МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Толстикова Марина Сергеевна**

Класс: 11

Технический балл: **84**

Дата проведения: 26 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9983493

<table>
<tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>∑</td></tr>
<tr><td>Задача</td><td>14</td><td>12</td><td>12</td><td>15</td><td rowspan="2">84</td></tr>
<tr><td>Вопрос</td><td>9</td><td>5</td><td>9</td><td>8</td></tr>
</table>

9983493

Чистовик 1.

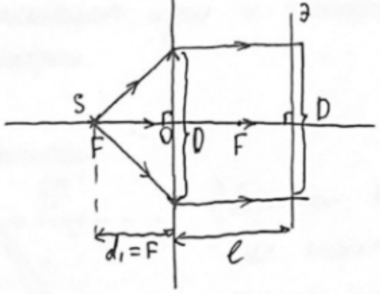
№4.1.1.

Дано:
$l = 8$ см
$D = 5$ см
$d_1 = F$
$d_2 = 2F$
$d = 3$ см

F - ?

Решение.

1) Рассмотрим первое положение источника, когда он расположен в главном фокусе линзы. Т.к. источник расположен в фокусе, после при прохождении лучами света, исходящими из него, линзы они преломляются так, что из линзы выходит параллельный пучок света, параллельный главной оптической оси. Лучи, проходящие через края линзы и её центр показаны на рисунке.

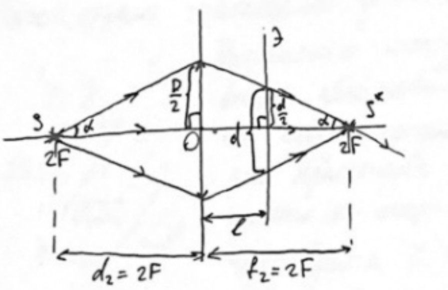


Тогда диаметр светлого пятна на экране равен диаметру линзы, где бы не стоял экран.

2) Рассмотрим второе положение источника, когда он расположен на удвоенном фокусном расстоянии от линзы на ГОО. Запишем формулу тонкой линзы для действительного предмета, источника S.

$\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F}$, f_2 - расстояние от центра линзы до изображения источника.

$\frac{1}{2F} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F} \Rightarrow f_2 = 2F$. ~~$Г = \frac{f_2}{d_2} = 1$. Изображение источника равное по величине~~



Построим движение лучей, проходящих через края линзы. Т.к. $d_2 = f_2$; угол между лучом и ГОО равен с обеих сторон от линзы. Пусть этот угол равен α.

Из п.1, диаметр линзы равен $D \Rightarrow$ расстояние от края линзы до её центра - $\frac{D}{2}$.

Тогда $tg\,\alpha = \frac{D}{2 \cdot 2F} = \frac{D}{4F}$. Пусть экран расположен между O и 2F. Тогда $tg\,\alpha = \frac{d}{2(2F-l)}$

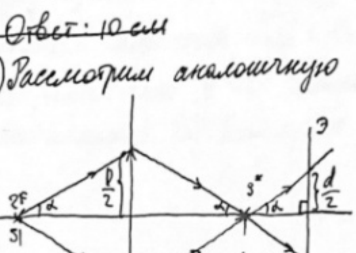
$tg\alpha = \frac{D}{4F} = \frac{d}{2(2F-l)}$; $\frac{d}{2} = (2F-l)\,tg(\alpha) = (2F-l)\frac{D}{4F}$.

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

$F = \frac{8 \cdot 5}{2(5-3)} = 10$ (см)

~~Ответ: 10 см~~

3) Рассмотрим аналогичную п.2 ситуацию, но с экраном, расположенным дальше 2F.



