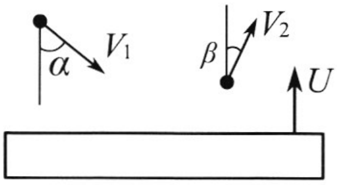
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

Класс 11 **Вариант 11-04**

Шифр
(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 18$ м/с, направленную под углом $\alpha \left(\sin\alpha = \frac{2}{3}\right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta \left(\sin\beta = \frac{3}{5}\right)$ с вертикалью.



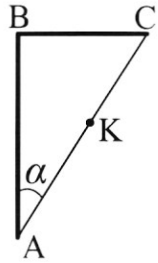
1) Найти скорость V_2.
2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

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 аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона $T_1 = 320$ К, а криптона $T_2 = 400$ 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 аргона и криптона.
2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
3) Какое количество теплоты передал криптон аргону?

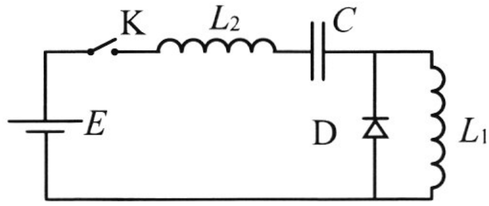
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



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

2) Пластины BC и AB заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = \sigma, \sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. Найти напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC.

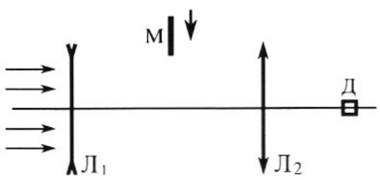
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 5L$, $L_2 = 4L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2.

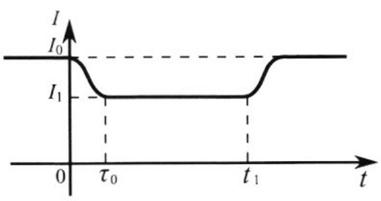


1) Найти период T этих колебаний.
2) Найти максимальный ток I_{01}, текущий через катушку L_1.
3) Найти максимальный ток I_{02}, текущий через катушку L_2.

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз Л$_1$ и Л$_2$ (см. рис.) с фокусными расстояниями $-2F_0$ и F_0, соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. 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 F_0 от $Л_1$. На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 7I_0/16$

.



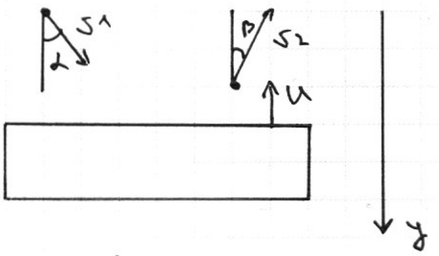


1) Найти расстояние между линзой Л$_2$ и фотодетектором.
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1.

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



Дано:

$v_1 = 18 \frac{м}{с}$,

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

$\sin\beta = \frac{3}{5}$.

Найти:

v_2 - ?

u - ?

Решение:

1) Т.к. ~~доска~~ плита гладкая, то при ударе шарика о неё не существует сил, которая могла бы изменить его скорость в продольном направлении плиты.

Следовательно $v_1 \sin\alpha = v_2 \sin\beta$, $v_2 = \frac{v_1 \sin\alpha}{\sin\beta} =$

$= \frac{18 \cdot \frac{2}{3}}{\frac{3}{5}} = \frac{18 \cdot 10}{9} = 20 \frac{м}{с}$.

2) Известно, что удар неупругий, но неизвестно насколько.

Рассмотрим два случая: удар абсолютно упругий; удар абсолютно неупругий;

найдём для этих случаев скорость u.

