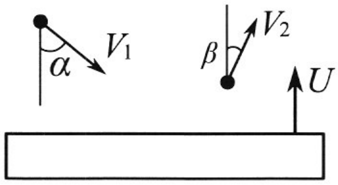
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

Класс 11 **Вариант 11-02**

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость V_1 = 6 м/с, направленную под углом $\alpha\left(\sin\alpha = \dfrac{2}{3}\right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta\left(\sin\beta = \dfrac{1}{3}\right)$ с вертикалью.



1) Найти скорость V_2.

2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

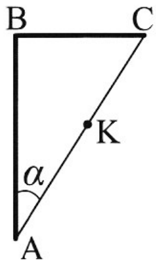
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия T_1 = 330 К, а неона T_2 = 440 К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. R = 8,31 Дж/(моль·К).

1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

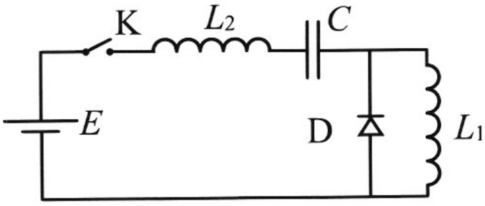
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?

2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2.

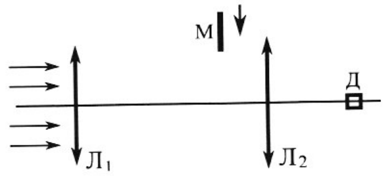


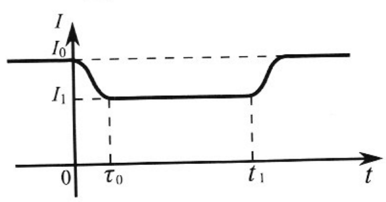
1) Найти период T этих колебаний.

2) Найти максимальный ток I_{01}, текущий через катушку L_1.

3) Найти максимальный ток I_{02}, текущий через катушку L_2.

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз Л$_1$ и Л$_2$ (см. рис.) с фокусными расстояниями F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1{,}5F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D, причем D значительно меньше F_0. На линзу Л$_1$ падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе Д, на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень М, плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $5F_0/4$ от Л$_1$. На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.





1) Найти расстояние между линзой Л$_2$ и фотодетектором.

2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1

Дано:

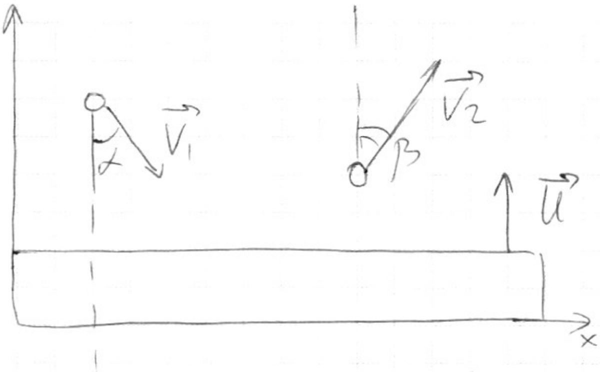
$V_1 = 6$ м/с

$\sin\alpha = \frac{2}{3}$

$\sin\beta = 1/3$

1) V_2 — ?

2) U — ?



В СО плиты шарик подлетает к плите со скоростью $\vec{V_1} - \vec{U}$.

Т.к. плита гладкая, а удар абсолютно упругий, скорость шарика после удара по оси Oy

$V_{2y\,отн} = V_{1y} + U$ (3), а по оси Ox

$V_{2x} = V_{1x}$ (1) В лабораторной СО

$V_{2y} = V_{2y\,отн} + U$ (2) — скорость шарика по оси Oy. Из (1) => $V_2 \cdot \sin\beta = V_1 \sin\alpha$

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 6 \text{ м/с} \cdot \frac{2/3}{1/3} = 12 \text{ м/с}$$

Из (2) и (3) => $V_2 \cdot \cos\beta = V_1 \cos\alpha + 2U$

$$U = \frac{V_2 \cdot \cos\beta - V_1 \cos\alpha}{2} = \frac{12 \text{ м/с} \cdot 2\sqrt{2}/3 - 6 \text{ м/с} \cdot \sqrt{5}/3}{2} =$$

$= (4\sqrt{2} - \sqrt{5})$ м/с

Ответ: 1) $V_2 = 12$ м/с

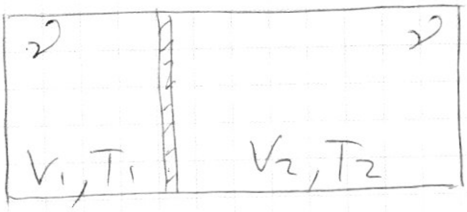
2) $U = (4\sqrt{2} - \sqrt{5})$ м/с

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

(Нумеровать только чистовики)

№2
Дано
$\nu = 6/25$ моль
$T_1 = 330\,K$
$T_2 = 440\,K$
1) V_1/V_2 — ?
2) T' — ?
3) Q — ?



