

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

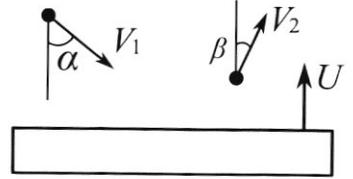
Класс 11

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 α ($\sin \alpha = \frac{3}{4}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{2}$) с вертикалью.

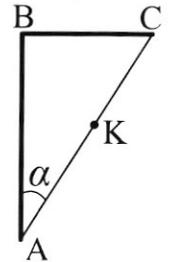


1) Найти скорость V_2 .
 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
 Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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?

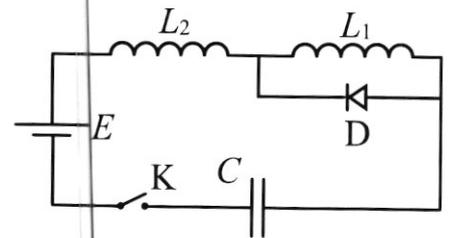
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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?

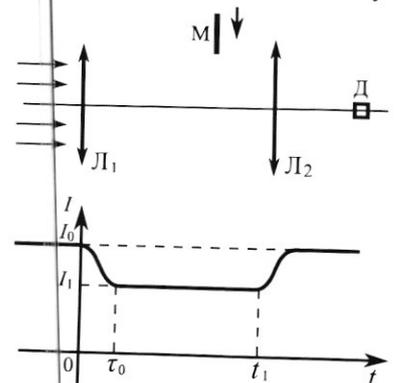
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/7$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 2L$, $L_2 = L$, 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_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 L_1 и L_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 L_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 L_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 L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Дано:

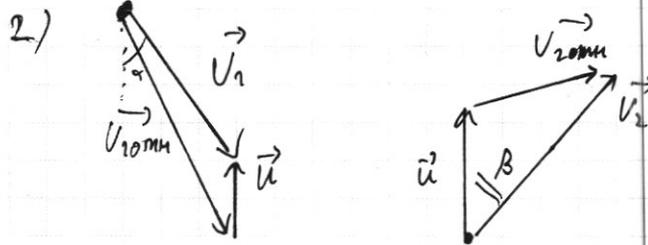
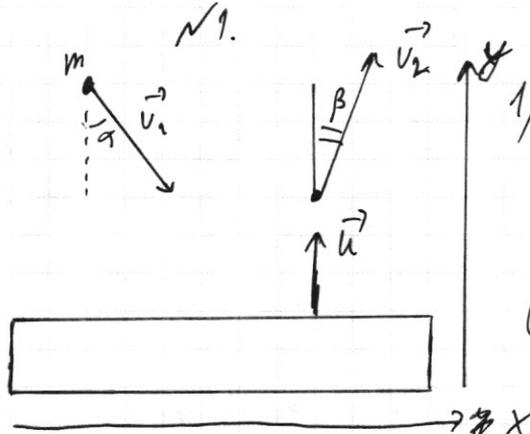
$$V_1 = 8 \text{ м/с}$$

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

$$\sin \beta = \frac{1}{2}, \quad \cos \beta = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

1) V_2 - ?

2) u - ?



1) В ИСО пишут:

$$V_{\text{отм}}^{\rightarrow} = V_1^{\rightarrow} - u^{\rightarrow}$$

$$V_{2\text{отм}}^{\rightarrow} = V_2^{\rightarrow} - u^{\rightarrow}$$

(Закон слож. скоростей)

Пусть m - масса шарика, тогда т.к. удар неупругий, то по ЗСИ на ОВХ: $m V_{1\text{отм}x} = m V_{2\text{отм}x} \Rightarrow$
 \Rightarrow Горизонтальная составляющая ст. скорости шарика не изменилась:

$$V_{1\text{отм}x} = V_{2\text{отм}x}$$

$$V_1 \cdot \sin \alpha = V_2 \cdot \sin \beta \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}; \quad V_2 = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{2}{1} = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

3) Т.к. удар неупругий, то $V_{2\text{отм}y} = 0$, т.е. $V_{2y} = u \Rightarrow$

$$\Rightarrow V_{2\text{отм}y} = V_{2\text{отм}x} \Rightarrow \left[u = V_2 \cdot \cos \beta = V_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \cos \beta = V_1 \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta} \right]$$

$$u = 8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{2}{1} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{3} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ответ: 1) $V_2 = 12 \text{ м/с}$
 2) $u = 6\sqrt{3} \text{ м/с}$.