Абсолютно упругий

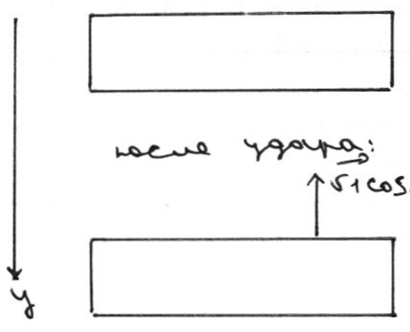
в СО плиты (рассматривается только скорость ⊥ плите)

до удара:

$\overrightarrow{v_1\cos\alpha + u}$

после удара:

$\overrightarrow{v_1\cos\alpha + u}$

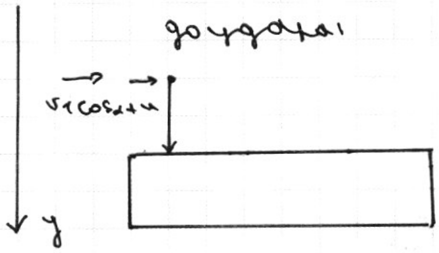


Следовательно

Δv_y в СО плиты: $\Delta v_y = -v_1\cos\alpha - u -$
$- u - v_1\cos\alpha =$
$= -2v\cos\alpha - 2u$.

Абсолютно неупругий удар.
в СО плиты

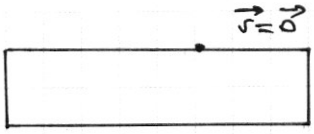
до удара:



$\Delta v_y = 0 - v_1\cos\alpha - u$

$= -v_1\cos\alpha - u$

после удара:



В нашем же случае

$\Delta v_y = -v_2\cos\beta - v_1\cos\alpha$

Абс упруг.	наш случай	абс неупруг.
$-2v\cos\alpha - 2u$	$-v_2\cos\beta - v_1\cos\alpha$	$-v_1\cos\alpha - u$
$2v\cos\alpha + 2u$	$v_2\cos\beta + v_1\cos\alpha$	$v_1\cos\alpha + u$

$\cancel{2v\cos\alpha + 2u > v_2\cos\beta + v_1\cos\alpha > v_1\cos\alpha + u}$

$\cancel{v_1\cos\alpha + 2u \quad v_2\cos\beta \quad u}$

$2v\cos\alpha + 2u_{min} = v_2\cos\beta + v_1\cos\alpha$

$u_{min} = \dfrac{v_2\cos\beta - v_1\cos\alpha}{2} = \dfrac{16 - 18\cdot\frac{\sqrt5}{3}}{2} = 8 - 3\sqrt5\ \frac{м}{с}$

$v_1\cos\alpha + u_{max} = v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta$

$u_{max} = v_2\cos\beta = 16\ \frac{м}{с}$ т.к. шарик в конечном счете остановился в плите

Т.к. удар не упругий, но и не абсолютно неупругий, то

$16\ \frac{м}{с} > u > 8 - 3\sqrt5\ \frac{м}{с}$

Ответ: 1) $v_2 = 20\ \frac{м}{с}$

2) $16\ \frac{м}{с} > u > 8 - 3\sqrt5\ \frac{м}{с}$.

№2

Дано:

$\nu = \frac{3}{5}$ моль,

$T_1 = 320K$,

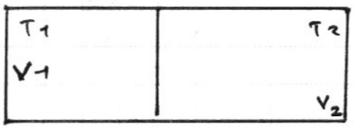
$T_2 = 400K$,

$R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot К}$, $i = 3$.

Найти:

1) $\frac{V_1}{V_2}$, 2) $T_{уст}$, 3) Q - ?

Решение:



1) Т.к. поршень движется медленно, его движение обусловлено теплопередачей между двумя газами, а не разностью сил ~~...~~ со стороны отсеков, действующих на поршень.

Значит в начальный момент времени $P_1 = P_2 = P_0$

$P_0 V_1 = \nu R T_1$

$P_0 V_2 = \nu R T_2$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{4}{5}$

2) Т.к. сосуд теплоизолирован, то суммарная энергия газов остается неизменной.

$\frac{i}{2}\nu R T_1 + \frac{i}{2}\nu R T_2 = \frac{i}{2} 2\nu RT$

$T_1 + T_2 = 2T$, $T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{400+320}{2} = 360 K$.