т.к. поршень медленно двигался, силы давлений в ~~нач~~ процессе были равны: УМК для неона и гелия:

$$p_0 V_1 = \nu R T_1$$
$$p_0 V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{440K}{330K} = \frac{4}{3} \approx 1{,}33$$

т.к. в начале и в конце ~~Е~~ кинет. эн-я поршня равна 0, из ЗСЭ для системы газы + поршень

$$c_V \nu T_1 + c_V \nu T_2 = 2 c_V \nu T'$$
$$T'_2 = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{770K}{2} = 385\,K$$

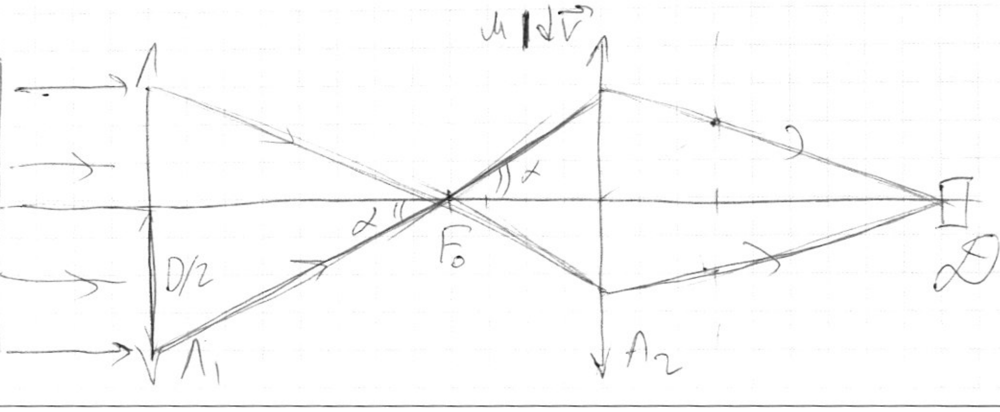
Ответ: 1) $V_1/V_2 = 0{,}75$

2) $T' = 385\,K$

3)

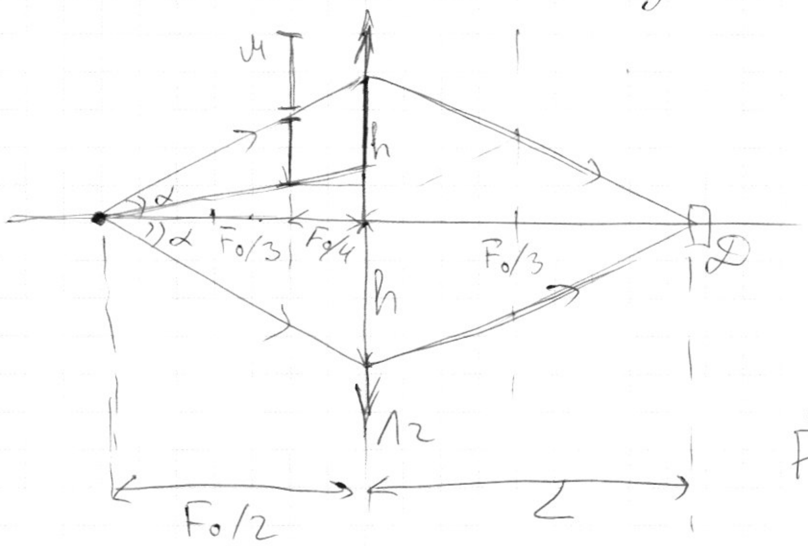
№5 Дано:
F_0, D, τ_0

1) L — ?
2) V — ? 3) t_1 — ?



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Заменим начальную систему на



~~Т.к. интенсивность ~ площади~~
~~$I \sim S$~~

Из ФТЛ:

$$\frac{1}{F_0/2} + \frac{1}{L} = \frac{1}{F_0/3}$$

$$L = F_0$$

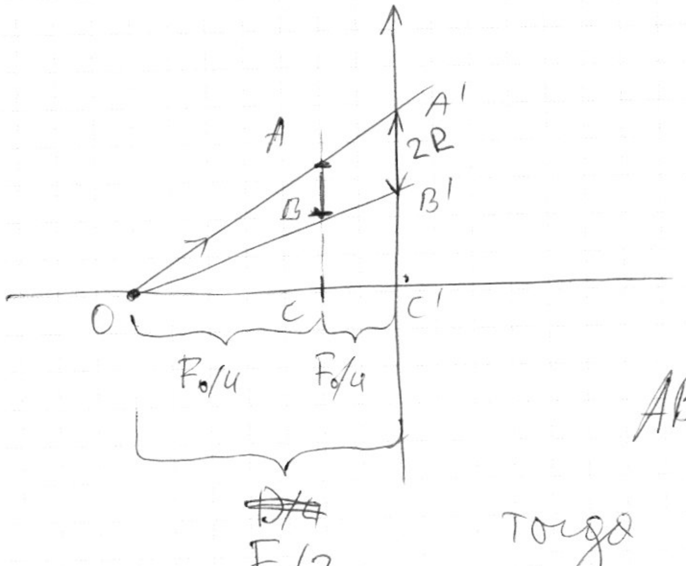
Т.к. интенсивность ~ S (площадь), то I (сила тока) ~ S. Следовательно, имеем $\frac{I_0}{I_1} = \frac{S_0}{S_0 - S'}$, где S_0 – площадь круга радиусом h, S' – площадь ~~мишени~~ тени