Аналогично п.2, $tg\alpha = \frac{D}{4F}$. Также $tg\alpha = \frac{d}{2(l-2F)}$; $\frac{d}{2} = tg(\alpha)(l-2F)$

$\frac{d}{2} = \frac{D}{4F}(l-2F)$; $2d = \frac{D}{F}(l-2F)$; $2d = \frac{Dl}{F} - 2D$; $\frac{Dl}{F} = 2(d+D)$

$F = \frac{Dl}{2(d+D)}$; $F = \frac{5 \cdot 8}{2(3+5)} = 2,5$ (см).

Ответ: 2,5 см; 10 см.

Чистовик 2.

Вопросы:

Фокусное расстояние линзы — расстояние от оси линзы до точки, где после преломления в линзе собирается параллельный пучок света.

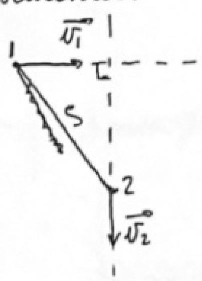
Оптическая сила тонкой линзы — физическая величина, характеризующая способность тонкой линзы преломлять лучи и численно равная обратному фокусному расстоянию, измеренному в метрах.

№1.2.1.

Дано:
$S = 100 м$
$\tau = 10 с$
$S_1 = 2S$
$v_2 = 36 \frac{км}{ч}$
$v_1 \perp v_2$

$v_1 - ?$

Решение.

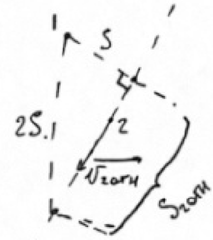


1) Перейдем в СО первого автомобиля. Тогда, по закону сложения скоростей для второго автомобиля: $\vec{v_2} = \vec{v_{2отн}} + \vec{v_1}$; $\vec{v_2}$ — скорость 2го автомобиля в СО Земли, $\vec{v_1}$ — переносная скорость, $\vec{v_{2отн}}$ — скорость 2го автомобиля в СО 1го автомобиля.

$\vec{v_{2отн}} = \vec{v_2} - \vec{v_1}$.

Из векторного треугольника скоростей: $v_{2отн} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$.

2) Рассмотрим траекторию движения второго автомобиля в СО первого.



Расстояние между автомобилями будет минимальной, когда второй автомобиль будет находиться в такой точке траектории, что отрезок, соединяющий автомобили, перпендикулярен траектории. Траектория движения ~~тонкого~~ второго ~~[illegible]~~ автомобиля — прямая, ~~на котор~~ вдоль которой направлен вектор $\vec{v_{2отн}}$.

Через время τ 2й автомобиль проедет по траектории расстояние $S_{2отн} = v_{2отн}\tau = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} \cdot \tau$.

Расстояние между автомобилями — 2S. Тогда, по Th Пифагора: $4S^2 = S^2 + (v_1^2 + v_2^2)\tau^2$

$(v_1^2 + v_2^2)\tau^2 = 3S^2$; $v_1^2 + v_2^2 = 3\left(\frac{S}{\tau}\right)^2$; $v_1 = \sqrt{3\left(\frac{S}{\tau}\right)^2 - v_2^2}$.

$$v_1 = \sqrt{3\left(\frac{100 м}{10 с}\right)^2 - \left(36 \frac{км}{ч}\right)^2} = \sqrt{3 \cdot \left(10 \frac{м}{с}\right)^2 - \left(10 \frac{м}{с}\right)^2} = \sqrt{200 \frac{м^2}{с^2}} = 10\sqrt{2}\left(\frac{м}{с}\right) = 36\sqrt{2}\left(\frac{км}{ч}\right)$$

Ответ: $36\sqrt{2}$ $\frac{км}{ч}$.

Вопросы:

Скорость — физическая величина, равная отношению перемещения тела за отрезок времени к этому отрезку времени, характеризующая скорость изменения перемещения.

Закон сложения скоростей: $\vec{v_{абс}} = \vec{v_{отн}} + \vec{v_{пер}}$.

Вектор скорости тела в СО Земли равен векторной сумме скорости переносной системы отсчёта относительно СО Земли и скорости тела в переносной системе отсчёта.