3) ~~$Q_{отд} = A_2 + \Delta U_2$~~

~~$\Delta U_2 = \Delta U_1$~~

~~$Q_{получ} = -A_1 + \Delta U_1$~~

~~Т.к. когда ...~~

~~проведя работу тело ... работы ... т.к. сосуд ...~~

~~что мы можем сказать, что $\Delta U \ne A$~~

~~$\Delta U_2 - \Delta U_1 = \Delta U$~~

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 3 (Нумеровать только чистовики)

3) Т.к. в конечном счете $E_n = 0$, то

суммарная работа газов 0.

Криптон совершил работу и отдал тепло

↓ аргон совершил отриц. работу

↓ аргон получил тепло

↓ т.к. поршень остановился то $A_r = A_{kr}$

↓ сосуд теплоизолирован ⇒ аргон нагрелся (адиабатический процесс).

$Q_{отр} = \Delta U_{2ар} - \Delta U_{1ар} =$

$= \frac{i}{2} \nu R T - \frac{i}{2} \nu R T_1$

$= \frac{i}{2} \nu R (T - T_1) = \frac{3}{2} \cdot \frac{3}{5} \cdot 8{,}31 \cdot 40 = 36 \cdot 8{,}31 = 299{,}16$ Дж ≈ 300 Дж.

$$\begin{array}{r} 831 \\ \times\ 36 \\ \hline 4986 \\ 2493 \\ \hline 29916 \end{array}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3.

Дано:

1) $\alpha = \frac{\pi}{4}$

2) $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = \frac{2\sigma}{7}$, $\alpha = \frac{\pi}{9}$.

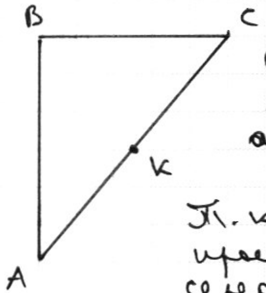
Найти:

1) $\frac{E_2}{E_1}$ – ?

2)

Решение:

1) ① Т.к. $\alpha = \frac{\pi}{4}$, то $AB = BC$



След. пластины AB и BC полностью одинаковы.

Т.к. точка K проецируется на середины пластин то в силу симметрии $\vec{E}_{AB} \perp AB$

$\vec{E}_{BC} \perp BC$, а т.к. пластины одинаковые, то

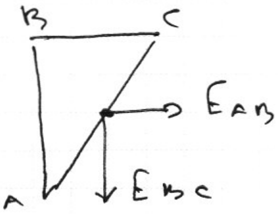
$E_{AB} = E_{BC} = E$

Пусть когда заряжена одна пластина поле в точке K равно $E_1 = E$, тогда когда заряжены две: $E_2 = \sqrt{E^2 + E^2} = \sqrt{2}\,E$

Следовательно $\frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2} \approx 1{,}4$.

2)

поле от пластины: $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = E$ (пластины бесконечные → поле не зависит от расстояния)



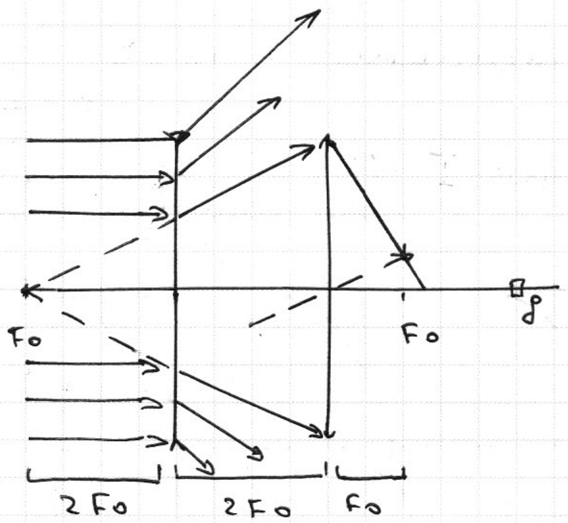
$E_{AB} = \frac{2\sigma}{7 \cdot 2\varepsilon_0}$ $E_{BC} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\sqrt{\frac{2^2}{7^2} + 1}$$

$$= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\sqrt{\frac{5}{49}} = \frac{\sigma}{14\varepsilon_0}\sqrt{5}.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5