√2.

Дано:

$$J = \frac{3}{7} \text{ моль}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$T_2 = 500 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

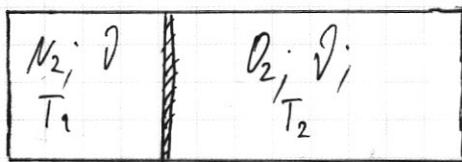
$$C_V = \frac{5R}{2}$$

1) $\frac{V_{N_2}}{V_{O_2}} = ?$

2) $T_K = ?$

3) $Q_{N_2} = ?$
 $Q_{O_2} = ?$
 $Q_{N_2} = ?$

1) Нач. состояние: ($t=0$)



По уравнению Менделеева-Клапейрона: ($t=0$):

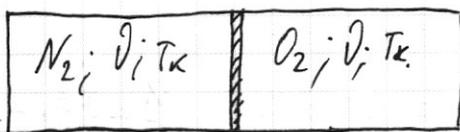
$$\begin{cases} p_{N_2} V_{N_2} = \nu R T_1 \\ p_{O_2} V_{O_2} = \nu R T_2 \end{cases} \Rightarrow \frac{V_{N_2}}{V_{O_2}} = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{p_{O_2}}{p_{N_2}} \quad (1)$$

П.к. в нач. состоянии ($t=0$) поршень ^{неподвижен} неподвижен, т.е.

$$p_{N_2} = p_{O_2} = p$$

Тогда в (1): $\frac{V_{N_2}}{V_{O_2}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5}$

2) Установившееся состояние ($t=t_{уст}$)



Обозначим за V объем всего сосуда, где $V = V_{N_2} + V_{O_2}$.

Тогда если применим уравнение Менделеева-Клапейрона, то

$$\begin{aligned} p(V_{N_2} + V_{O_2}) &= \nu R (T_1 + T_2) \\ pV &= \nu R (T_1 + T_2) \quad (2) \end{aligned}$$

П.к. в конечном состоянии поршень неподвижен, то $p_{N_2}^* = p_{O_2}^*$, т.е. эти

$$p_{N_2}^* = p_{O_2}^* = p$$

По уравнению Менг. - Клапейрона ($t=t_{уст}$): $V_{N_2}^* + V_{O_2}^* = V$

$$\begin{cases} p_{N_2}^* V_{N_2}^* = \nu R T_K \\ p_{O_2}^* V_{O_2}^* = \nu R T_K \end{cases} \Rightarrow pV = 2\nu R T_K \Rightarrow \text{из (2):} \\ \nu R (T_1 + T_2) = 2\nu R T_K \\ T_K = \frac{T_1 + T_2}{2} = 400 \text{ К}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

3) По ур-нию Майера: $C_p = C_v + R \Rightarrow C_p = \frac{7}{2} R$.

$$Q_{\text{отгр}} N_2 = -Q_{\text{отгр}} O_2 = -C_p \cdot V \cdot (T_k - T_2) =$$

$$= \frac{7}{2} R \cdot V \cdot \left(T_2 - \frac{T_1 + T_2}{2} \right) = \frac{7}{2} V R \frac{(T_2 - T_1)}{2}$$

$$Q_{\text{отгр}} N_2 = \frac{7}{2} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot \frac{3}{4} \text{ моль} \cdot 100 \text{ К} = 1,5 \cdot 831 \text{ Дж} = 1246,5 \text{ Дж}$$

Ответ: а) $\frac{3}{5}$ б) 400К в) 1246,5 Дж.

№5.