№3.8.2.

Вопросы:

Напряжённость электрического поля — физическая величина, равная силе, с которой электрическое поле действует на единичный ~~положит~~ положительный заряд, равная отношению вектора электрической силы к заряду. $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ Чистовик. 3.

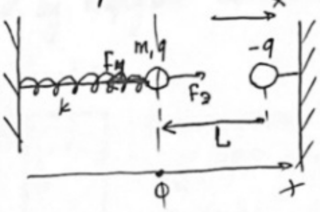
Принцип суперпозиции электрических полей: $\vec{E}_{рез} = \sum_i \vec{E}_i$.
Результирующая напряженность равна векторной сумме всех напряжённостей электрических полей, действующих в данном пространстве.

Дано:
$m = 10$ г
$q = 10^{-6}$ Кл
$L = 50$ см
$f = 1{,}47$ Гц
$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{Ф}{м}$
$(1+x)^\alpha \approx 1 + \alpha x$

$k - ?$

Решение.

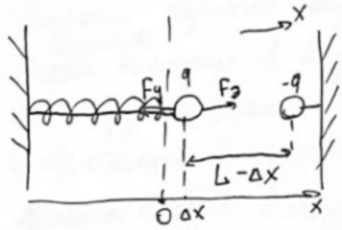
1) Рассмотрим положение равновесия. На подвижный шарик действуют электрическая сила и сила упругости пружины.



Пусть величина, на которую растянута пружина — l. По 2ЗН ~~на~~ в проекции на ось x:

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2} = kl$$

2) Рассмотрим ~~шары~~ систему, когда подвижный шарик сместили на Δx вправо.



2ЗН в проекции на ось x:

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 (L-\Delta x)^2} - k(l+\Delta x) = ma_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 (L-\Delta x)^2} - kl - k\Delta x = ma_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 (L-\Delta x)^2} - \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2} - k\Delta x = ma_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{(L-\Delta x)^2} - \frac{1}{L^2}\right) - k\Delta x = ma_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\cancel{L^2} - \cancel{L^2} + 2L\Delta x - \Delta x^2}{L^2(L-\Delta x)^2}\right) - k\Delta x = ma_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{\Delta x(2L - \Delta x)}{L^2(L-\Delta x)^2}\right) - k\Delta x = ma_x$$

$\Delta x << L \Rightarrow 2L - x \approx 2L;\ L - \Delta x \approx L$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2L\Delta x}{L^4} - k\Delta x = ma_x$$

$$\Delta x\left(\frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^3} - k\right) = ma_x$$

$$a_x = \left(\frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 m L^3} - \frac{k}{m}\right)\Delta x$$ — уравнение гармонических колебаний.

$$x'' = -\omega^2 x$$

$$\omega^2 = \frac{k}{m} - \frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 m L^3};\quad f = 2\pi\omega$$

$$2\pi\sqrt{\frac{k}{m} - \frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 m L^3}} = f$$

$$4\pi^2\left(\frac{k}{m} - \frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 m L^3}\right) = f$$

$$\frac{k}{m} = \frac{f}{4\pi^2} + \frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 m L^3};\quad k = \frac{fm}{4\pi^2} + \frac{2q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^3}.$$

$$k = \frac{1{,}47 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 3{,}14^2} + \frac{2 \cdot 10^{-12}}{4 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 0{,}5^3} = \frac{1{,}47 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 9{,}86} + 18 \cdot 10^{-3} \cdot 64 = 0{,}0375 \cdot 10^{-2} + 1152 \cdot 10^{-3} = 10^{-3}(1152 + 0{,}375) =$$
$$= 1152{,}0375 \cdot 10^{-3}\ \frac{Н}{м}$$

Ответ: $1{,}152375\ \frac{Н}{м}$.

Чистовик. 4.

№2.8.1.