Решение:

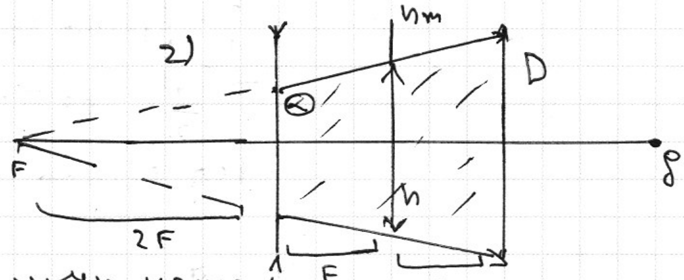
1) $\frac{1}{d} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F}$

$-\frac{1}{4F_0} + \frac{1}{F_0} = \frac{1}{f}$

$\frac{4}{4F_0} - \frac{1}{4F_0} = \frac{1}{f}$

$\frac{3}{4F_0} = \frac{1}{f}$

$f = \frac{4}{3}F_0$



Все лучи, которые проходят через детектор преломляются в линзе собирающей.
⊗ - область этих лучей.
След. когда M в этой области $I < I_0$

$h = 2 \cdot \frac{D}{2 \cdot 4F} \cdot 3F = \frac{3}{4}D$.

$T_0 = \frac{h_m}{v}$, т.к. $I_7 = \frac{7}{16}I_0$ - ток когда вся пластина в области,

то $\frac{h_m}{h} = \frac{I_0 - \frac{7}{16}I_0}{I_0} = \frac{9}{16}$

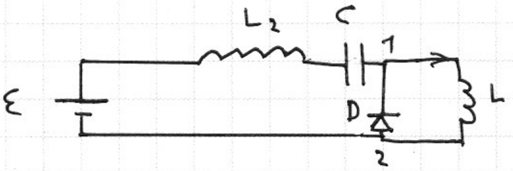
$h_m = \frac{9}{16} \cdot \frac{3}{4}D = \frac{27}{64}D$.

$v = \frac{h_m}{T_0} = \frac{27D}{64T_0}$.

$$t_1 = \frac{h}{v} = \frac{h\cdot 64 T_0}{27\, D} = \frac{\cancel{64}^{16}}{\cancel{27}_{9}\, \cancel{D}_1} T_0 \cdot \frac{\cancel{3}^{1}\, \cancel{D}^{1}}{\cancel{4}_1} = \frac{16}{9} T_0 .$$

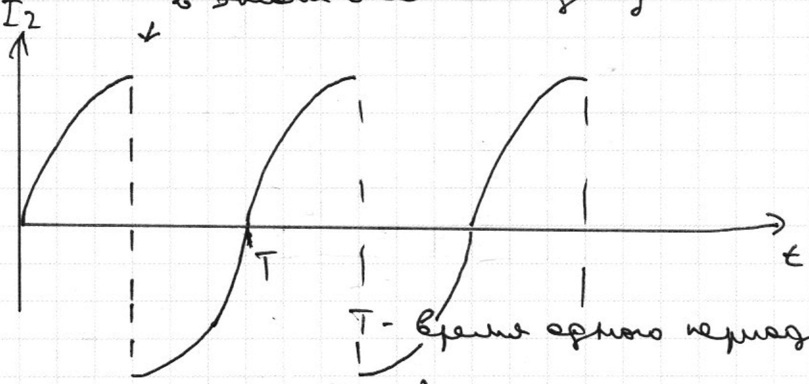
№4.

Диод идеальный – $U_D = 0$



Нарисуем $I_2(t)$

в этот момент диод начинает пропускать ток ($\varphi_2 > \varphi_1$)



T – время одного периода.

$T = \frac{T'}{2}$, где T' – период колебаний системы

Без диода $T' = 2\pi\sqrt{(4L+5L)C} =$

$= 6\pi\sqrt{LC} \Rightarrow T = 3\pi\sqrt{LC}$.