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{9}{8} = \frac{\pi \cdot \left((F_0/2)\cdot \frac{D/2}{F_0}\right)^2}{\pi\left(\frac{F_0}{2}\cdot\frac{D}{2F_0}\right)^2 - \pi R^2} = \frac{D^2/16}{D^2/16 - R^2} =$$

$$= \frac{D^2}{D^2 - 16R^2}$$ откуда $R = \frac{1}{12}D$ (R – радиус тени мишени)

~~Тогда промежуток x_0 в 2R мишень прошла за τ_0 $\Rightarrow$ $V = \frac{D/6}{\tau_0}$~~

Рассмотрим процесс подробнее



из подобия ΔAOC и $\Delta A'OC'$ и ΔOBC и $\Delta OB'C'$:

$2AC = A'C'$

$2BC = B'C'$

$AB = AC - BC = \frac{1}{2}(2R) = \frac{D}{12}$

тогда AB мишень прошла за τ_0 $\Rightarrow$ $V = \frac{D}{12\tau_0}$

За промежуток времени $t_1 - \tau_0$ мишень прошла $S = V(t_1 - \tau_0)$

$S = \cancel{h+h}\ BC + AC = 2AC - AB = h - \frac{D}{12}$

$S = F_0/2 \cdot \frac{D/2}{F_0} - \frac{D}{12} = \frac{D}{6}$

$t_1 - \tau_0 = \frac{D}{6} \cdot \frac{12\tau_0}{D} = 2\tau_0$

$t_1 = 3\tau_0$

Ответ: 1) $L = F_0$

2) $V = \frac{D}{12\tau_0}$

3) $t_1 = 3\tau_0$

N 4

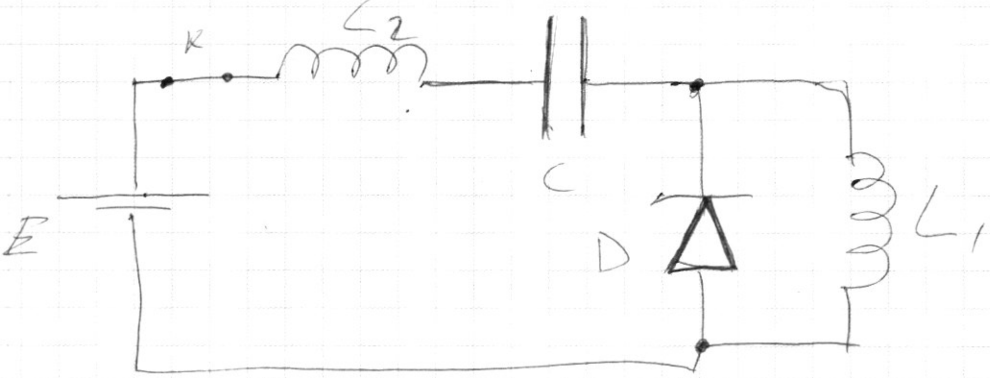
Дано

$\mathcal{E}$, $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, C

1) T - ?

2) I_{01} - ? 3) I_{02} - ?

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Пока ток не идёт через диод справедливо II пр-ло Кирхгофа:

$$E = L_2 \ddot{q} + L_1 \ddot{q} + q/C$$

~~решение~~

или $$\frac{E}{L_1+L_2} = \ddot{q} + q\frac{1}{C(L_1+L_2)}$$

откуда $\omega = \sqrt{\frac{1}{C(L_1+L_2)}}$, (циклич. частота),

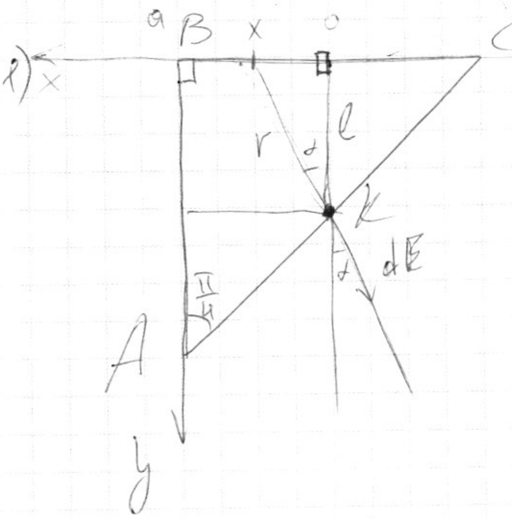
а $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)}$

Ответ: 1) $T = 2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)} = 2\pi\sqrt{5CL}$

2) см. на стр 6, 7, 8

3) см. на стр 6, 7, 8

№3 1) E_Σ / E_y - ? 2) B'/B_0 - ?



~~Элемента~~

Напряженность, создаваемая тонким стержнем ~~вдоль оси~~ dq

$$dE = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} = \frac{2\lambda}{r}k,$$

$$\lambda = \frac{dq}{dl} \qquad \lambda = \frac{\sigma S}{dl} = \sigma$$

$$dE_y = \frac{2\lambda k}{r}\cdot\cos\alpha, \quad r = \frac{l\,d\alpha}{\cos\alpha} \qquad \lambda = \sigma a$$

$$dE_y = \frac{2\lambda k}{l}\cos^2\alpha$$

$$E_y = \frac{2\lambda k}{l}\int_0^{\pi/4}\frac{1+\cos 2\alpha}{2}\,d\alpha = \frac{2\lambda k}{l}\left(\frac{\pi}{8}+\frac{\sin\frac{\pi}{2}}{4}\right) =$$

$$= \frac{2\sigma a k}{l}\cdot\frac{\pi+2}{8} = \frac{\sigma k}{4}(\pi+2)$$ – напряженность, создаваемая одной пластиной в точке K

$$l = a/2$$

Тогда если зарядить две пластины

$$E_\Sigma = \sqrt{2}\,E_y$$

Откуда $E_\Sigma / E_y = \sqrt{2}$

Ответ: 1) $E_\Sigma / E_y = \sqrt{2}$

№4

~~В~~ Сразу после достижения максимума ток в катушке L, ~~E_{01} = max~~ из ЗСЭ в момент максимума ~~I~~ силы токов