Вопрос:

Удельная теплота парообразования вещества – количество теплоты, нужное для преобразования 1кг вещества в пар.

Пар может образовываться посредством перехода вещества из жидкого состояния в газообразное и из твердого ~~в~~ состояния в газообразное.

Дано:

$V = 0,1\ м^3$

$\nu_1 = 0,05$ моль – H_2

$\nu_2 = 1$ моль – воздух

$t = 20°C$

$p_{нп} = 2330$ Па

$R = 8,31 \frac{Дж}{моль \cdot K}$

$\omega(O_2) = 0,23$

f – ?

Решение.

1) $\boxed{V, \nu_1, \nu_2}$ В начальном состоянии по з-ну Менделеева-Клапейрона:

$p_{1H_2} V = \nu_1 RT$, p_{1H_2} – давление водорода, T – температура газа

$p_{1B} V = \nu_2 RT$, p_{1B} – давление воздуха.

Реакция сгорания водорода: $2H_2 + 2O_2 = 2H_2O + O_2$

~~Масса~~ Количество кислорода в воздухе: $\nu_{O_2} = \omega \nu_2 = 0,23$ моль.

В сосуде 0,05 моль H_2. При сгорании H_2 0,05 моль H_2; 0,05 моль O_2 превратились в 0,05 моль воды (H_2O) и 0,025 моль кислорода (O_2).

~~Кислород~~ Воздуха в сосуде осталось: $\nu_B = \nu_1 - 0,025$ моль $= 0,975$ моль.

Теперь в сосуде 0,05 моль H_2O (ν_{H_2O}); 0,975 моль воздуха (ν_B).

2) $\boxed{V, \nu_{H_2O}, \nu_B, T_1}$ Рассмотрим сосуд после охлаждения содержимого до 20°C; $T_1 = 293K$. Предположим, что вся вода в сосуде в газообразном состоянии. Тогда, по закону Менделеева – Клапейрона:

$p_{H_2O} V = \nu_{H_2O} R T_1$

$p_{H_2O} = \frac{\nu_{H_2O} R T_1}{V}$

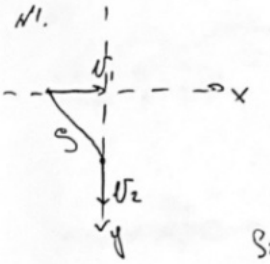
$p_{H_2O} = \frac{0,05 \cdot 8,31 \cdot 293}{1} = 121,74\ Па < p_{нп}$

$f = \frac{p_{H_2O}}{p_{нп}} \cdot 100\% = \frac{121,74}{2330} \cdot 100\% \approx 5\%$.

Ответ: 5%.

Черновик!

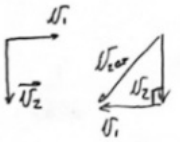
№1.



Перейдем в СО 1:

$v_{2отн} = v_{2абс} - v_{2пер}$

$v_1 - ?$



$\frac{\cancel{36}\cdot 1000}{3600} = 10$

$v_{2от}^2 = v_1^2 + v_2^2$

$S_{2от} = \sqrt{v_1^2+v_2^2}\,\tau$

$S_2^2 = S^2 + S_{2от}^2 = S^2 + (v_1^2+v_2^2)\tau^2 = 2S$

$S^2 + (v_1^2+v_2^2)\tau^2 = 4S^2$

$3S^2 = (v_1^2+v_2^2)\tau^2$

$v_1^2 + v_2^2 = \frac{3S^2}{\tau^2}$

$v_1^2 = 3\left(\frac{S}{\tau}\right)^2 - v_2^2$

$v_1 = \sqrt{3\left(\frac{S}{\tau}\right)^2 - v_2^2} = \sqrt{3(10)^2 - 100} = \sqrt{200} = 10\sqrt{2}\ \frac{м}{с} = \frac{10\sqrt{2}\cdot 3600}{1000} = 36\sqrt{2}\ \frac{км}{ч}$

293 × 8,31: 293; 879; 2344; 2434,83

2434,83 × 0,05 = 121,7415

293 × 8,31: 293; 879; 2344; 2434,83

№2.