Дано:

F_0

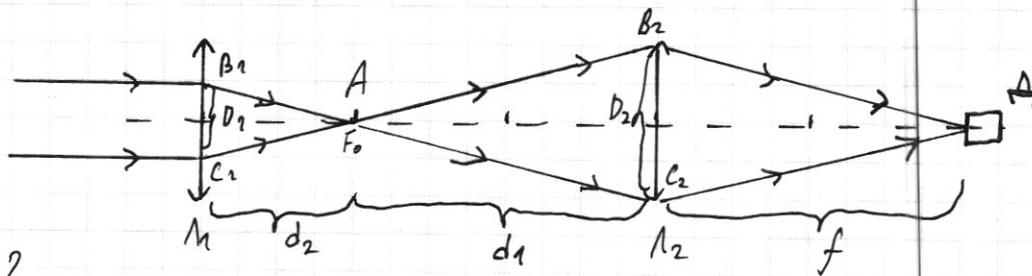
D

T_0

1) f - ?

2) σ - ?

3) t_1 - ?



1) Лучи, проходящие через L_1 , должны проходить через точку F_0 . (лучи со M идут параллельно FO); $d_2 = F_0$, $d_1 = 2F_0$.

2) Для того, чтобы луч попал на фронтальный датчик, он должен вернуться через L_2 .

Рассмотрим треугольники подобия $\triangle AB_1C_1$ и $\triangle AC_2B_2$:

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\Rightarrow l^2 = \frac{1}{16} D^2 \Rightarrow l = \frac{1}{4} D.$ NS (прог.)

III. e. $V = \frac{1 \cdot D}{4 \cdot t_0} = \frac{D}{4 t_0}.$

5) По графику видно, что в $t = t_1$ точка K линии находится в точке $C_3 \Rightarrow$ точка K "прямая" "траект." расстояние $D_3 = \frac{1}{2} D$

III. e. $\frac{1}{2} D = V \cdot t_1 \Rightarrow \left[t_1 = \frac{D}{2V} = \frac{D \cdot 4 t_0}{2 \cdot D} = 2 t_0. \right]$

Ответ: а) $f = 2 f_0$ б) $V = \frac{D}{4 t_0}$; в) $t_1 = 2 t_0.$

Дано:

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

$\frac{E_K}{E_0} = ?$

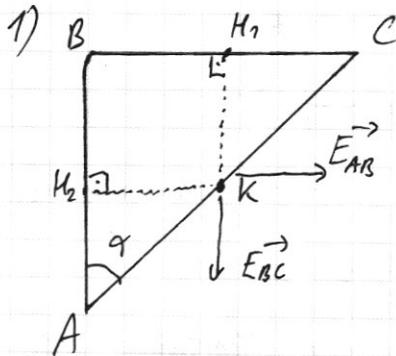
2) $\sigma_1 = 2\sigma$

$\sigma_2 = \sigma$

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

$E_K = ?$

Решение:



$\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \triangle ABC$ — равнобедр.
 прямой.

$AB = BC$; $KH_1 = KH_2$, где $KH_1 \perp BC$
 $KH_2 \perp AB$

Пусть $BC = \sigma$, тогда

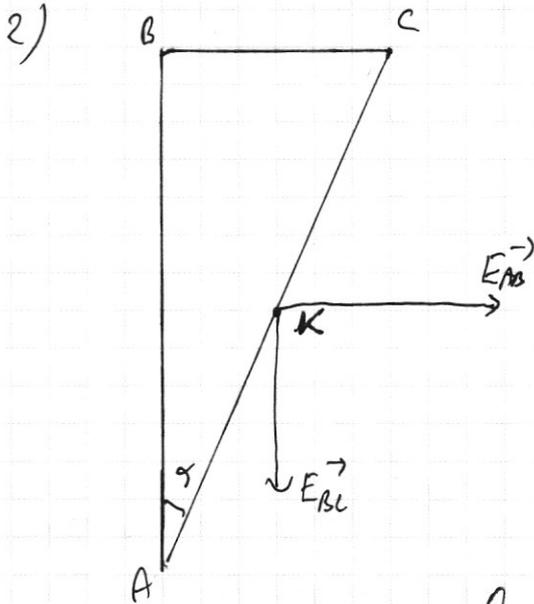
$E_0 = E_{BC} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

После того, как к AB добавим $\sigma_{AB} = \sigma$: $E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$

$E_K = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{1}{4}} = \frac{\sigma}{\sqrt{2} \epsilon_0}$

$$\left[\frac{E_K}{E_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{2\epsilon_0}{\sigma} = \sqrt{2} \right]$$

№3 (прод.)