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

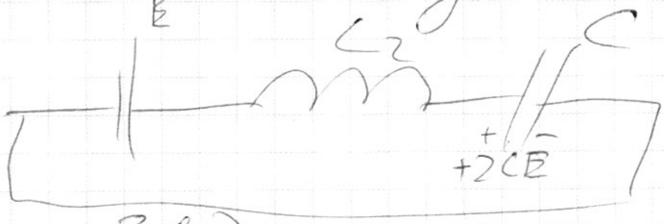
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$CE^2 = \frac{CE^2}{2} + \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_1^2}{2}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{C}{(L_1+L_2)}}\,E = I_{01}$$

После этого в контуре D-L_1 магнитный поток не меняется, ток в цепи постоянен и равен I_{01}, пока C-элемент не зарядится

После зарядки D-элем. будет пропускать ток через себя. => конту эквивалентен



$I_2 \to max$ =>

=> $E = \frac{q}{C}$

Из ЗСЭ

$$E\cdot(-2CE + CE) = \frac{CE^2}{2} - \frac{C\cdot 4E^2}{2} + \frac{L_2 I_{02}^2}{2}$$

$$-CE^2 = \frac{CE^2}{2} - 2CE^2 + \frac{L_2 I_{02}^2}{2}$$

$$CE^2 = L_2 I_{02}^2$$

$$I_{02} = \sqrt{\frac{C}{3L}}\,E$$

Ответ: 2) $\sqrt{\frac{C}{5L}}\,\mathcal{E} = I_{01}$

3) $\sqrt{\frac{C}{3L}}\,\mathcal{E} = I_{02}$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

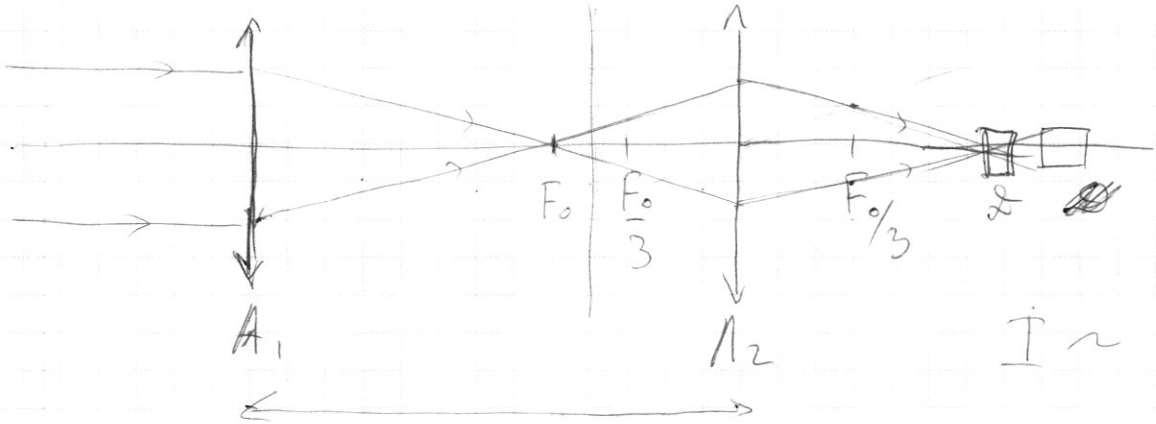
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

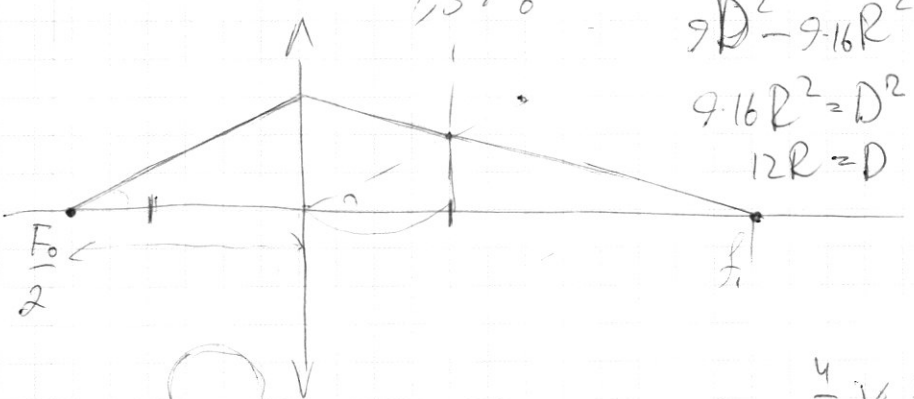
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5 F_0, D, τ_0



$I \sim k \sim S$
?