$V = 0,1\ м^3$

$\nu_1 = 0,05$ моль H_2

$\nu_2 = 1$ моль воздух

$t = 20°C$

$p_н = 2330$ Па

$\omega(O_2) = 0,23$

$R = 8,31$

$f - ?$

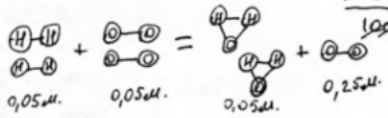
$\nu(O_2) = 0,23$ моль

$2H_2 + 2O_2 = 2H_2O + O_2$

0,05 моль + 0,05 моль = 0,05 моль + 0,025 моль

$2H_2 + 2O_2 = 2H_2O + O_2$

$2H_2$	$2O_2$	$2H_2O$	O_2
0,05м	0,05моль	0,05м.	0,025моль
0,1г	8г	9г	
2	2	2	1
4	32	36	16
m = 4г	m = 64г	m = 36	m = 32
V = 2	V = 2	V = 2	V = 1



$\frac{10\sqrt{2}\cdot 3600}{1000} = 36\sqrt{2}$

233 × 5 = 1165

1000 | 278: 834, 1660, 1390, 2300, 2224 → 0,0358

100 | 27,8 → 0,03

3,14 × 8,85: 1570, 2512, 2512, 27,7890

$\nu = \frac{m}{M}$

121,74 | 2330: 11650, 5240, 4660, 580 → 0,052

0,036

№3.

$m = 10г$

$q = 10^{-6}Кл$

$L = 50см$

$f = 1,4 F_y$

$\varepsilon_0 = 8,85\cdot 10^{-12}$

$(1+x)^\alpha = 1 + \alpha x$

k

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

1) В пол. равновесия: $F_к = F_у$

$x'' = -\omega^2 x$

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

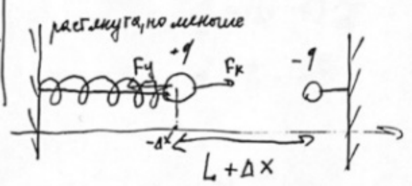
$\frac{kq^2}{L^2} = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2} = k\Delta L$

$\Delta L = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2} = \frac{10^{-12}}{4\cdot 3,14\cdot 8,85\cdot 10^{-12}\cdot 0,5^2} =$

$= \frac{4}{4\cdot 3,14\cdot 8,85} = \frac{1}{27,8}\ м$

$\Delta L = 0,036м = 3,6см$

Сместили на Δx влево:



$F_к \gtrless F_у$

$F_у = k(\Delta L - \Delta x)$ $\quad F_к = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0(L+\Delta x)^2}$

2ЗН: $F_к - F_у = ma$

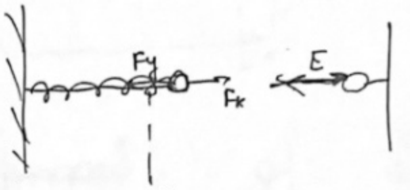
$\cancel{k(\Delta L - \Delta x)} - \frac{q^2}{4\pi}$ $\quad \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{1}{(L+\Delta x)^2} - k(\Delta L - \Delta x) = ma$

Черновик. 2

№3.

