Адрес

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

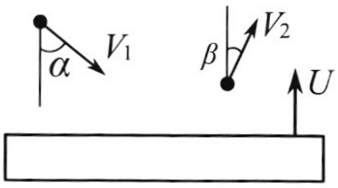
Класс 11

Вариант 11-01

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 8$ м/с, направленную под углом $\alpha \left(\sin\alpha = \dfrac{3}{4} \right)$ к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2, составляющей угол $\beta \left(\sin\beta = \dfrac{1}{2} \right)$ 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.

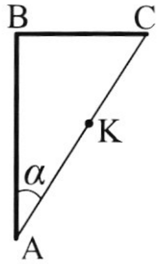
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится азот, во втором – кислород, каждый газ в количестве $\nu = 3/7$ моль. Начальная температура азота $T_1 = 300$ К, а кислорода $T_2 = 500$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Газы считать идеальными с молярной теплоемкостью при постоянном объеме $C_V = 5R/2$. $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К).

1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

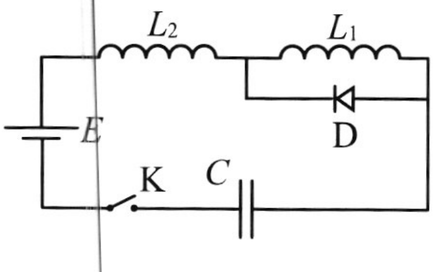
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины AB и BC перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру B.



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 $\sigma_1 = 2\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/7$. 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 $L_1 = 2L$, $L_2 = L$, 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_1.

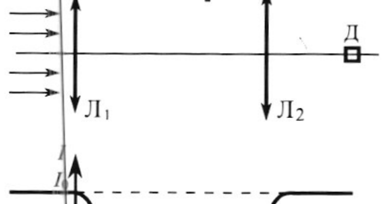


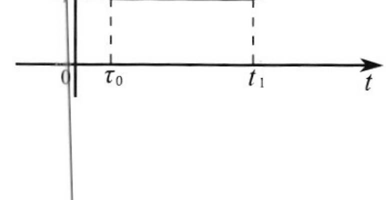
1) Найти период T этих колебаний.

2) Найти максимальный ток I_{M1}, текущий через катушку L_1.

3) Найти максимальный ток I_{M2}, текущий через катушку L_2.

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз Л$_1$ и Л$_2$ (см. рис.) с фокусным расстоянием F_0 у каждой. Расстояние между линзами $3F_0$. 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 $2F_0$ от Л$_1$. На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 3I_0/4$.





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

N1

1)

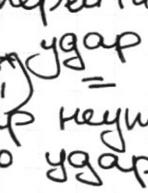
Из условия удар неупругий ⇒ ~~[illegible]~~ ~~[illegible]~~ импульс шарика меняется, однако силы действующие на шарик во время взаимодействия направлены вертикально (сила реакции опоры), т.к в условии сказано, что поверхность плиты гладкая ⇒ нет силы трения на шарик ⇒ нет горизонтальных сил на шарик ⇒ ⇒ ~~импульс шарика~~ работает ЗСИ по горизонтали для шарика

$V_1 \sin\alpha = V_2 \cos\beta$ $\qquad \sin\beta = \frac{1}{2} \Rightarrow \cos\beta = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$V_2 = \frac{V_1 \sin\alpha}{\cos\beta} = \frac{3 \cdot 8 \cdot 2}{4 \cdot \sqrt{3}} = \boxed{\sqrt{3} \cdot 4}\,\frac{м}{с}$ по осн. тригоном. тожд.