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

$$E_{AB} = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$E_{BC} = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} = \frac{2\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{\epsilon_0^2}} = \frac{\sigma\sqrt{5}}{2\epsilon_0}$$

Ответ: а) $\sqrt{2}$

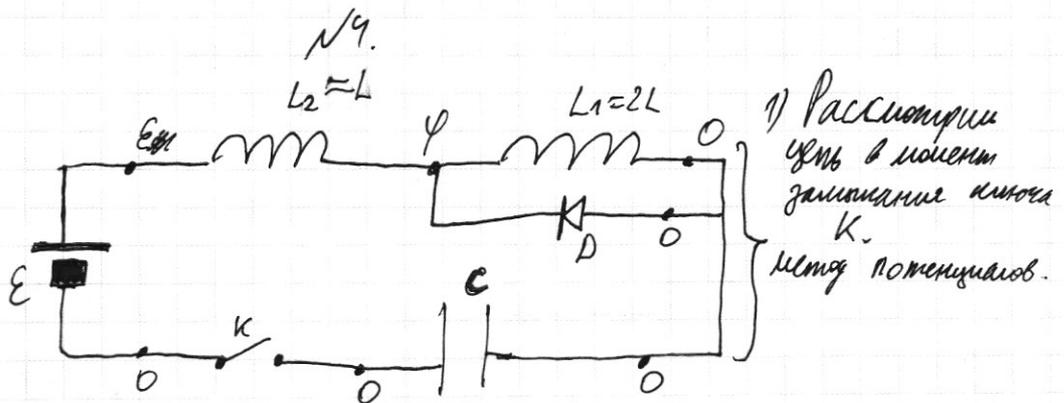
$$б) \frac{\sigma\sqrt{5}}{2\epsilon_0}$$

Дано:

\mathcal{E}

$L_1 = 2L$

$L_2 = L$



1) T -?

2) I_{M1} -?

3) I_{M2} -?

Напряжение на $\text{---}||\text{---}$ сразу не меняется \Rightarrow

$$\Rightarrow U_C(0) = 0$$

Токи на L_1 и L_2 сразу не меняются \Rightarrow

$$\Rightarrow I_{L_2}(0) = I_{L_1}(0) = 0.$$

Рас-н L_2 :

$$\mathcal{E} - \varphi = L \cdot I_{L_2}'(0)$$

Причем $I_{L_1}'(0) = I_{L_2}'(0)$

L_1 :

$$\varphi = 2L \cdot I_{L_1}'(0)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№7 (Прог.)

2) Рас-м контур \mathcal{C} ; L_2 ; L_1 и \mathcal{C} :

$$\mathcal{E} - \mathcal{E}_{\text{ЭДВ}} - \mathcal{E}_{\text{ЭДВ}} = 0$$

$$\mathcal{E} + L \dot{I}_1 + L \dot{I}_2 = 0$$

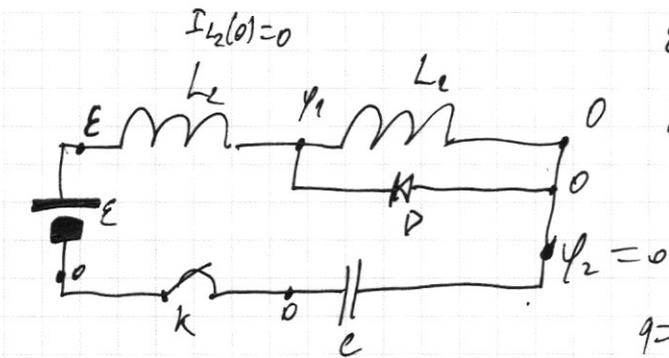
$$\frac{q}{C} + \ddot{\varphi}_1 + \ddot{\varphi}_2 = 0$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\mathcal{E} - \Psi_1 = L \cdot I_{L2}'(0)$$