2) I_{01} max, когда $q_C = C\varepsilon$

$$\frac{L_2 I_{01}^2}{2} + \frac{L_1 I_{01}^2}{2} + \frac{C\varepsilon^2}{2} = C\varepsilon^2$$

$$\left(\frac{L_2+L_1}{2}\right) I_{01}^2 = \frac{C\varepsilon^2}{2}$$

$$I_{01}^2 = \frac{C\varepsilon^2}{L_2+L_1}$$

$$I_{01} = \frac{\varepsilon}{3}\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

3) $$\frac{L_2 I_{02}^2}{2} + \frac{C\varepsilon^2}{2} = C\varepsilon^2$$

$$I_{02} = \frac{\varepsilon\sqrt{5}}{5}\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

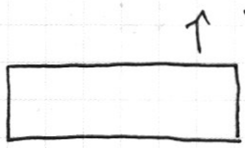
№1.

$v_1 = 18 \frac{м}{с}$

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

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

v_2, $\sin\beta = \frac{3}{5}$.



Поверхность гладкая ⇒ потери в ∥ скорости нет.

абс. упр.

$\Delta v = 2u$

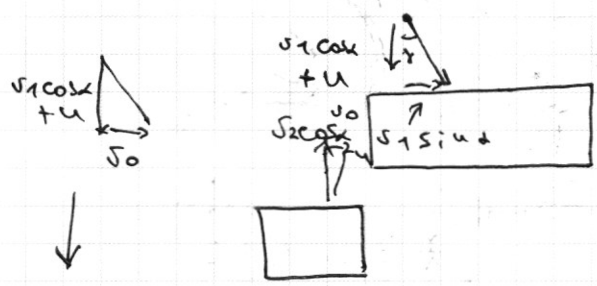
абс. неупр.

$\Delta v = v_1\cos\alpha + u$.

$v_1 \sin\alpha = v_2 \sin\beta$.

$18 \cdot \frac{2}{3} = v_2 \cdot \frac{3}{5}$ $\quad 5 \cdot \frac{18}{3} \cdot \frac{2}{3} = v_2$

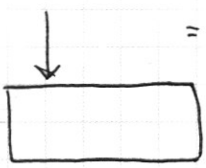
$5 \cdot \frac{\overset{2}{\cancel{18}} \cdot 2}{\cancel{3}_1} = 20 \frac{м}{с}$.



$\Delta v = v_1\cos\alpha + u - v_2\cos\beta + u$

$= 2u + v_1\cos\alpha - v_2\cos\beta$

$v_1\cos\alpha + u - v_2\cos\alpha$

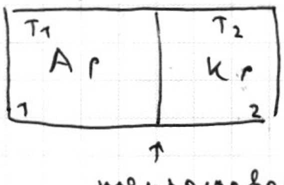


№2.

Ar, Kr – одноатомные

$\nu = \frac{3}{5}$ моль. $\quad T_1 = 320\,K$

$T_2 = 400\,K$



теплопроводящий.

$Q \neq 0$ ⇒ ~~процесс~~

$P_1V_1 = \nu RT_1$

$P_2V_2 = \nu RT_2$

т.к. изменение происходит медленно → изотермический, а не разность давлений, поэтому $P_1 = P_2 = P_0$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$

$P_0 \frac{5}{9} V = \nu RT_2$

$P_0 \frac{4}{9} V = \nu RT_1$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{320}{400} = \frac{4}{5}$. $\quad V_1 + V_2 = V$

