

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

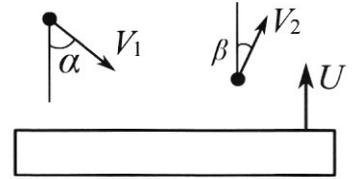
Класс 11

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 α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) 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.

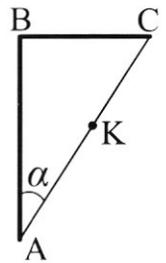
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ 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?

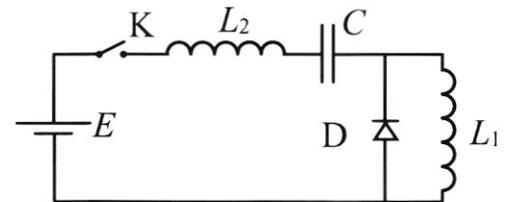
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .

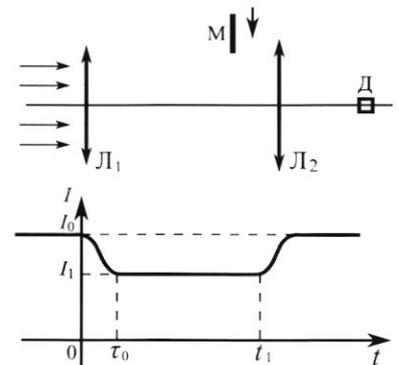


1) Найти период T этих колебаний.

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 L_1 и L_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 L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.

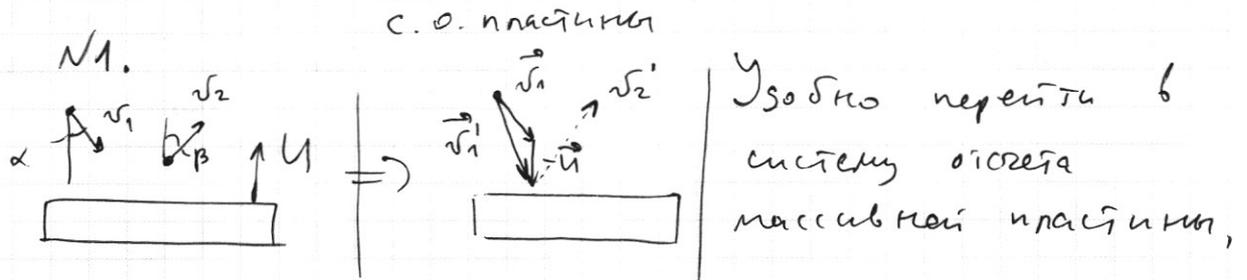


1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.

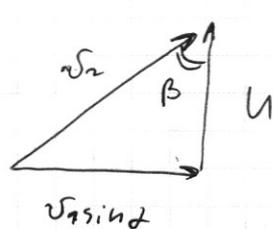
2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



т.к. она инерциальна. При ударе нормальная ~~компонента~~ $v_1 \cos \alpha$ скорости шарика растёт (т.к. удар неупругий), а компонента, параллельная пластине ($v_1 \sin \alpha$), сохраняется. Тогда в л.с.о. скорость будет:



$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \text{ м/с}$$

Из треуго. скоростей: $U^2 = v_2^2 - (v_1 \sin \alpha)^2 =$

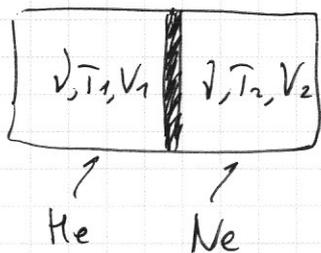
$$= 8^2 \text{ м/с}$$

Но скорость полёта шара к шарiku может быть направлена также и в обратную сторону, т.к. треуго. скоростей при этом не изменится.

Но если оценка, получим $\sqrt{72} > v_1 \cos \alpha$, значит шарик не ударится о плитку в этом случае. Получим, $U = \sqrt{72} = 8\sqrt{2} \text{ м/с}$

Ответ: 1) 12 м/с; 2) $8\sqrt{2}$ м/с

N2.



Запишем ур-ие состояния из. газа для ~~каждого~~ каждого из отсеков в начале эксперимента:

$$a) \begin{cases} pV_1 = \nu RT_1 \\ pV_2 = \nu RT_2 \end{cases} \quad \text{где } p - \text{давление} \\ \text{каждого из газов, т.к. поршень} \\ \text{неподвижен.}$$

$$\text{Отсюда } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330}{440} = \frac{3}{4} = \boxed{0,75}$$

Внутр. энергия газов сохранится:

$$U_1 + U_2 = U_0; \quad T_0 - \text{уср. температура:}$$

$$\frac{3}{2} \nu RT_1 + \frac{3}{2} \nu RT_2 = 2 \cdot \frac{3}{2} \nu RT_0 \Rightarrow T_0 = \frac{T_1 + T_2}{2} =$$

$$= \boxed{385 \text{ K}}. \quad \text{Также, } T_1 + T_2 = \text{const} = 2T_0$$