$9D^2 - 9\cdot 16R^2 = 8D^2$

$9\cdot 16R^2 = D^2$

$12R = D$

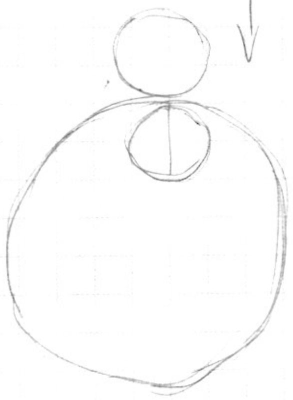
$\frac{1}{F_0/2} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0/3}$

$\frac{1}{f} = \frac{1}{F_0}$ $\quad f = F_0$

$\frac{3}{2} - \frac{1}{3} = \frac{7}{6}$

$\frac{4}{3} \vee \frac{7}{6}$

$8 \vee 7$



$I = \alpha S$ $\quad D' = \frac{D}{3}$

$I_0 = \alpha S_0$

$I_1 = \alpha(S_0 - S')$

$\frac{I_1}{I_0} = 1 - \frac{S'}{S_0} = 1 - \frac{\pi D'^2/4}{\pi R^2} = 1 - \frac{D^2}{D'^2} = \frac{8}{9}$

$D^2 =$ $\quad \frac{I_1}{I_0} = \frac{8}{9} = 1 - \frac{\pi D'^2/4}{\pi D^2/4}$ $\quad D^2/D'^2 = 1/9$

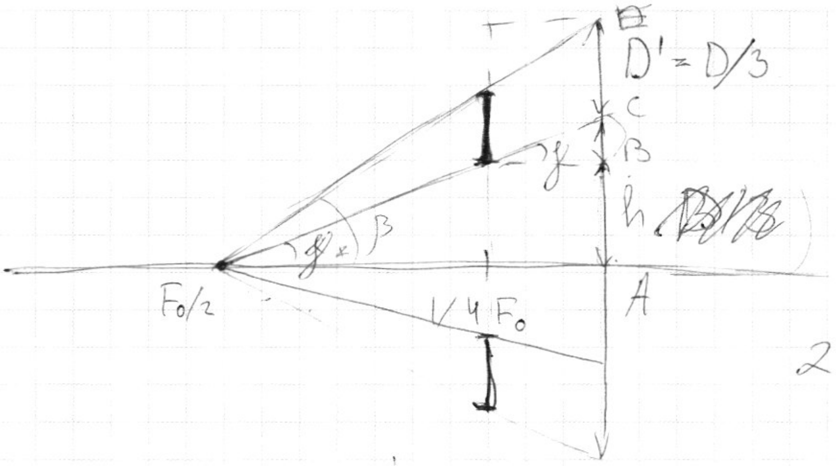
$D'^2 = \frac{1}{9}D^2$

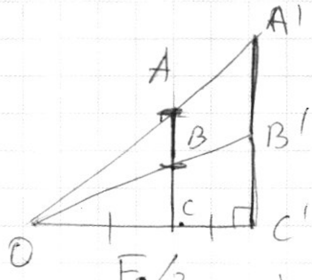
☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)





$$2AC = A'C' = \frac{F_0}{2} \cdot \frac{D}{2F_0} = \frac{D}{4}$$

$$2BC = B'C' = \frac{D}{4} - \frac{D}{6} = \frac{D}{12}$$

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{AC}{F_0/2} = \frac{AB+BC}{F_0/2} = \frac{BC}{F_0/4}$$

$$\cancel{AB + BC = 2BC}$$

$$\cancel{V = \frac{2/3\, D}{\tau_0} = \frac{2D}{3\tau_0}}$$

$$\cancel{AB = BC = \frac{D}{3}}$$

$$\cancel{AB + BC = R - D/3 = \frac{D}{2} - \frac{D}{3} = \frac{D}{6}}$$

$$V = \frac{D/3 + D/12}{\tau_0} = \frac{5}{12} \cdot \frac{D}{\tau_0}$$

$$AB = \frac{D}{12}$$

$$AC = \frac{D}{8}$$

$$AB = \frac{D}{8} - \frac{D}{24} = \frac{D}{12}$$

$$S = D/12 + D/2 = \frac{7}{12} D$$

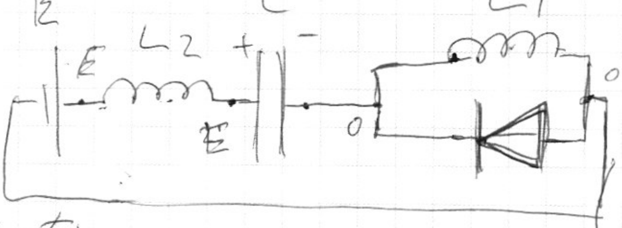
$$t_1 - \tau_0 = \frac{7/12 \cdot D}{5/12\, D/\tau_0} = \frac{7}{5} \tau_0$$