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{(L+\Delta x)^2}-k(\Delta L-\Delta x)=ma$$

$2H_2+2O_2=2H_2O+O_2$

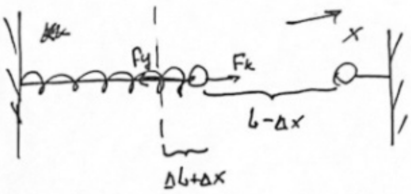


$E=\frac{kq}{r^2}$ $F=\frac{kq^2}{r^2}$, $k=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$

$F_y=F_k$

$k\Delta L=\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2}$

$\Delta L=\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2 k}$



$F_k-F_y=ma_x$

$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0(L-\Delta x)^2}-k(\Delta L+\Delta x)=ma_x$

$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0(L-\Delta x)^2}-\frac{kq^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2 k}-k\Delta x=ma_x$

$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{(L-\Delta x)^2}-\frac{1}{L^2}\right)-k\Delta x=ma_x$

$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{L^2-(L-\Delta x)^2}{L^2(L-\Delta x)^2}\right)-k\Delta x=ma_x$

$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{L^2-L^2+2L\Delta x+\Delta x^2}{L^2(L-\Delta x)^2}\right)-k\Delta x=max$

$x''=-\omega^2 x$

$x''+\omega x-\omega^2 x_1$

ΔL

$\frac{d}{2}=\frac{2FD}{4F}-\frac{lD}{4F}\Big|\cdot 4$

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

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

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

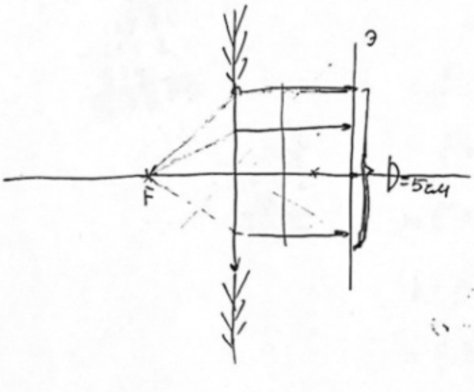
№4.

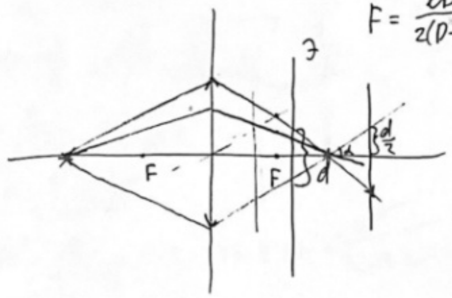
$l=8$ см

$D=5$ см

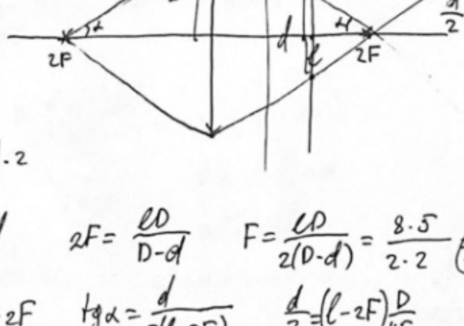
$d=3$ см

$F-?$





$tg\,\alpha=\frac{D}{2\cdot 2F}=\frac{D}{4F}$



$\frac{d}{2}=(2F-l)\,tg\,\alpha$

$\frac{1}{2F}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}$

$f=2F$

$\frac{d}{2}=(2F-l)\frac{D}{4F}=\frac{D}{2}-\frac{lD}{4F}\Big|\cdot 2$

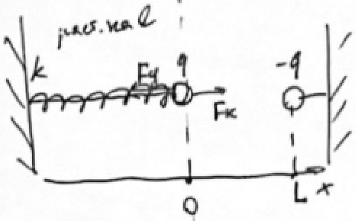
$d=D-\frac{lD}{2F}$ $\frac{lD}{2F}=D-d$ $2F=\frac{lD}{D-d}$ $F=\frac{lD}{2(D-d)}=\frac{8\cdot 5}{2\cdot 2}=10$

$l-2F$ $tg\,\alpha=\frac{d}{2(l-2F)}$ $\frac{d}{2}=(l-2F)\frac{D}{4F}$

$F=\frac{lD}{2(D+d)}=\frac{8\cdot 5}{2\cdot 8}=2{,}5$ $\frac{lD}{F}=2(d+D)$ $2d=\frac{lD}{F}-2D$ $2d=(l-2F)\frac{D}{F}$