В результате выравнивания температур, газ совершил работу над неомом, у которого уменьшилась внутр. энергия, и он отдал некоторую теплоту тепло:

$$A = Q + \Delta U, \quad \Delta U < 0. \quad \text{Найдем } A:$$

из (а) следует, что $pV_0 = \nu R(T_1 + T_2)$, где ν — количество вещества, $V_0 = V_1 + V_2 = \text{const}$ (здесь ^{теперь} молярный объем),

$$\text{а } T_1 + T_2 = 2T_0 = \text{const}. \quad \text{Тогда}$$

$$p = \text{const} = \frac{2\nu RT_0}{V_0}; \quad V_0 = 1,75 V_2.$$

В конце объема выровняются и станут

$$V_0/2 = \frac{1,75}{2} V_2$$

$$\text{Тогда } A = p \left(\frac{V_0}{2} - V_1 \right) = p \cdot \left(\frac{1,75}{2} - 0,75 \right) V_2 = \frac{1}{8} p V_2 = \\ = \frac{1}{8} \cdot \nu R T_2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2 (кросс-метрие)

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R (T_0 - T_2) < 0$$

$$\text{Тогда } Q = \frac{1}{8} \nu R T_2 + \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_0) =$$

$$= \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot \frac{440 + 12 (\cancel{440} - 385)}{8} =$$

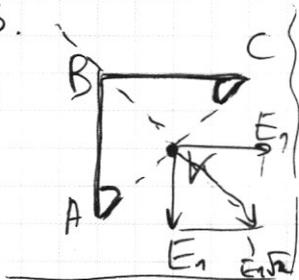
$$= \frac{6}{25} \cdot 8,31 \cdot \frac{110 + 3 \cdot 55}{2} = 3 \cdot 8,31 \cdot 11 =$$

$$= 274,23 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) 0,75; 2) 385 К;
3) 274,23 Дж

№3.

1)



Пусть заряженная пластинка BC создаст в т. К поле напряж. E_1 (вектор напр. $\vec{E}_1 \perp BC$, рис. 43-39 симметрич). Если зарядить

вместо BC AB, то ничего не поменяется, т.к. пластинки (и все геом. размеры) идентичны, а система симметрична отн. ~~дан~~ плоск. BK, перп. рис. Тогда ~~в т. К~~ принцип суперпозиции полей резуль. на предметность будет $E_1 \sqrt{2}$!

N 3 (продолжение)

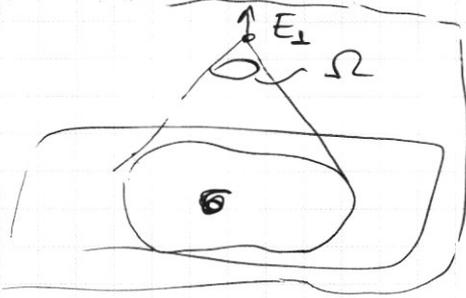
2)

Вспомогательная формула,

позволяет найти

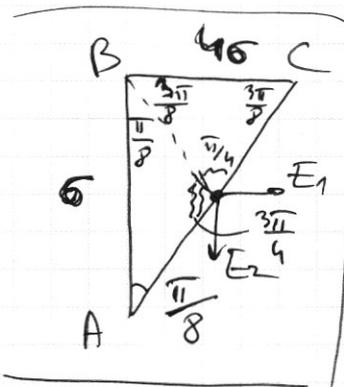
~~электрическое~~

в точке



компоненту E_{\perp} напря. эл. поля, перп. ~~к~~ плоскости, угасок которой зарядит пов. п.л. здр.

σ и $\sigma_{\text{визен}}$ ~~на~~ под угл. Ω ;
~~формула~~ $E_{\perp} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \frac{\Omega}{4\pi}$ (в случае



Реш. зарядит будет только норм. комп. поле ~~из-за симметрии~~

Чтобы найти телесный угол, по которому видна пластинка

AB (или BC) разделим

угол ~~на~~ который в угловой

размер отрезка на 2π (и умножим на 4π - полн. угол)

(в м. рисунка), в силу симметрии.

$$\Omega_1 = 4\pi \cdot \frac{3\pi/4}{2\pi} = \frac{3}{2} \cdot 4\pi - \text{случай AB}$$

$$\Omega_2 = 4\pi \cdot \frac{\pi/4}{2\pi} = \frac{1}{2} \cdot 4\pi - \text{случай BC}$$

$$E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot \frac{3/2}{4} = \frac{3}{8} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \cdot \frac{1/2}{4} = \frac{1}{8} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Электрическое результир. поле $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} =$

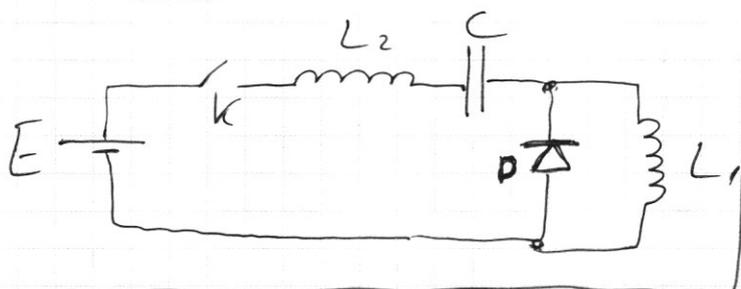
$$= \frac{1}{8} \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{\sigma}{8\epsilon_0} \sqrt{10}$$

$$= \frac{\sqrt{10} \sigma}{8\epsilon_0} \cdot \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \frac{5}{4} = \frac{5}{8} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

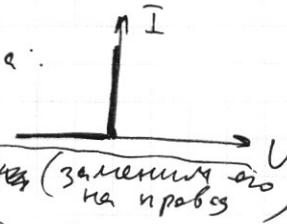
Ответ: 1) $\sqrt{2}$; 2) $\frac{5}{8} \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4.