$$t_1 = \frac{12}{5} \tau_0$$

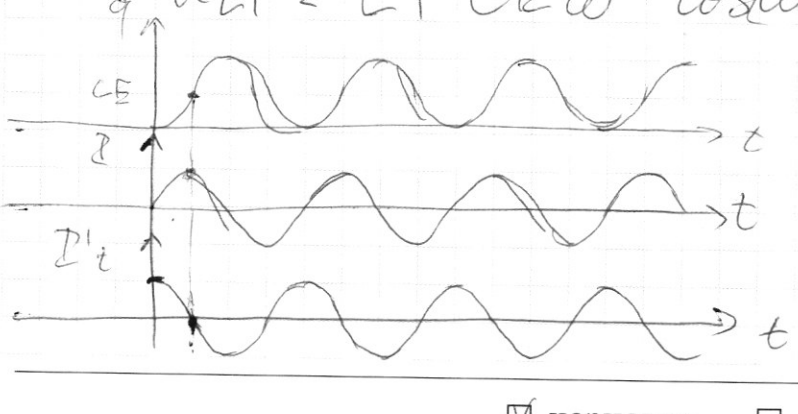
№4 $I = CE\omega \sin(\omega t)$

$I'_t = CE\omega^2 \cos(\omega t)$

$U_{L1} = L_1 CE\omega^2 \cos(\omega t)$



$$\frac{D}{4} - \frac{D}{12} =$$



☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

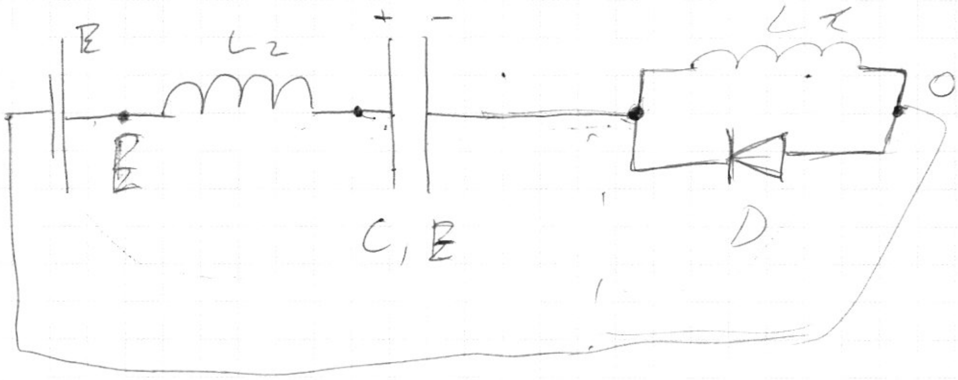
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$E = L_2 \cdot q''_t + q/C$ $\qquad q = EC + B\sin(\omega t' + \varphi_0)$

$q\frac{1}{L_2C} + q''_t = \frac{E}{L_2}$ $\qquad \cancel{q = CE}$

$q'_t = B\omega\cos(\omega t')$

$q''_t = -B\omega^2\sin(\omega t' + \varphi_0')$ $\qquad B\omega = CE\omega$

$q = CE(1 + \sin(\omega t'))$

$\cancel{E} = -L_2B\omega^2\sin\omega t' + \cancel{E} + E\sin\omega t' + U_D$

$U_D = L_2 \cdot \cancel{C}E \cdot \frac{1}{L_2\cancel{C}} \cdot \sin\omega t' - E\sin\omega t' = 0$

$E + 8E$ $\qquad q'_{t=0} = 0 = B\omega\cos\varphi_0$

$q = EC + B\cos(\omega t')$ $\qquad q = (1 - \cos\omega t')CE$

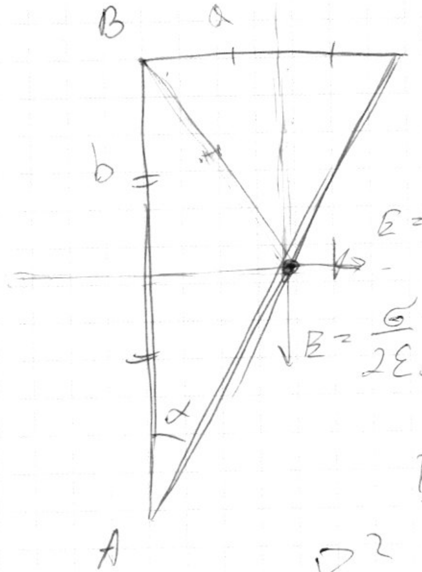
$I = CE\omega \cdot \sin\omega t'$ $\qquad I_{02} = CE \cdot \sqrt{\frac{1}{5LC}}$

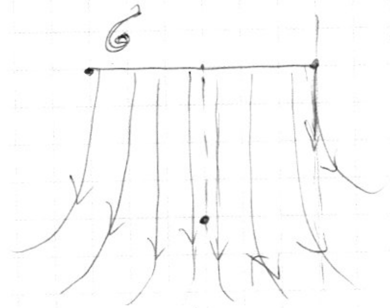
☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