$\frac{4}{5}V_2 + V_2 = V$

$V_2(1 + \frac{4}{5}) = V$

$P\frac{V}{2} = \nu RT$

$PV_I = \nu RT \quad V_I = V_{II} = \frac{V}{2}$

$V_2 = \frac{5V}{9}$

$\frac{i}{2}\nu RT_1 + \Delta$

$PV_{II} = \nu RT$

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

~~Атом~~

$$\frac{i}{2}\nu RT_1 + \frac{i}{2}\nu RT_2 = \frac{i}{2}\cdot 2\nu RT$$

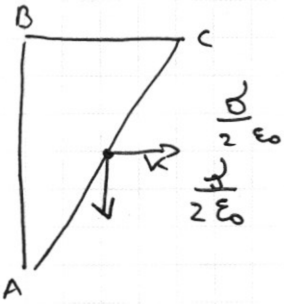
$$P\frac{V}{2} = \nu RT$$

$$P_0\,\frac{5V}{9} = \nu RT_2$$

$$\nu RT_1 + \nu RT_2 = 2\nu RT$$

$$T_1 + T_2 = 2T,\quad T = \frac{T_1+T_2}{2} = 360\,K. \qquad Q = \Delta U +$$

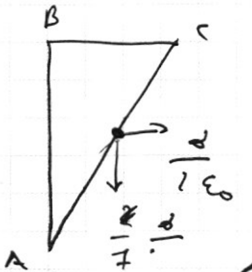
№3.



$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

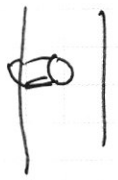
$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$$



$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$\frac{\cancel{4}}{7}\cdot\frac{\sigma}{}$$



$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \quad \frac{E\cdot 2\pi r^2}{} = \frac{\cancel{\sigma\cdot 2\pi r^2}}{\varepsilon_0}$$

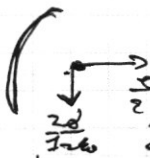
?

$$1^2 + \frac{4^2}{49}$$

$$\frac{53}{49}$$

$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = E$$

№4

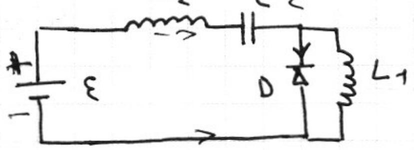


$$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \quad \frac{2\sigma}{7\cdot 2\varepsilon_0}$$

$$\frac{\cancel{\sigma}}{\cancel{2\varepsilon_0}}\cdot\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$L_1 = \cancel{\pi},\ L_2 = 4L,\ C$$

$2a$ $\frac{q}{C}$



$u_{max} = 16$

$u_{min} =$

$$L_0 = L_2 + L_1 = 9L\ -?$$

$$\frac{4}{5}v_2 = v\sqrt{\frac{8}{5}}$$

$$C =$$

$$T = 2\pi\sqrt{9LC} = 6\pi\sqrt{LC}\ -?$$

абсолютн для

$$u + v_1\cos\alpha = \Delta v = \frac{\sqrt{5}}{3}v_1 + \frac{4}{5}\cdot v_2 = 2v + 2u$$

$$u = \frac{4}{5}v_2 = v + 2u$$

$$\cancel{\Delta v} = \cancel{v_1\cos\alpha + u}$$

№1

$$\Delta v = v_{2x} - v_{1x}$$

$$= v_2\cos\alpha - u - (v_1\cos\alpha - u)$$

$v_1\cos\alpha$ до:

u

после: $v_2\cos\alpha$

u

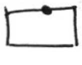
x

$$v_2\cos\alpha - u + v_1\cos\alpha + u$$

$$= v_2\cos\alpha + v_1\cos\alpha$$

$v_1\cos\alpha$

u

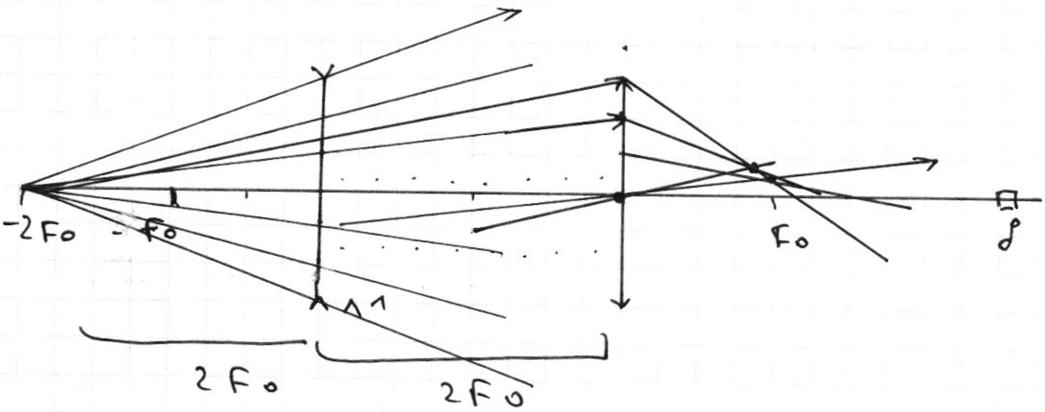


v_1

u

$$v_1\ u\ \Delta_x = v_1 u + v_1 + u = 2v\ \cancel{4}{+}2u$$

$\Delta v \quad u + v_1\cos\alpha$



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

~~$I_1 = \frac{7 I_0}{16}$~~

$$\frac{1}{4F_0}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F_0}$$

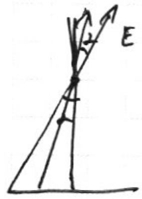
~~$I_2 = \frac{9}{16} I_0$~~

~~$h = \frac{9}{16} D.$~~

$$\frac{1}{f}=\frac{3}{4F_0}$$

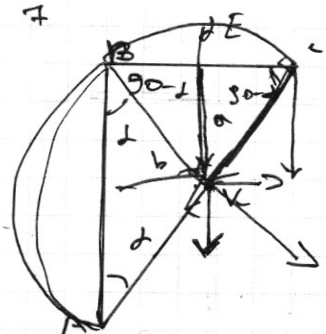
~~$I_0 = \frac{9}{16\rho} D$~~

$$f=\frac{4}{3}F_0$$



$\sigma_1 = \sigma$

$\sigma_2 = \frac{2\sigma}{7}$

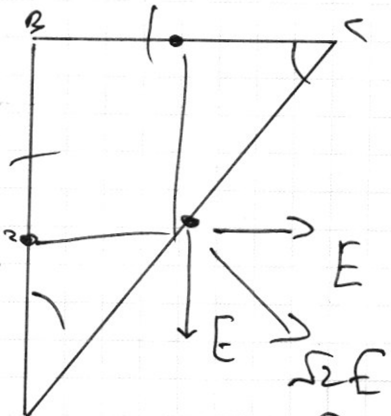


$\sigma = \cos\frac{\pi}{9} R$

$E_1 = \frac{\alpha\sigma}{\cos\frac{\pi}{9} R^2}$

$E_2 = \frac{2\alpha\sigma}{7\cos\sin\frac{\pi}{9} R^2}$

$E_1 = \frac{k q_1}{r^2}$

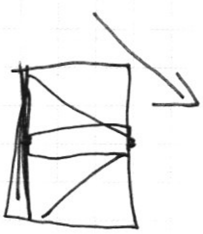


A у вел в $\sqrt{2}$ раз $=$ ~~1,4~~ 1,41

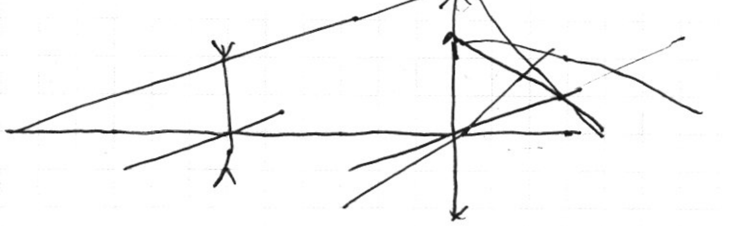
$\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

$\downarrow$ σ $\quad E = \frac{\alpha^2\sigma^2}{R^2}\left(\frac{4}{49\sin^2\frac{\pi}{9}}+\frac{1}{\cos\frac{\pi}{9}}\right.$

$= k q_1 \int^{r} \frac{1}{r^2}$



E.