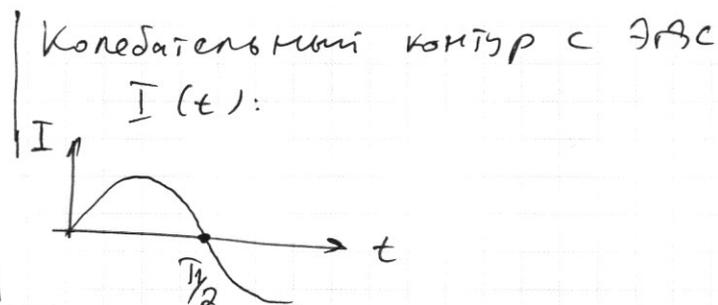
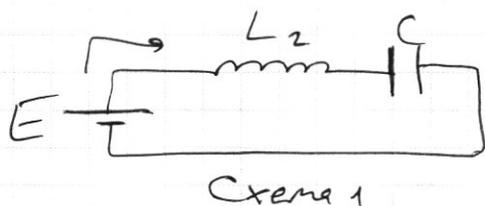


Изучим, как работает
схема с нелинейным
элементом D.
~~когда~~ ~~схемы~~ ~~открыта~~
ВАХ диода:



Предположим, что диод открыт ~~и~~ (замкнут ~~на~~
направо) и посмотрим, когда ток через него будет
положителен (в прямом направлении).

Во все остальные моменты времени он
закрыт. Пользуемся схемой:



частота колеб. $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_2 C}}$

период $T_1 = 2\pi\sqrt{L_2 C}$

~~В~~ ~~схеме~~ ~~в~~ случае закрытого диода (схема 2)

в колеб. контур добавляется катушка L_1 ,
~~и~~ послед. со всеми элементами.

~~и~~ ~~период~~ таких колеб.: $T_2 = 2\pi\sqrt{(L_1 + L_2)C}$

Из графике видно, что половина периода

диода будет закрыт, а вторую - открыт
(при $T_1 = T_2$ будут реализовываться схемы 2; 1 соотв.)

N 4 (продолжение)

$$T = \frac{I_1}{2} + \frac{I_2}{2} = \pi \left(\sqrt{3LC} + \sqrt{2LC} \right)$$

Рассмотрев по отдельности схемы

(1) и (2) легко найти макс. ток
через L_1, L_2 :

~~Итак~~

Для схемы 2: через кату.

$$q = EC(1 - \cos \omega_2 t) \quad (\text{из известной формулы})$$

$$I_m = I_{01} = \omega_2 EC = \frac{EC}{\sqrt{3LC}} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

Т.к. $\omega_2 < \omega_1$, то

I_{02} реализуется в 1 схеме и равен:

$$I_{02} = EC\omega_1 = \frac{EC}{\sqrt{2LC}} = E \sqrt{\frac{C}{2L}}$$

Ответ: 1) $\pi(\sqrt{3LC} + \sqrt{2LC})$;

2) $E \sqrt{\frac{C}{3L}}$; 3) $E \sqrt{\frac{C}{2L}}$

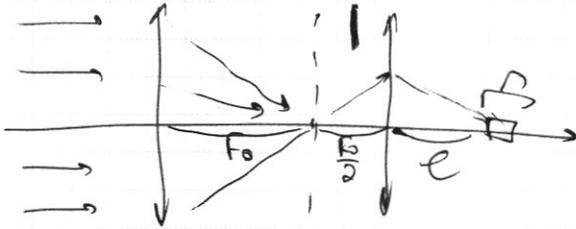
N 5.

Понятно, что детектор располагается в
фокусе опт. системы из 2-х линз. (в усл.)

~~Т.к. ток в фотодетекторе I_1
пропорц. площади свет. пучка, влияем
на коэффициент усиления I_1 .~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

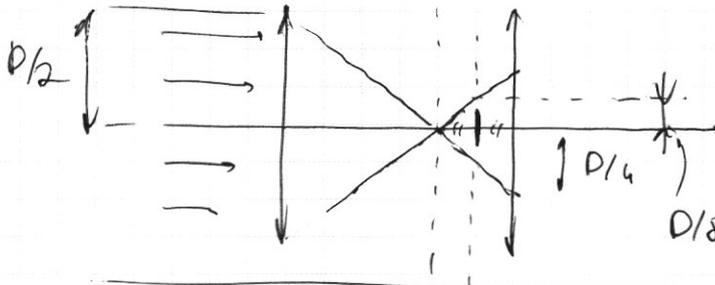
$N5$ (продолж.)



Найти фокусное расст. l :

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

$$l = F_0$$



Φ - фото, τ_{00} $\frac{I_1}{I_0}$ -

- отношение

$$\frac{S - S_m}{S}, \text{ где}$$

S - площадь перекрыт.