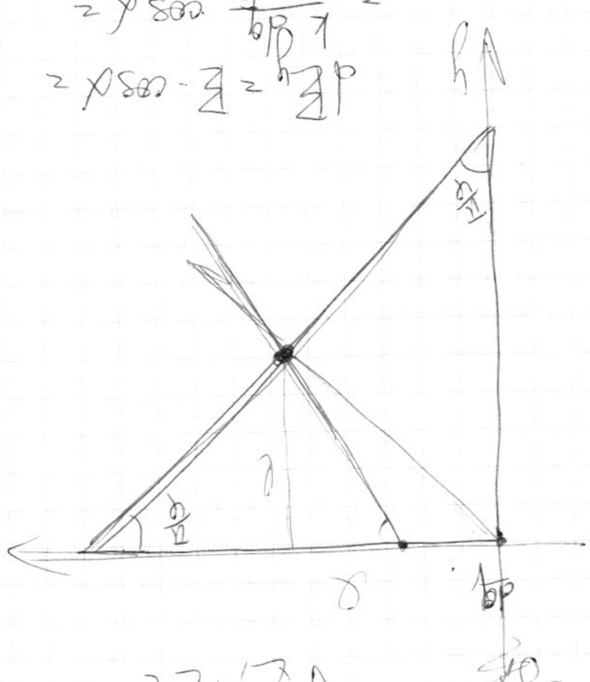


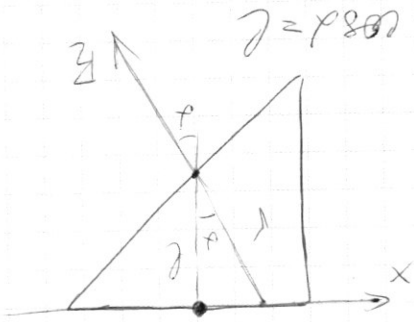


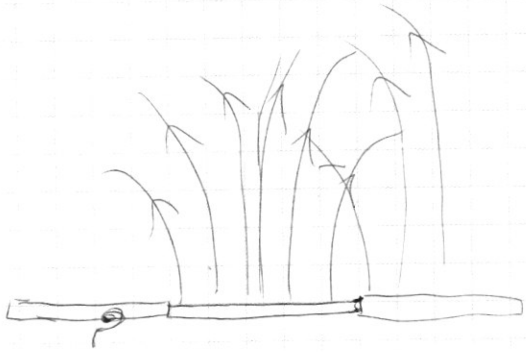
$$E_y = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0}$$

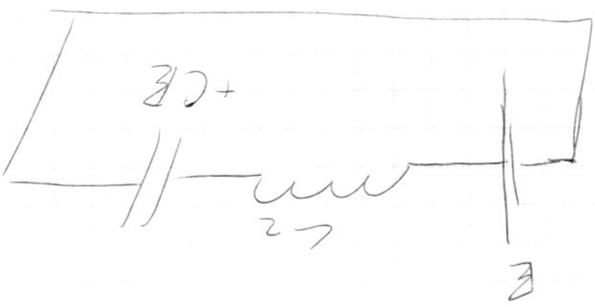
$$E' / E = \sqrt{2}$$

$$E_2^2 = 16\left(\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\right)^2 + \frac{\sigma^2}{(2\varepsilon_0)^2} \Rightarrow E_2 = \sqrt{17}\,\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$







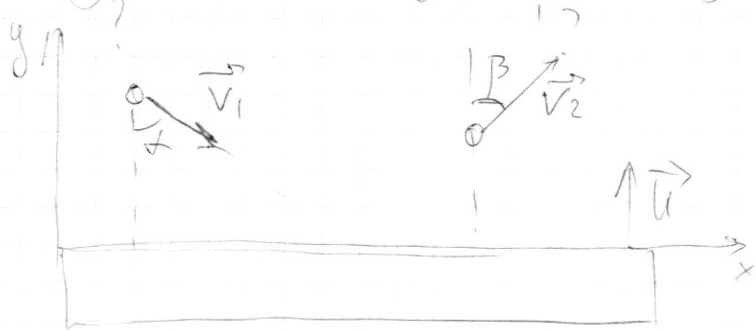


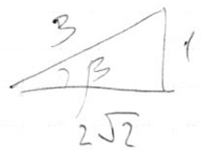
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

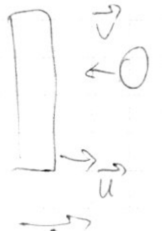
ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1 U ?, V_1, $\sin\alpha = \frac{2}{3}$, V_2 ?, $\sin\beta = \frac{1}{3}$







$\vec{V}_{отн} = \vec{V} - \vec{U}$

$\vec{V}'_{отн} = \vec{U} - \vec{V}$

$\vec{V}_{абс} = \vec{U} + \vec{V}_{отн}$

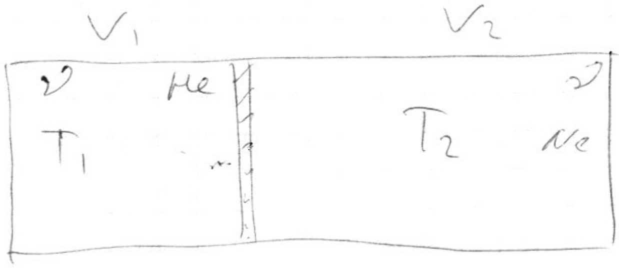
$V_2 \cdot \sin\beta = V_1 \cdot \sin\alpha$

$-\frac{3}{2} + \frac{4}{2}$ $\quad V_2 = V_1 \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 6 м/с \cdot 2 = 12 м/с$ $\quad V_{2y} = 2U + |V_{1y}|$

$V_1 \cdot \cos\alpha + 2U = V_2 \cos\beta$

$U = \frac{12 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} - 6 \cdot \frac{\sqrt{5}}{3}}{2} = 2 \cdot 2\sqrt{2} - \sqrt{5} = 4\sqrt{2} - \sqrt{5}$ м/с

