$

$\frac{0,05 \cdot 8,31 \cdot 783}{0,1}$

$p =$

$p = 1217,415 \text{ Па}$

лет (4)

$$\begin{array}{r} \times 23,1 \\ 293 \\ \hline \cdot 2493 \\ 17449 \\ \hline 1662 \\ 24348,3 \end{array}$$

$100 \cdot 3 = 100 + 2 \cdot 100$

$V_1 = \sqrt{200} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 10\sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$V_2 = 36 \sqrt{2} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 50,9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$\times 2439,83$

$2439,83 \overline{) 2439,83}$

$\begin{array}{r} -2 \\ \hline -04 \\ \hline -03 \\ \hline -24 \\ \hline -20 \\ \hline -40 \\ \hline -20 \\ \hline -20 \end{array}$

Зерава

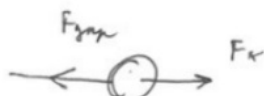
ЧЕРНОВИК

$$7217,475 \mid 2330$$

$$\underline{10,5}$$

$$\frac{1233}{5}$$

$$\underline{1765}$$



$$-kx +$$



$$7217,475 \mid 233$$

$$\underline{-116,5}$$

$$529$$

$$\underline{-466}$$

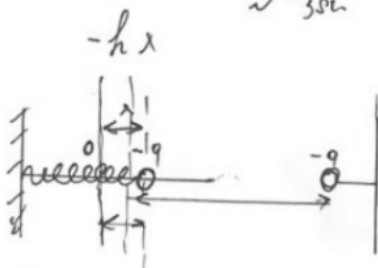
$$581$$

$$\underline{-466}$$

$$1155$$

52%

30%



$$-k(x+x_0) + F_K = ma$$

$$\frac{kx^2}{L} = \text{const}$$

$$-kx$$

$$kx$$

$$\frac{3,75}{1}$$

$$\times 3,14$$

$$\frac{11,76}{1}$$

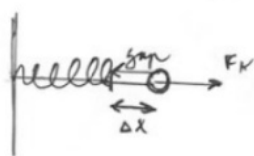
$$- 3,14$$

$$\frac{8,62}{1}$$

$$\frac{19,25 \cdot 9,6}{1}$$

$$\underline{185}$$

$$\frac{k \Delta x^2}{L} = \frac{k q^2}{4\pi \epsilon_0 L} = \text{const}$$



$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega^2 = 4\pi^2 f^2$$

$$\frac{19,25 \cdot 9,6}{1}$$

$$\frac{185,4384}{1}$$

$$-k(x+x_0) + \frac{kq^2}{4\pi \epsilon_0}$$

$$\frac{kx^2}{L} + \frac{mv^2}{L} = \text{const}$$

$$39,4389$$

$$kx \cdot x + mv^2 - m \cdot a \cdot x = 0$$

$$kx = -ma$$

$$\frac{kx^2}{L} + \frac{mv^2}{L} - \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 (L+x)^2} = 0$$

$$\frac{kx^2}{L} + \frac{mv^2}{L} - \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 (L+x)^2}$$

$$0,85$$

$$+ 0,850$$

$$0,1749$$

$$\underline{0,9954}$$

$$239,99$$

$$\frac{1,42}{1}$$

$$+ 276,08$$

$$1577,6$$

$$\underline{3944}$$

$$578,768$$

$$157,28$$

$$\frac{1,42}{1}$$

$$405,76$$

$$+ 231,52$$

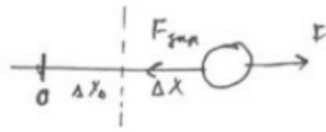
$$\underline{578,8}$$

$$15,0836$$

Мурманск

результир.