пузырь, а S_m - площ. помехи

$$\frac{I_1}{I_0} = 1 - \left(\frac{d_m}{d}\right)^2$$

d_m -diam. помехи,
 d - diam. перекрыт. пузырь;

$$\frac{1}{3} = \frac{d_m}{D/4}$$

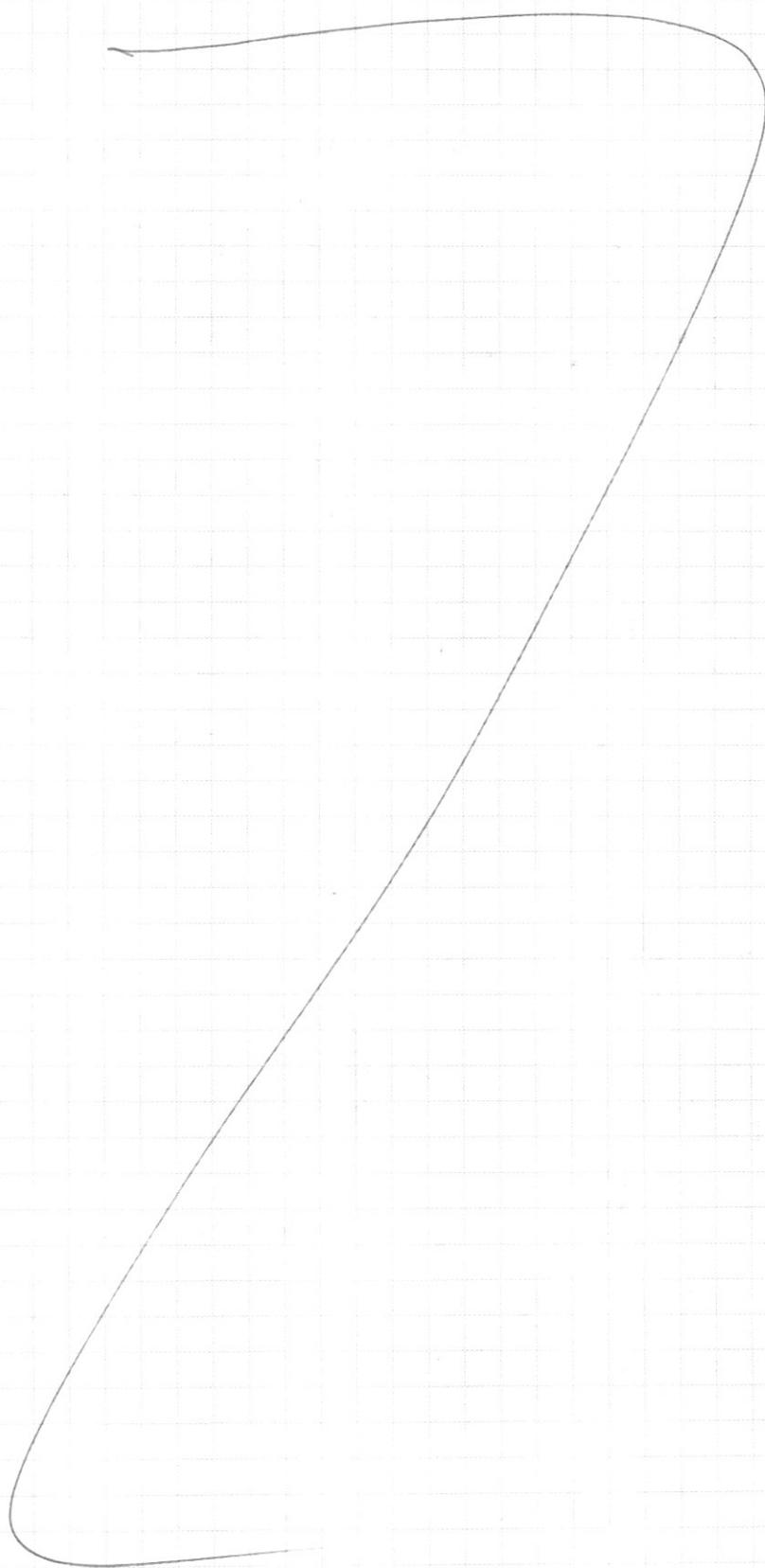
$$d = \frac{D}{4}$$

$d_m = \frac{D}{12}$ / Тогда диаметр пузыря d

свет. пятно за $\tau_0 = \frac{d_m}{V} \Rightarrow V = \frac{D}{12\tau_0}$

$$t_1 = \frac{D/4}{V} - \tau_0 = 2\tau_0$$

Ответ: 1) F_0 ; 2) $\frac{D}{12\tau_0}$; 3) $2\tau_0$

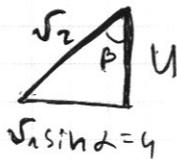
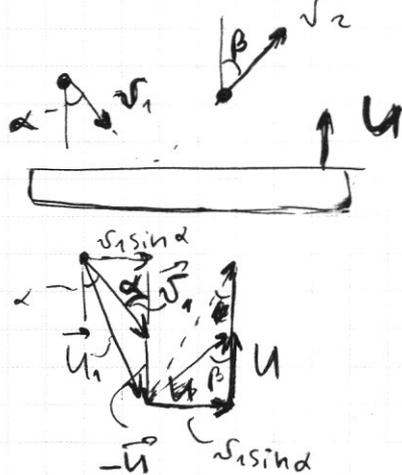


черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

①



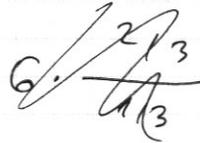
$$v_1 \sin \alpha = 6 \cdot \frac{2}{3} = 4 \text{ м/с}$$

$$\frac{4}{v_2} = \frac{1}{3}$$

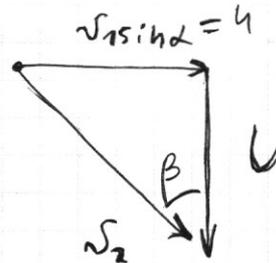
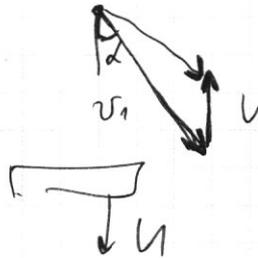
$$v_2 = 12 \text{ м/с}$$

~~$$v_2 = 12 \cos$$~~

$$U = \sqrt{12^2 - 4^2} = \sqrt{144 - 16} = \sqrt{128} \text{ м/с}$$



~~$$144 - 16$$~~



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

$$v_1 \cos \alpha$$

$$\sqrt{64 \cdot 2^2} = 8\sqrt{2}$$

$$\sqrt{2} \approx 1,4$$

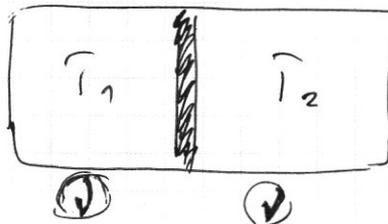
~~$$8 \cdot 1,4 \cdot 8 = 11,2$$~~

$$pV_1 = \nu R T_1 \quad \left| \frac{V_1}{V_2} = \frac{2}{4} = 0,5 \right.$$

$$pV_2 = \nu R T_2$$

~~$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{1,4 \cdot 8}{3,5 \cdot 8} = 4$$~~

②

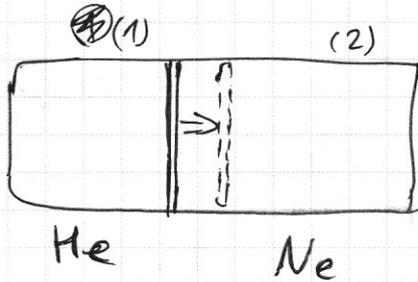


$$U = \frac{3}{2} \nu R T$$

(2)

$$c_v \sqrt{T_1} + c_v \sqrt{T_2} = 2c_v \sqrt{T}$$

$$\frac{330 + 440}{2} = \frac{770}{2} = 350 + 35 = 385$$



$$pV_1 = \nu R T_1$$

$$pV_2 = \nu R T_2$$

$$p(V_1 + V_2) = \nu R (T_1 + T_2)$$

Const Const

$$\Delta U + Q = A \quad \frac{110}{5} = 22$$

$$A = p \cdot \frac{1}{8} V_2 =$$

$$= \frac{1}{8} \nu R T_2$$

$$\frac{3 \cdot 55}{5} = 3 \cdot 11 = 33$$

$$\frac{6}{5} \cdot 8,31 \cdot \frac{1}{2} (22 + 33) = \frac{175}{2}$$

$$= 3 \cdot 8,31 \cdot \frac{55}{5} =$$

$$= 3 \cdot 8,31 \cdot 11$$

$$\frac{25}{10} \quad 0,5 + 0,375 = 0,875$$

$$\begin{array}{r} 0,875 \\ - 0,750 \\ \hline 125 \end{array}$$

$$\frac{440 + 12 \cdot 55}{5} =$$

$$= 110 + 3 \cdot 55$$

$$\frac{221 + 33}{5} = 11$$

$$8,31$$

$$\times 33$$

$$\hline 2493$$

$$\frac{2493}{23}$$

$$T_0 = 385 \text{ K}$$

$$T_2 = 440 \text{ K}$$

~~385~~ 265

$$\begin{array}{r} 440 \\ - 385 \\ \hline 55 \end{array}$$

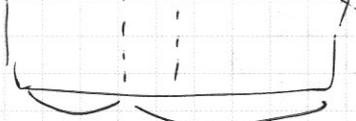
$$330 + 440 = 770$$

$$\frac{770}{2} = 350 + 35 = 385$$

$$pV_0 = \nu R \cdot 2T_0$$

$$p = \text{const} = \frac{2\nu R T_0}{V_0}$$

$$\frac{1,75}{2}$$



$$0,75$$

$$V_1 = 0,75 V_2$$

$$V_1 + V_2 = V_0 = 0,75 V_2 + V_2 =$$

$$= 1,75 V_2$$

$$\frac{1,75}{2} - 0,75 =$$

$$\frac{1,75}{2} = 0,5 + \frac{25/2}{100} = 0,375$$

$$\frac{75}{2} = 35 + 35 = 70$$

$$0,875$$

$$0,875 - 0,75$$

$$0,875$$

$$- 0,750$$

$$\hline 0,125$$

$$\frac{1}{8} V_2$$

$$\begin{array}{r} 8,31 \\ \times 33 \\ \hline 2493 \\ 2493 \\ \hline 27423 \end{array}$$