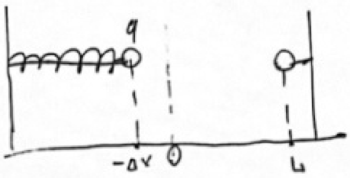
Черновик 3

$$kl = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2} - kl = 0; \quad l = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2 k}$$



$x'' + \omega x = \omega^2 x_1$

$\cancel{L+\Delta x = 0{,}5 + \Delta x = 1 + \Delta x - 0{,}5}$



$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0(L+\Delta x)^2} - k(l_3 - \Delta x) = \frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0(L+\Delta x)^2} - \underbrace{\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 L^2}}_{const} + k\Delta x = ma_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{(L+\Delta x)^2} - \frac{1}{L^2}\right) + k\Delta x = ma_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 m}\left(\frac{\cancel{L^2} - \cancel{L^2} - 2L\Delta x + \Delta x^2}{(L(L+\Delta x))^2}\right) + \frac{k}{m}\Delta x = \cancel{m}a_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 m} \cdot \frac{\Delta x(2L - \Delta x)}{L^2(L+\Delta x)^2} + \frac{k}{m}\Delta x = ma_x$$

$$\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 m \cdot L^{4\,3}}\Delta x \cdot 2\cancel{L} + \frac{k}{m}\Delta x = \cancel{m}a_x$$

$$\frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 m L^3}\Delta x + \frac{k}{m}\Delta x = a_x \qquad x'' = -\omega^2 x$$

$$\Delta x\left(\frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 m L^3} - \frac{k}{m}\right) = a_x$$

$$x'' = -\left(\frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 m L^3} + \frac{k}{m}\right)x$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 m L^3}}$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 m L^3}} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

$$f^2 = \left(\frac{k}{m} - \frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 m L^3}\right)\frac{1}{4\pi^2}.$$

$$m \cdot f^2 \cdot 4\pi^2 = k - \frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 L^3}$$

$$k = mf^2 \cdot 4\pi^2 + \frac{q^2}{2\pi\varepsilon_0 L^3} = 10^{-2} \cdot 1{,}47^2 \cdot 4 \cdot 3{,}14^2 + \frac{10^{-12}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot \left(\frac{1}{4}\right)^3} =$$

$$= 0{,}852 + \frac{64}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85}$$

$3{,}14 \cdot 3{,}14$: $1256 + 314 + 942 = 9{,}8596$

$9{,}8596 \cdot 2{,}1609 = 64$

$9{,}86 \cdot 2{,}16$: $5916 + 986 + 1972 = 21{,}2376$

$21{,}3 \cdot 4 = 85{,}2$

$3{,}14 \cdot 8{,}85$: $1570 + 2512 + 2512 = 27{,}7890$

$1{,}47 \cdot 1{,}47$: $1029 + 588 + 147 = 2{,}1609$

$18 \cdot 64$: $72 + 108 = 1152$

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

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \qquad \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} = 2k = 18 \cdot 10^{9}$$

$k = 9 \cdot 10^9$

$$= \frac{\Delta x(2L - \Delta x)}{L^2(L-\Delta x)^2} = \frac{\Delta x(1+\Delta x)}{L^2(L-\Delta x)^2} = \frac{\Delta x + \Delta x^2}{L^4}$$

$a_x = -\omega^2 x$

$1470 : 986 = 0{,}14$; 986; 4840; 3944; 8960

$ma_x = -k\Delta x$

$a_x = -\frac{k}{m}\Delta x$

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

$2 \cdot 10^{-12} \cdot 8 \cdot 10^9$

3080; 240; $0{,}0375$; 600; 560; 40

$0{,}15 : 4$

$\frac{15^3}{100 \cdot 4}$

20

$4L\Delta x + \Delta x(L - \Delta x)$

$986 \cdot 4 = 3944$