ЦЕРНОВИК



$$k \Delta x_0 = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2}$$

$$\Delta x_0 = \frac{q^2}{4k\pi\epsilon_0 L^2}$$

$$+m \ddot{x}$$

$$-k(\Delta x_0 + x) + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2} = m \ddot{x}$$

$$-k \left(\frac{q^2}{4k\pi\epsilon_0 L^2} + x \right) + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2} = m \ddot{x}$$

$$-k \left(\frac{q^2}{4k\pi\epsilon_0} \right)$$

$$- \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} - kx + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2} = m \ddot{x}$$

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{(L-x)^2} - \frac{1}{L^2} \right) - kx = m \ddot{x}$$

$$\left(\frac{1}{L+x} - \frac{1}{L} \right) \left(\frac{1}{L-x} + \frac{1}{L} \right)$$

$$\frac{1}{(L+x)^2} - \frac{1}{L^2} = \frac{L^2 (L+x)^2 - L^2 (L-x)^2}{L^2 (L+x)^2}$$

$$\frac{L - L + x}{L(L-x)} \cdot \frac{L + L - x}{L(L-x)}$$

$$= \frac{-(2L-x) \cdot x}{L^2 (L+x)^2} = \frac{(2Lx - x^2)}{L^2 (L^2 - 2Lx + x^2)}$$

$$= \frac{(L-x)x}{L^2 (L-x)^2}$$

$$(L+x)^2 =$$

$$\left(1 + \frac{x}{L} \right)^2 = \frac{L^2}{L^2} \left(1 + 2\frac{x}{L} \right)$$

$$= L^2 + 2xL$$

$$2L - x = 1 - \frac{x}{2L} \approx$$

$$\frac{1}{L+x}$$

$$\approx 1 - 2 \cdot \frac{x}{4L}$$

$$L^2 + (L-x)^2$$

$$\left(1 + \frac{x}{4L} \right)^2 = \frac{(4L+x)^2}{16L^2}$$

$$\left(\frac{2x}{L} - \frac{x^2}{L^2} \right)$$

$$\frac{2Lx}{L^2 (L^2 - 2Lx)} \cdot \frac{2x}{L^2 (L-2x)}$$

всего (9)

ЦЕРНОВИК

$$-\frac{1}{(L+x)^2} + \frac{1}{L^2} =$$

$$\frac{(L+x)^2 - L^2}{L(L+x)^2} =$$

$$\begin{array}{r} \lambda \ 23 \\ \underline{28} \\ + 207 \\ \underline{46} \\ 667 \end{array}$$

$$= \frac{x(2L+x)}{L(L^2+2Lx)} = \frac{x(2L+x)}{L^2(L+x)}$$

$$(L-x)^2 = L^2 \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 =$$

$$\begin{array}{r} 6,6 \overline{) 32} \\ \underline{-64} \\ 240 \\ \underline{-256} \\ 140 \\ \underline{-118} \\ 120 \end{array}$$

$$L^2 \left(1 - 2\frac{x}{L}\right) =$$

$$\frac{x(2L-x)}{(L^2-2Lx)} + \lambda x$$

$$\frac{(L+x)}{x^2}$$

$$\frac{\lambda(2L-x)}{L^2 \left(1 - \frac{2x}{L}\right)}$$

$$-hx + \frac{q^2 \cdot x}{2\pi\epsilon_0 L^3} = me$$

$$\frac{x(2L-x)}{L^2}$$

$$x \left(\frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^3} - h \right) = me$$

$$\left(1 - \frac{2x}{L}\right) =$$

$$\ddot{x} + \underbrace{\left(\frac{h}{m} - \frac{q^2}{2\pi m \epsilon_0 L^3} \right)}_{\omega^2} x = 0$$

$$(2L-x) = \left(1 - \frac{2x}{L}\right) =$$

h

$$\frac{1}{(L-x^2)^2}$$

$$(L-x)^{-2} = L^{-2} \left(1 - \frac{x}{L}\right)^{-2} =$$

$$= L^{-2} \left(1 + \frac{2x}{L}\right)$$

$$\frac{1}{L^2} + \frac{2x}{L^3}$$

лучи 90