$$(\nu R): \frac{1}{8} T_2 + \frac{3}{2} T_2 - \frac{3}{2} T_0 = \left| \begin{array}{l} 440 \\ - 385 \end{array} \right.$$

$$= \frac{T_2 + 12 T_2 - 12 T_0}{8}$$

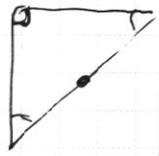
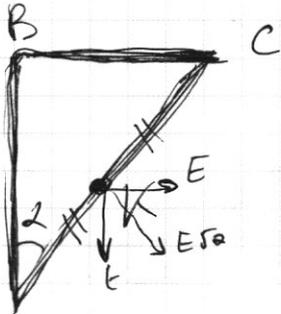
$$T_2 - T_0 = 55$$

$$\frac{440 + 12 \cdot 55}{8} =$$

$$= \frac{110 + 3 \cdot 55}{2}$$

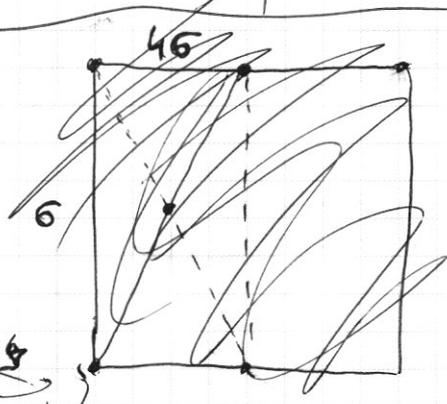
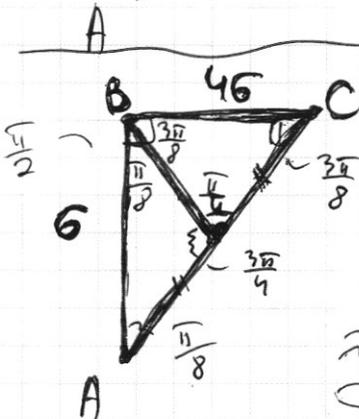
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3)



$$dE_{\perp} = \frac{\sigma b}{2\pi\epsilon_0} \frac{dx}{x^2 + b^2}$$

$$E_{\perp} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \frac{2}{4\pi}$$



$$\frac{\sigma}{2\pi} \cdot 4\pi$$

$$\frac{3\pi}{4} \cdot \frac{2}{4\pi} = \frac{3}{8}$$

$$\frac{3\pi}{4} \cdot \frac{2}{4\pi} = \frac{3}{8}$$

$$\frac{3\pi}{4} - \frac{\pi}{4} = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2}$$

$$\pi - \frac{3\pi}{4} = \frac{\pi}{4}$$



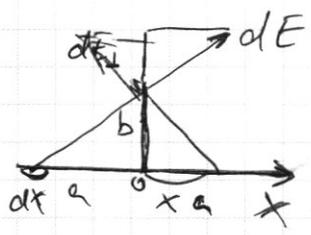
$$\frac{\lambda 2\pi r}{\epsilon_0} = 2\pi r E$$