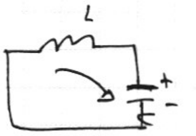


☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$L\frac{dJ}{dt} = \frac{q}{C}$$



$Q_{окр} = -\Delta U + A$

$Q_{пол} = +\Delta U - A$

$Q_{пол} = \Delta U + A$

$$\frac{q}{C} + L\frac{dJ}{dt} = 0$$

$$\frac{q}{C} + L\ddot{q} = 0$$

$$\frac{q}{LC} + \ddot{q} = 0$$

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

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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{1}{\frac{1}{LC}}} = 2\pi\sqrt{LC}$$

$Q_{пол} + Q_{окр} = 0$

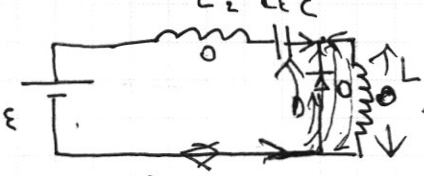
$\Delta U - \Delta U = 0$

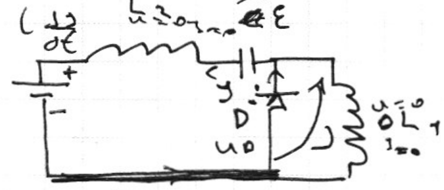
$\Delta U = \Delta U$

A

$-2C\mathcal{E}$

$\frac{LdJ}{dt}$





$U = U_0 + Q$

$= U_0 + \Delta U + A$

3π $q = C\mathcal{E}$

$\Delta U + A =$

$W_1 = 0$ $A_{AC} = -A$ $Q_{пол} = \Delta U + A$

$$-\frac{L_1 dJ}{dt} = -U_D$$

$$W_2 = \frac{L_2 J^2}{2} + \frac{L_1 J^2}{2} + \frac{C^2\mathcal{E}^2}{2C}$$

$$\frac{LdJ}{dt} = U_D$$

$A = \mathcal{E} q$

$Q_{пол} = \Delta U + A_{AC} = \Delta U$

$$\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{L_1 + L_2}{2} J^2$$

$$C\mathcal{E}^2 = (L_1 + L_2)J^2 \qquad J^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{L_1 + L_2}$$

U_D

$$\mathcal{E} + L_2\frac{dJ_2}{dt} + L_1\frac{dJ_1}{dt} = U_C$$

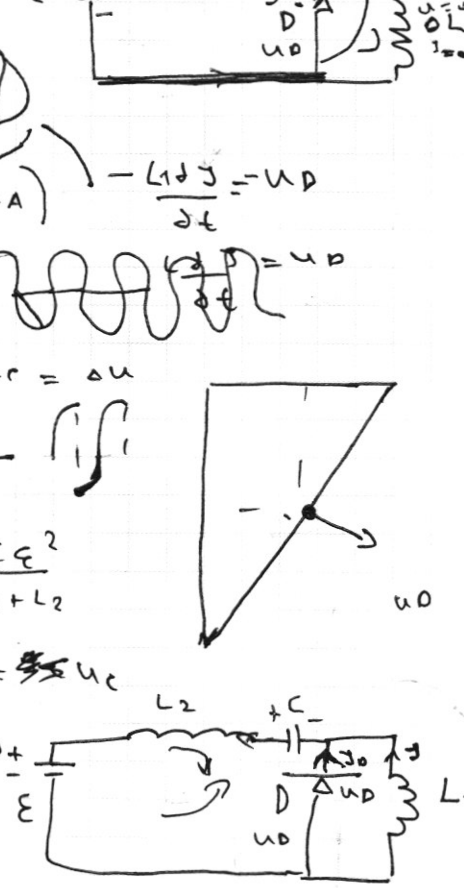
$$\mathcal{E} + L_2\frac{dJ_2}{dt} + L_1\frac{d\mathcal{E}J_1}{dt} = U_C$$

$$J_2 = J_1 + J$$

при $L_1\frac{dJ_1}{dt} = U_D$

$$\mathcal{E} + L_2\frac{dJ}{dt} = U_C + U_D$$

$$U_D = \mathcal{E} + L_2\frac{dJ_2}{dt} - U_C$$



$U_D = const$