2) Если перейти в СО плиты

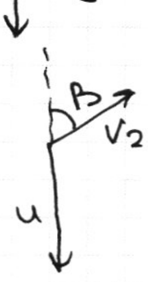
Если бы удар был абс. упругим скорость мячика до удара (V_1^*) = скорости мячика после удара (V_2^*), но т.к удар неупругий, то $V_1^* > V_2^*$ ⇒ проекция на верт. скорости до удара > проекция на верт. скорости после удара (все в СО плиты)

до: 

$\sin\alpha = \frac{3}{4} \Rightarrow \cos\alpha = \frac{\sqrt{7}}{4}$

$U + V_1 \cos\alpha > V_2 \cos\beta - U$

$2U > -V_1 \cos\alpha + V_2 \cos\beta$

после 

$2U > -8 \cdot \frac{\sqrt{7}}{4} + \sqrt{3} \cdot 4 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\boxed{U > -\sqrt{7} + 3}\,\frac{м}{с}$

Ответ: 1) $\sqrt{3} \cdot 4\,\frac{м}{с}$ 2) $(-\sqrt{7} + 3)\frac{м}{с}$

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

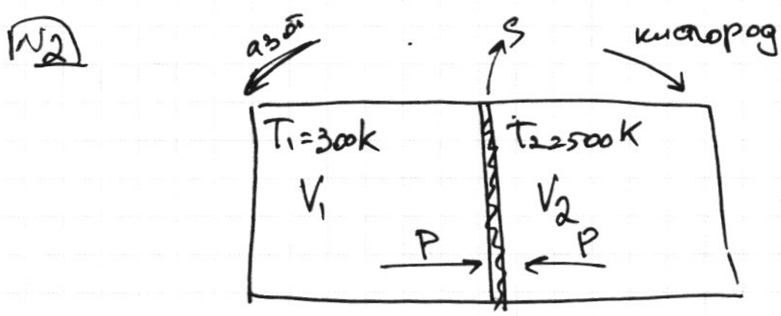
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2



$\nu = \frac{3}{7}$ моль

1) для обоих отсеков запишем з-н Бойля-Мариотта

~~Для азота~~

Для азота:

$pV_1 = \nu RT_1$ (1)

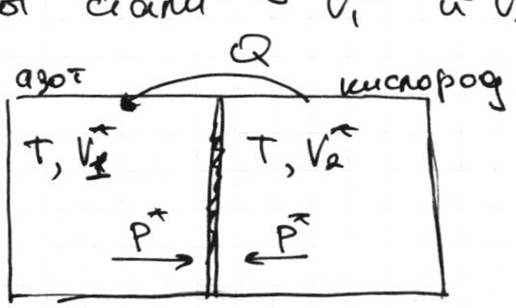
Для кислорода:

$pV_2 = \nu RT_2$ (2)

Заметим, так же, что в обоих отсеках одинаковое давление т.к поршень в равн-сии $\Rightarrow$ сумма сил на него равна 0 $\Rightarrow$ на поршень действуют только давл. со стороны газов $\Rightarrow$ давл. равны

$\frac{(1)}{(2)} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5} \Rightarrow \boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{5}}$

2) Теперь рассмотрим конечную ситуацию когда температуры в отсеках сравнялись и стали равны T, пусть кислород передал азоту теплоту в кол-ве Q, объемы стали V_1^* и V_2^*



На поршень аналогично 1) так же действуют одинак силы $\Rightarrow$ давления (P^*) равны

Для отсеков закон Б-М

азот:

$p^* V_1^* = \nu RT$

кислород

$p^* V_2^* = \nu RT$

$\boxed{V_1^* = V_2^*} \Rightarrow V_1^* = V_2^* = V$

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Запишем для отсека с азотом ЗСЭ между начальными и конечными положениями

$$Q = C_V \nu (T - T_1) + A \quad (3)$$

теплоту, которую передал азоту кислород

работа газа, котору совершил азот, чтобы сдвинуть поршень

Тоже самое запишем для кислорода:

$$-Q = C_V \nu (T - T_2) - A \quad (4)$$

теплота, которую потерял ~~азот~~ кисл. = = той, которую получил азот

над газом совершают ту же работу, что азот над поршнем

⇓

$$(3) + (4) \Rightarrow C_V \nu (2T - T_1 - T_2) = 0$$

⇓

$$2T = T_1 + T_2 \Rightarrow \boxed{T = 400\,\text{K}}$$

3) Рассмотрим силу A, которую мы писали в (3) и (4) ур-ниях, заметим, что т.к в условии написано, что поршень двигался медленно ⇒ можно считать, что он всегда был в равн-ии, так же заметим, что кин. и потенц. энергия не меняется у поршня (В начале и в конце нет скорости, т.к сосуд горизонтальный не меняется потенциальная) ⇒ ~~сила~~ работа $\boxed{A = 0}$