$$\Psi_1 - 0 = 2L \cdot I_{L1}'(0)$$

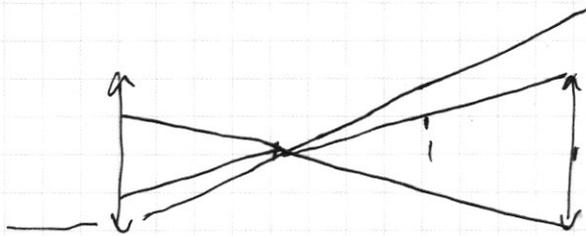
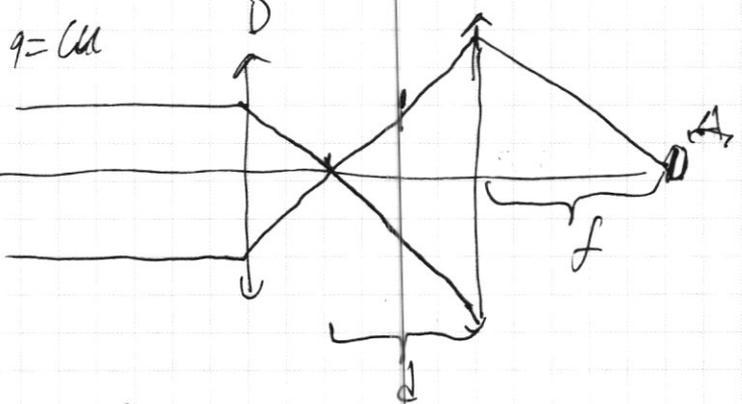
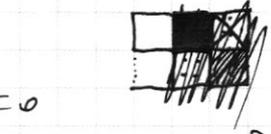
$$\mathcal{E} - \mathcal{E}_{Si} = 0$$

$$\mathcal{E} + L\dot{I} = 0$$

$$\frac{q}{C} + L\dot{I} = 0$$

$$q + L\dot{I} = 0$$

$$q + L\dot{I} = 0$$



$$q = C\mathcal{U}$$

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

$$d = f = \frac{F_0 \cdot d}{F_0 \cdot d - F_0} = \frac{2F_0^2}{2F_0 - F_0} = 2F_0$$

$$S_n = \pi d \frac{\pi \frac{D^2}{4}}{4} = \frac{\pi D^2}{16}$$

$$E = K \frac{q}{R^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R^2}$$

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

$$Q = \sigma \cdot S$$

2



$$\mathcal{E} - \Psi = I_{L2}'(0) \cdot L$$

$$\mathcal{E} - \mathcal{E}_{S1} - \mathcal{E}_{S2} = 0 \quad \Psi = 2L \cdot I_{L1}'(0) = 2L \cdot \frac{\mathcal{E}}{3L} = \frac{2}{3}\mathcal{E}$$

$$\mathcal{E} + 2L\dot{I}_1 + L\dot{I}_2 = 0 \quad \mathcal{E} - 2L \cdot I_{L1}'(0) = I_{L2}'(0) \cdot L$$