$$E = \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0}$$

$$\frac{\sigma}{8\epsilon_0} \sqrt{1^2 + 3^2}$$

$$\frac{\sqrt{10}\sigma}{8\epsilon_0}$$

$$\frac{3\pi \cdot 2}{4 \cdot 4\pi} = \frac{6}{16} = \frac{3}{8}$$



$$\lambda = \sigma dx$$

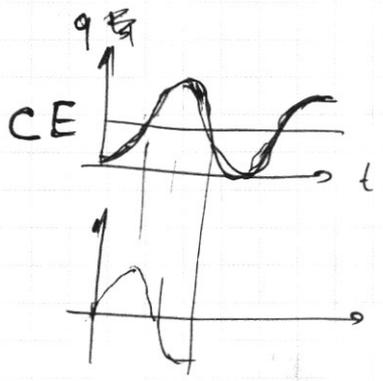
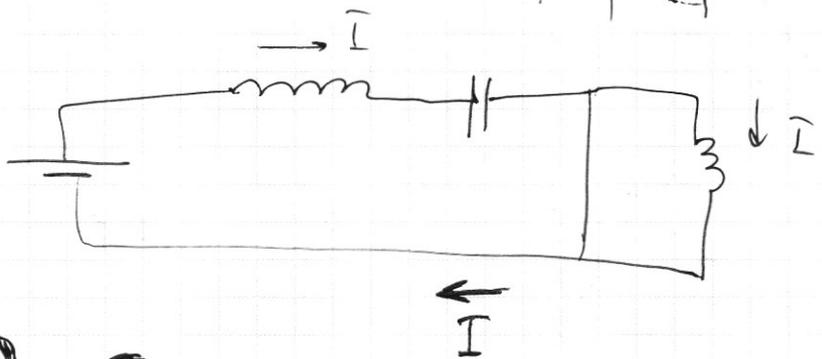
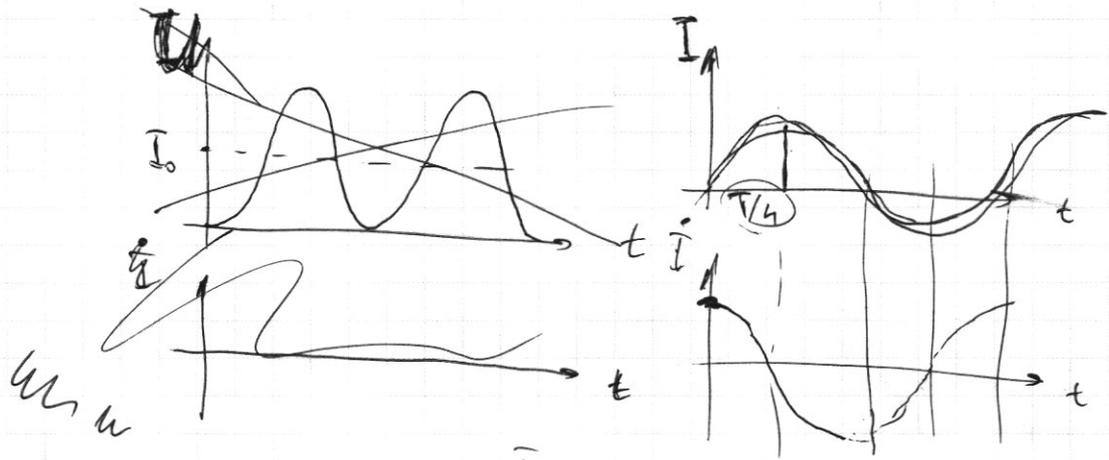
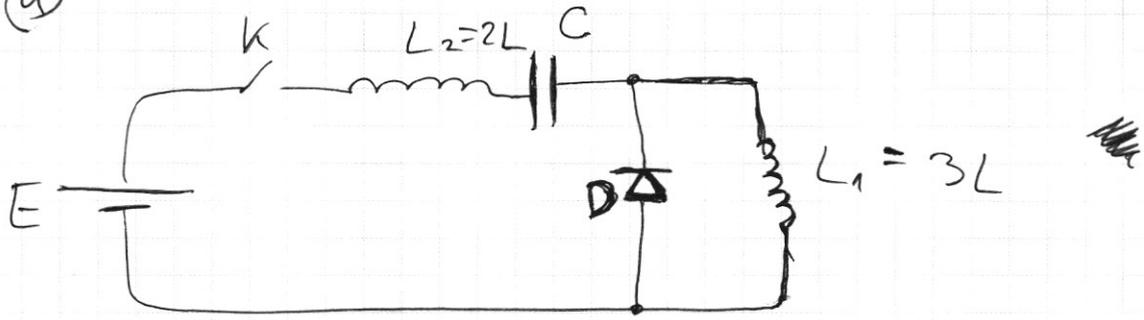
$$dE = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \frac{dx}{r}$$

$$dE_{\perp} = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \frac{dx}{r} \cdot \frac{b}{r} = \frac{\sigma b}{2\pi\epsilon_0} \frac{dx}{\sqrt{b^2 + x^2}}$$

$$\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{1 + \frac{3}{16}}$$

$$\frac{\sqrt{25}}{16} = \frac{5}{4}$$

4



~~q = EC sin ωt~~

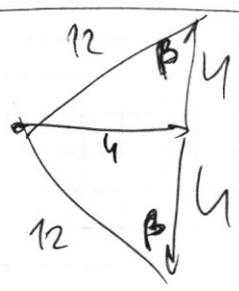
$q = EC(1 - \cos \omega_2 t)$

$L_1 > L_2 \quad \omega_1 = \frac{1}{\sqrt{3LC}}$

~~$\omega_1 < \omega_2$~~ $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{5LC}}$

$\omega_2 < \omega_1$

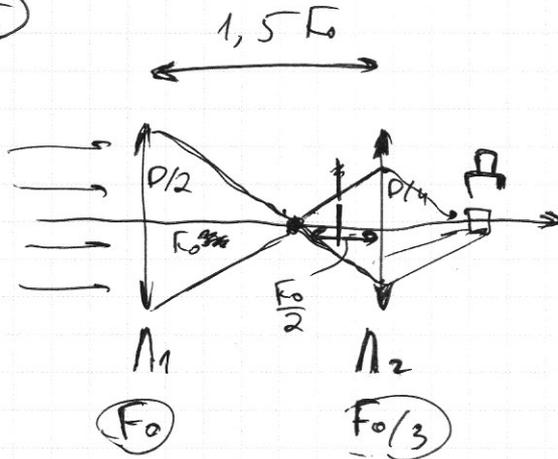
$144 - 16 = 128 = 64 \cdot 2$



$\frac{770}{2} = 350 + 35$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

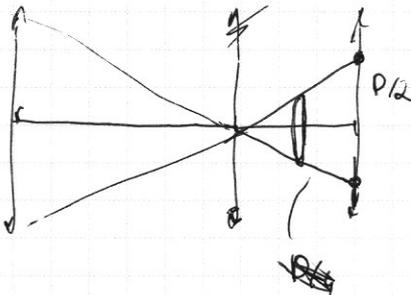
5



$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{8}{9}$$

$$\frac{F_0}{4} = 1,25$$

$$I \sim S = \pi D^2$$



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

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{8}{9} = \frac{S - S_{\text{шл}}}{S}$$