⇓

перепишем ур-ние (3)

$$Q = C_V \nu (T - T_1) \Rightarrow Q = \frac{5}{2} \overset{=8{,}31}{R} \cdot \frac{3}{7} \cdot 100\,\text{K} =$$

$$= 8\cancel{\frac{15}{14}} \boxed{\frac{15}{14} R \cdot 100\,\text{K}}$$

$$Q = 831 \cdot \frac{15}{14} \approx \boxed{890}\,\text{Дж}$$

$$\begin{array}{r|l} -831 & 14 \\ \underline{70} & \overline{59} \\ 131 & \end{array}$$

Ответ: 1) $\frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{5}$ 2) $T = 400\,\text{K}$

3) $Q \approx 890$ Дж

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

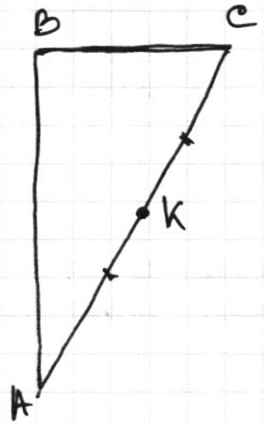
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3



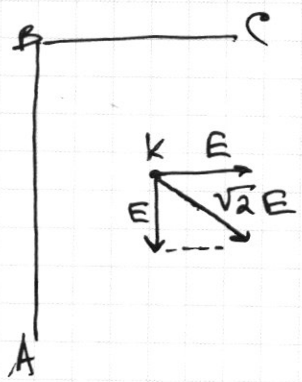
$E = \dfrac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}$

1)

• Пусть BC заряжена поверх. плотностью σ_1, тогда она создает однородное поле ⇒ (т.к это бесконеч. пластина) ⇒ напряженность в любой точке (в том числе и в т. K)

$$E = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}$$

• Добавив пластину BA с такой же σ_1 в точке K мы будем наблюдать сумму двух однородных полей от пластины BC и BA с одинаковым $E = \dfrac{\sigma_1}{2\varepsilon_0}$



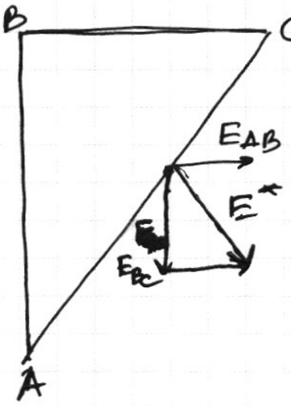
(см.рис.)

Сложив их, получаем поле $\sqrt{2}E$

⇓

поле увеличится в $\dfrac{\sqrt{2}E}{E} = \boxed{\sqrt{2}\text{ раз}}$

2) Аналогично 1) мы в точке K наблюдаем векторное сложение двух однородных полей от BC ($E_{BC} = \frac{2\sigma}{2\varepsilon_0}$) и от AB ($E_{AB} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$); пусть суммарно поле E^*



по Th. Пифагора

$$E^{*2} = E_{BC}^2 + E_{BA}^2$$

$$E^* = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\sqrt{4+1} = \boxed{\frac{\sqrt{5}\,\sigma}{2\varepsilon_0}}$$

* Для 1) и 2) мы считаем, что σ и $\sigma_1 > 0$, если < 0, то все аналогично, только поля векторно направлены в противополож. сторону

Ответ!