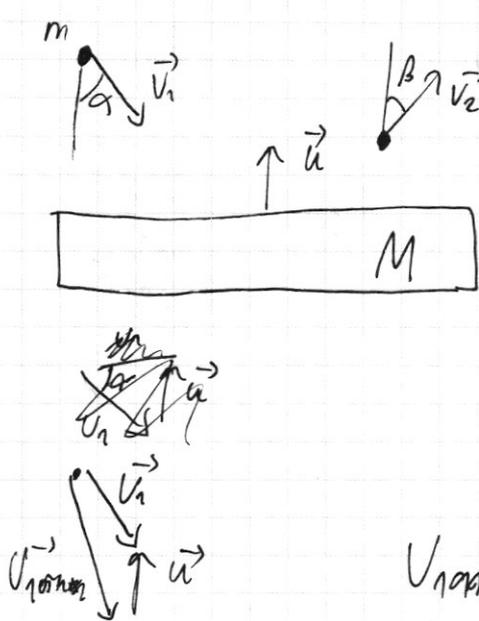
$$I_{L2}'(0) = \frac{\mathcal{E}}{3L}$$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$m\vec{v}_1 + M\vec{u} = m\vec{v}_2 + M\vec{u}$$

$$-mv_1 \cdot \cos\alpha + Mu = mv_2 \cdot \cos\beta + Mu.$$

В КСО пишем

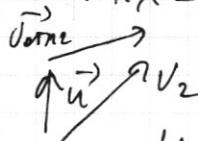
$$\vec{v}_{1\text{отн}} = \vec{v}_1 - \vec{u}$$

$$\vec{v}_{2\text{отн}} = \vec{v}_2 - \vec{u}$$

$$v_{1\text{отн}x} = v_{2\text{отн}x}$$

$$v_{1\text{отн}x} = v_1 \cdot \sin\alpha$$

$$v_{2\text{отн}x} = v_2 \cdot \sin\beta.$$



$$u = \cos\beta \cdot v_{\text{отн}2}$$

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$

2) "

$$P - P = Ed.$$

N2

$$u = v_1 \cdot \sin\alpha \cdot \frac{\cos\beta}{\sin\beta}$$

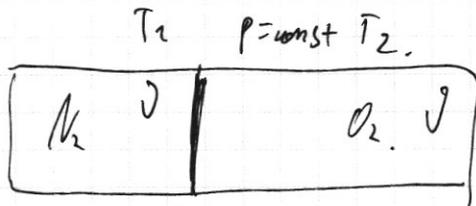
$$E^* = \sqrt{2}$$

$$\frac{F}{2\epsilon_0} = \frac{Q}{2\epsilon_0 d}$$

$$E_0 = E_{\text{ос}} = \frac{F}{2\epsilon_0}$$

$$E^* = \sqrt{\frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2}} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{2\epsilon_0^2}} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \sqrt{2}}$$

$$I_c = \dots$$



$$p_1 V_1 = \nu \cdot R T_1 \quad p_1 = p_2 = p$$

$$p_2 V_2 = \nu \cdot R T_2$$

~~$p_1 V_1 = \nu R T_1$~~ $p V$

$$p = nKT$$

$$-839 \text{ J}$$

$$\frac{V_{O_2}}{V_{N_2}} = \frac{T_{N_2}}{T_{O_2}} = \frac{300}{500} = \frac{3}{5}$$

$$\times \frac{839}{1}$$

$$\begin{array}{r} 415,5 \\ + 839 \\ \hline 1246,5 \end{array}$$

$$Q = C_p$$

2)

$$C_p = C_v + R = \frac{5}{2} R + R = \frac{7}{2} R$$

$$p \cdot 3V_0 = \nu R T_1$$

$$p \cdot 5V_0 = \nu R T_2$$

$$p \cdot 4V_0 = \nu R T^*$$

$$Q = C_p \cdot \nu \cdot \Delta T = C_p \cdot \nu \cdot (T_2 - T_1) =$$

$$=$$

$$8pV_0 = \nu R \cdot 2 \cdot (T_{N_2} + T_{O_2})$$

$$Q_{N_2} = Q_{O_2} =$$

$$8pV_0 = 2\nu R T^*$$

$$T^* = \frac{T_{N_2} + T_{O_2}}{2} = 400 \text{ K}$$

3)

$$Q = \Delta U + A$$

$$Q = \frac{7}{2} \nu R T = C_p \cdot \Delta T \cdot \nu$$

$$\Delta U =$$

$$Q_{N_2} = -Q_{O_2}$$

$$Q_{N_2} =$$