$$\frac{D/4}{D/12 \cdot 2} = \frac{12}{4} \cdot 2 = 3 \cdot 2 = 6$$

$$\frac{D}{2\epsilon_0} \sqrt{1 + \left(\frac{3}{4}\right)^2}$$

$$\frac{3}{6} + 1 = \frac{25}{16} \Rightarrow \frac{5}{4}$$

$$\frac{3\pi}{4} \cdot 2$$

$$\frac{3\pi}{2}$$

$$\frac{3\pi/2}{4\pi} \cdot \frac{3}{8}$$

$$2R \left(\frac{T_2}{8} + \frac{12(T_2 - T_0)}{8} \right)$$

$$110 + 165 = 275$$

$$4 \cdot \frac{275 \cdot 15}{11}$$

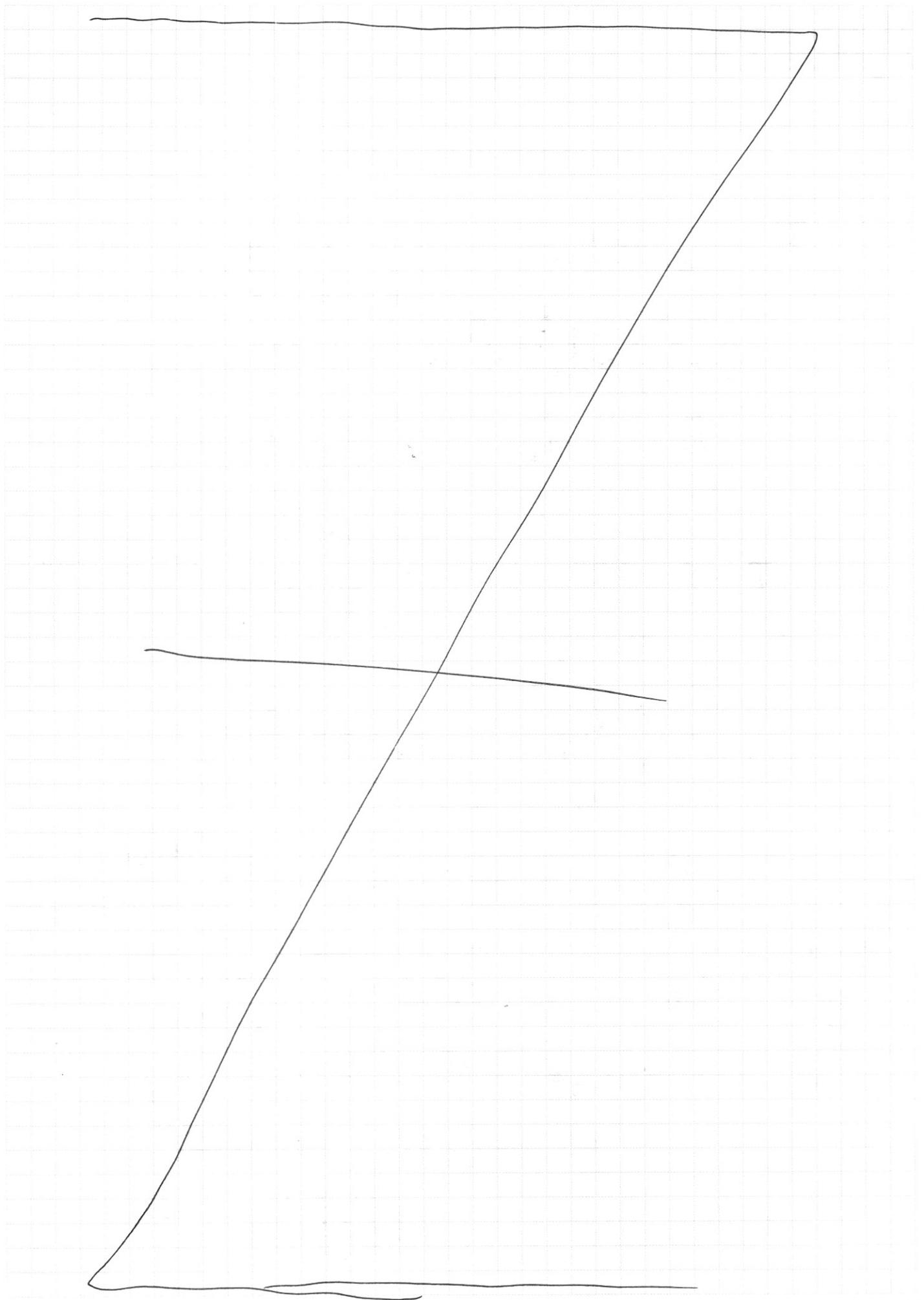
$$\frac{6}{25} R \cdot \frac{440 + 12 \cdot (440 - 325)}{8}$$

$$\times 2,31$$

$$\frac{2453}{52}$$

$$\frac{110 + 3 \cdot 55}{25} = 3,17 \cdot R$$

$$\begin{array}{r} 2453 \\ + 2453 \\ \hline 7423 \end{array}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)