1) $\sqrt{2}$

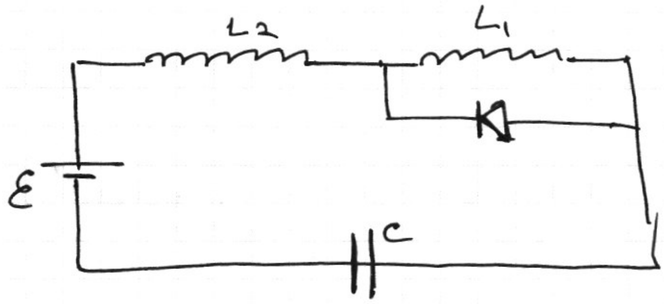
2) $\dfrac{\sqrt{5}\,\sigma}{2\varepsilon_0}$

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

ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

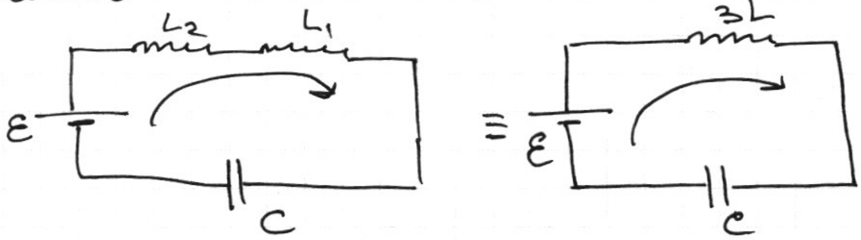
№4



(0)

$L_1 = 2L$
$L_2 = L$
$T - ?$

• когда ток в системе течёт по часовой стрелке идеальный диод (закрыт) можно убрать, тогда систему можно перерисовать



(1)

Если бы схема (1) и была в условии нашей задачи, то период T_1 был бы равен $\boxed{T_1 = 2\pi\sqrt{3LC}}$, но в нашей задаче эта схема работает, только когда ток течет по часовой ⇒ только половина от T_1 (время, когда по часовой) реализуется в схеме (0)

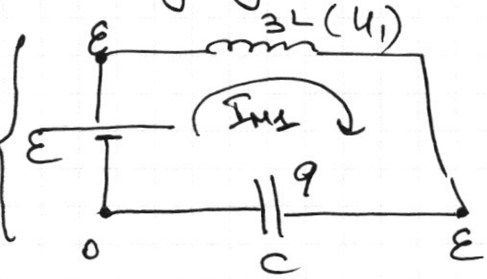
• Когда ток в системе течет против часовой стрелки идеальный диод открыт ⇒ ~~и~~ диод = перемычка, тогда на его концах не падает напряжение ($U = 0$), тогда ~~катушка~~ через катушку L_1 течет постоянный ток ($U = L_1 I'$) ⇒ катушку L_1 можно просто убрать (это не повлияет на период колебаний)

(2) Для такой схемы период $\boxed{T_2 = 2\pi\sqrt{LC}}$, опять все аналогично реализуется только половина T_2 в схеме 0

$$T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} \Rightarrow \boxed{T = \pi\sqrt{LC}\,(1+\sqrt{3})}$$

2) Макс. ток через катушку L_1 может реализоваться при закрытом диоде, т.е при схеме (I)

метод потенциалов



Если ток через L_1, т.е через 3L макс., то $I'_{M_1} = 0$, $\Rightarrow U_1 = 3L \cdot I'_{M_1} \Rightarrow$

$\Rightarrow \boxed{U_1 = 0}$ (на катушке не падает напряжение)

⇓

на конденсаторе падает напряжение ε

Так же заметим, что через батарейку протек тот же заряд, что и накопился на конденсаторе (q)

$\boxed{q = C\mathcal{E}}$ ← для конденсатора

⇓

Запишем ЗСЭ для схемы, учитывая, что в начальный момент тока в цепи нет и конденсатор не заряжен

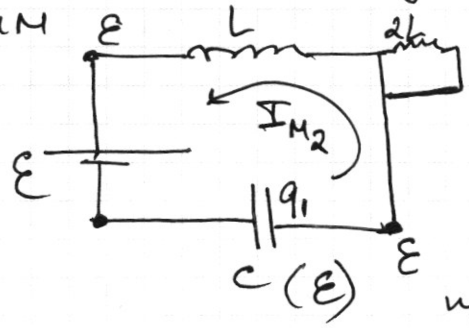
$$\mathcal{E}q = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} - 0 + \frac{3LI_{M_1}^2}{2} - 0$$

⇓

$$C\mathcal{E}^2 = 3LI_{M_1}^2 \Rightarrow \boxed{I_{M_1} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{3L}}}$$