№2



$p_1 V_1 = \nu R T_1$

$p_1 V_2 = \nu R T_2$

$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{44}{33} = \frac{4}{3}$

$p' V_1' = \nu R T'$

$p' V_2' = \nu R T'$

$c_V \nu T_1 + c_V \nu T_2 = c_V \nu T' + c_V \nu T'$

$T' = \frac{T_1 + T_2}{2} = 385 K$

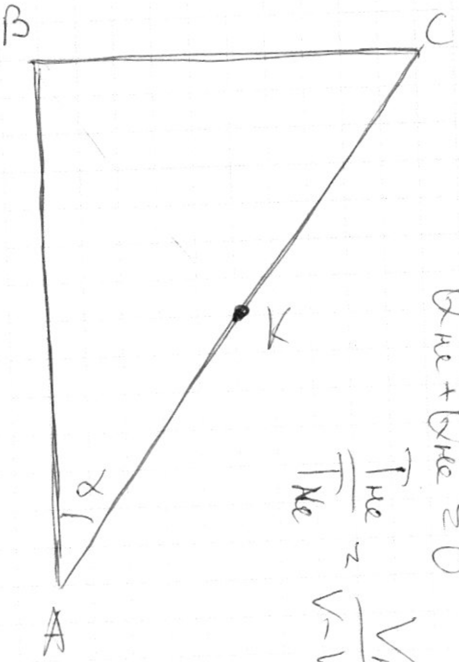
$2 c_V \nu T' - c_V \nu (T_1 + T_2) =$

$Q = \Delta U_{He} + A_{He} = \Delta U_{He} - A_{Ne} = A_Г - A_Г = 0$

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только ...

№3 $E = \dfrac{\sigma}{2\varepsilon_0}$



$pV_{не} = \nu R T_{не}$

$pV_{Не} = \nu R T_{Не}$

$\delta Q = dU + \delta A$

$\delta A = p\,dV = \nu R T_{не} \dfrac{dV}{V_{не}}$

$Q_{не} = \Delta U_{не} + A_{не}$

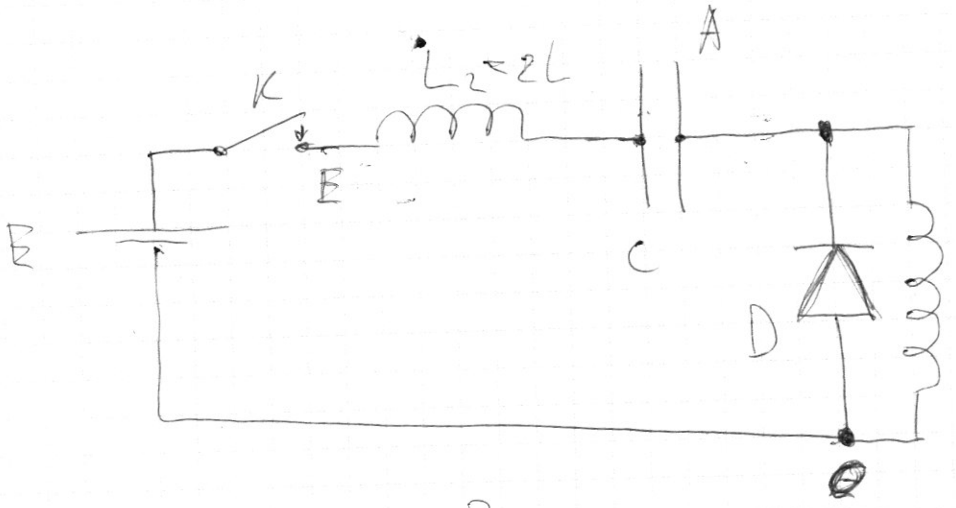
$Q_{Не} = \Delta U_{Не} + A_{Не}$

$Q_{не} + Q_{Не} = 0$

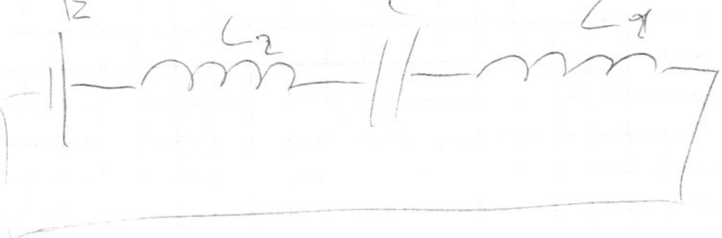
$\dfrac{T_{не}}{T_{Не}} = \dfrac{V_{не}}{V - V_{не}}$

$p = \nu R \dfrac{T_{не}}{V_{не}}$

$p = \nu R \dfrac{T_{Не}}{V - V_{не}}$



$$E(q-0) = \frac{q^2}{2C} \qquad \left[\begin{array}{l} q=0 \\ q = 2CE \end{array}\right. \Rightarrow \begin{array}{l} U_c = 0 \\ U_c = 2E \end{array}$$



$$E = L_2 \frac{dI}{dt} + \frac{q}{C} + L_1 \frac{dI}{dt}$$

$$\frac{E}{L_1+L_2} = q''_t + q\frac{1}{C(L_1+L_2)}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}} \qquad \omega T = 2\pi$$

$$T = 2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)}$$

$$q = EC + A\sin(\omega t + \varphi_0) = CE + A\cos(\omega t)$$

$$q = CE(1-\cos(\omega t))$$

$$U_c = E(1-\cos\omega t)$$