При такой схеме (1) макс. ток через L_2, то же равен I_{M_1}

Тогда посмотрим чему он равен при схеме (2) и сравним



Аналогичными рассуждениями $I'_{M_2} = 0 \Rightarrow$ напряж. на конден. (ε), а на катушке — 0

⇓

$q_1 = q = C\mathcal{E} \Rightarrow$ через ЭДС прошёл тот же заряд, что и через конденсатор q $\Rightarrow$ Запишем ЗСЭ, учитывая, что на катушке L_1 ток не меняется $\Rightarrow$ не меняется энергия (записываем между конечным и нач. моментами работы схемы)

(В конце конд. разряд. и перестанет течь ток)

$$\mathcal{E}q = \frac{C\mathcal{E}^2}{2} - 0 + \frac{LI_{M_2}^2}{2} - 0$$

⇓

$$C\mathcal{E}^2 = LI_{M_2}^2 \Rightarrow \boxed{I_{M_2} = \sqrt{\frac{C}{L}}\,\mathcal{E}}$$

т.к $I_{M_2} > I_{M_1}$, то I_{M_2} — макс. ток через L_2

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

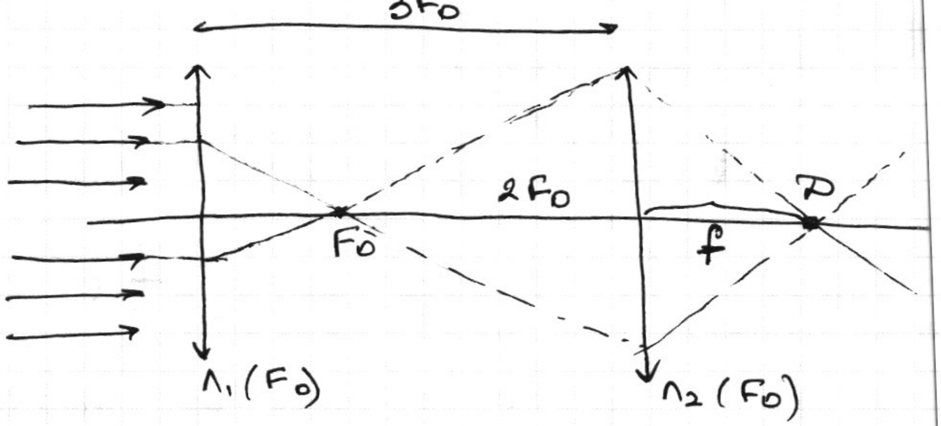
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ: 1) $T = \pi\sqrt{LC}\,(1+\sqrt{3})$ 2) $I_{M_1} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{3L}}$ 3) $I_{M_2} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L}}$

№5

1)



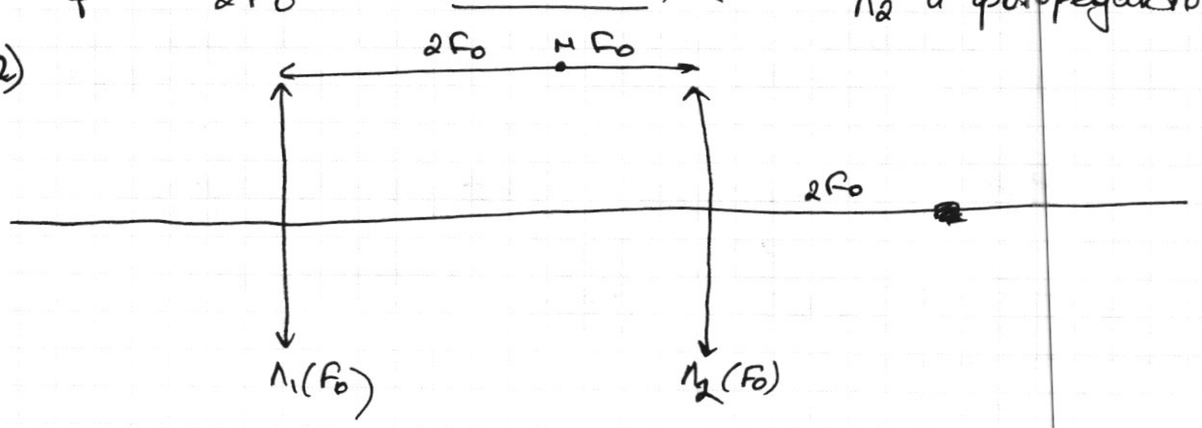
• Т.к из условия сказано, что пучок света попадает в т. D ⇒ лучи изображенные на рисунке после прохождения системы пересекаются в т. D

• парал. ГОО лучи попадают в фокус F_0 (прошли через $Л_1$) далее они проходят через $Л_2$, чтобы найти расстояние f. воспользуемся формулой тонкой линзы для $Л_2$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{f} \qquad \text{(см. рис)}$$

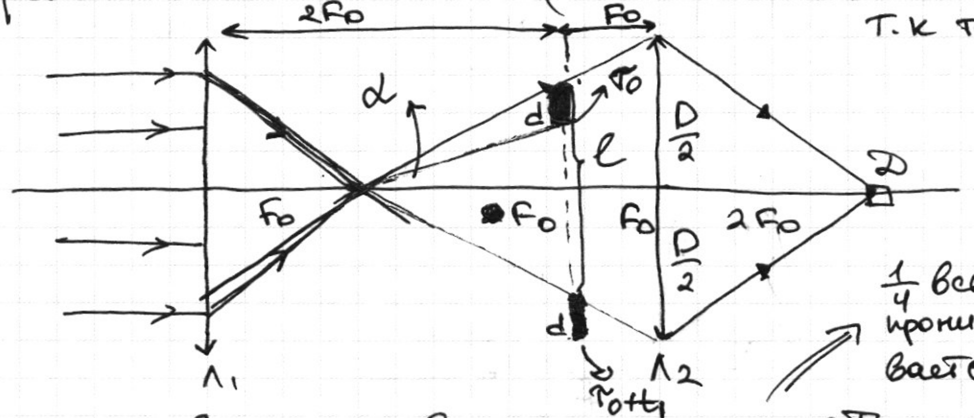
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{2F_0} \Rightarrow \boxed{f = 2F_0}$$ ← расстояние между $Л_2$ и фоторедактором

2)



• Ток через D пропорц. ~~как~~ мощности света, а мощность света пропорц. кол-ву лучей падающих на D, понятно, что, когда М некоторым из лучей загораживает ход, то падает мощность, а значит и ток I,

• На графике I(t) от 0 до τ_0 тело M сместилось на расстояние $S = d$ (свой собственный диаметр) т.к ток падает



$\frac{1}{4}$ всей площади, которую пронизывают лучи загораживается

Т.к в момент времени τ_0 $I = \frac{3I_0}{4}$, то $d^2 = \frac{1}{4}\ell^2 \Rightarrow \boxed{d = \frac{1}{2}\ell}$ (см. рис.) (т.к если убрать М, то $I = I_0$)

площади относятся как диаметры в квадрате

~~Из подобия~~ для угла α 2 раза запишем $\operatorname{tg}\alpha$

$$\frac{\ell}{2F_0} = \frac{D}{2\cdot(2F_0)}$$

$$\Downarrow$$

$$\ell = \frac{D}{2}$$

$$\Downarrow$$

$$d = \frac{1}{2}\frac{D}{2} = \boxed{\frac{1}{4}D}$$

Тогда $v = \frac{S}{\tau_0} = \frac{d}{\tau_0} = \boxed{\frac{D}{4\tau_0}}$ ← скорость М

3) в момент времени $t_1+\tau_0$ окончательно „выйдет" из пучка (перестанет загораживать и $I(t_1+\tau_0) = I_0$)

$\Downarrow$

за время t_1 M проедет ℓ ~~(относительной~~

$\Downarrow$

$$t_1 = \frac{\ell}{v} = \frac{D\cdot 4\tau_0}{2\cdot D} = \boxed{2\tau_0}$$

Ответ: 1) $f = 2F_0$
2) $v = \frac{D}{4\tau_0}$
3) $t_1 = 2\tau_0$

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)