

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

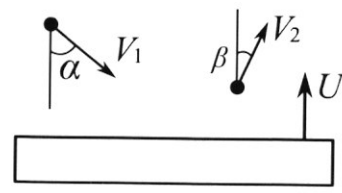
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарем)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 12$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{1}{2}$) 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.

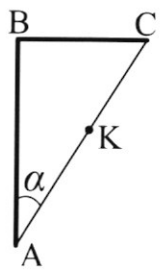


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1 = 350$ К, а азота $T_2 = 550$ 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).

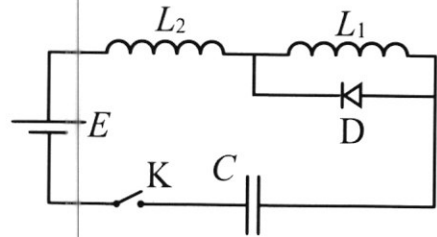
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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.



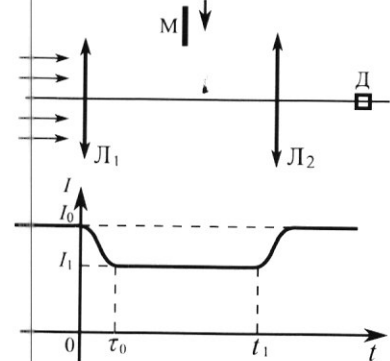
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. 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 $L_1 = 4L$, $L_2 = 3L$, 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 L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $3F_0$ и F_0 , соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. 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 F_0 от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 5I_0/9$.



- 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

Задание № 1

Дано:

$$v_1 = 12 \text{ м/с}$$

$$\sin \alpha = 1/2$$

$$\sin \beta = 1/3$$

$$v_2 = ?$$

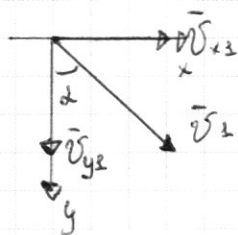
$$u = ?$$

удара;

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

$$\text{Ответ: } v_2 = \frac{3}{2} v_1 = 18 \text{ м/с.}$$

Решение:



v_{1x} - составляющая скорости

шарика по оси x , до удара

v_{1y} - составляющая скорости

шарика по оси y , до удара

v_{2x} - составляющая по ox после

$$v_{2x} = v_1 \sin \alpha \quad v_{2x} = v_2 \sin \beta$$

$$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{3}{2} v_1 = 18 \text{ м/с}$$

(2) При ударе об стену (Δv_y - изменение

составляющей шарика по оси y), $\Delta v_y = 2u$

v_{y2} - составляющая по oy после удара

$$\Delta v_y = v_{y2} - v_{y1} = 2u_{\max} \Leftrightarrow u_{\max} = \frac{v_{y2} - v_{y1}}{2}$$

$$v_{y1} = v_1 \cos \alpha \quad \cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$v_{y2} = v_2 \cos \beta \quad \cos \beta = \frac{2\sqrt{2}}{3} \quad v_{y2} = \frac{3}{2} v_2 \cos \beta = v_2 \sqrt{2}$$

u_{\max} - при сохранении поком v_{y1} при ударе

$u_{\min} = \frac{v_{y2}}{2}$ - при не сохранении v_{y1} при ударе

$$u_{\max} = v_1 \left(\frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right) = 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} = 3(2\sqrt{2} - \sqrt{3}) \approx 3,3 \text{ м/с}$$

$$u_{\min} = v_1 \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 8,5 \text{ м/с} \quad 3,3 \frac{\text{м}}{\text{с}} < u < 8,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Ответ: } 3,3 \text{ м/с} < u < 8,5 \text{ м/с}$$

Задание №2

Дано:

$$V = 6/7 \text{ моль}$$

$$C_v = 5R/2$$

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

$$T_1 = 350 \text{ К}$$

$$T_2 = 550 \text{ К}$$

Решение:

$$(1) PV = \nu RT$$

$$P_1 = P_2 \text{ т.к.}$$

перегородка в равновесии в начале

$$\left. \begin{array}{l} PV_1 = \nu RT_1 \\ PV_2 = \nu RT_2 \end{array} \right\} \Leftrightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{11} \approx 0,64$$

ν_1	T_1	V_1	ν_2	T_2	V_2
ν_2	P_2	P_1	T_1		

$$\frac{V_1}{V_2} - ?$$

$$\text{Ответ: } \frac{V_1}{V_2} \approx 0,64 = \frac{T_1}{T_2}$$

$$T - ?$$

(2) $Q_1 = Q_2$ T-конечная температура газов

$$Q_{21} - ?$$

$$Q_1 = C_v \nu T_1 + C_v \nu T_2$$

$$Q_2 = 2C_v \nu T$$

$$2C_v \nu T = C_v \nu T_1 + C_v \nu T_2$$

$$2T = T_1 + T_2 \quad \Leftrightarrow \quad T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 450 \text{ К}$$

$$\text{Ответ: } T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 450 \text{ К}$$

(3) Q_{21} - теплота передаваемая азотом водороду

$$Q_{21} = C_v \nu T_2 - C_v \nu T = C_v \nu (T_2 - T) = \frac{5R\nu(T_2 - T)}{2}$$

$$Q_{21} = \frac{5 \cdot 8,31 \cdot 6 \cdot 100}{2} = \frac{15}{2} \cdot 831 \approx 1780 \text{ Дж}$$

$$\text{Ответ: } Q_{21} = 1780 \text{ Дж}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задание №3

Дано:

(1) $\alpha = \pi/4 = 45^\circ$

(2) $\alpha = \pi/5 = 36^\circ$

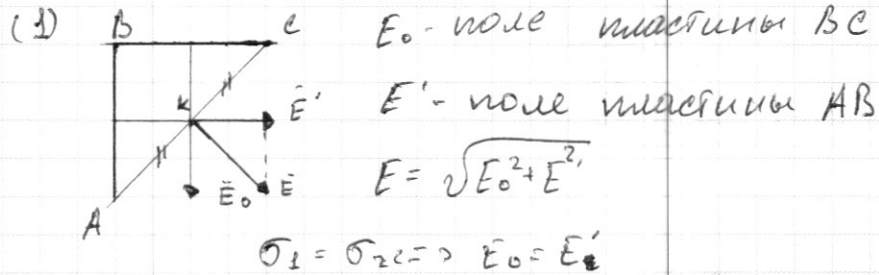
$\sigma_1 = 3\sigma$

$\sigma_2 = \sigma$

$E/E_0 = ?$

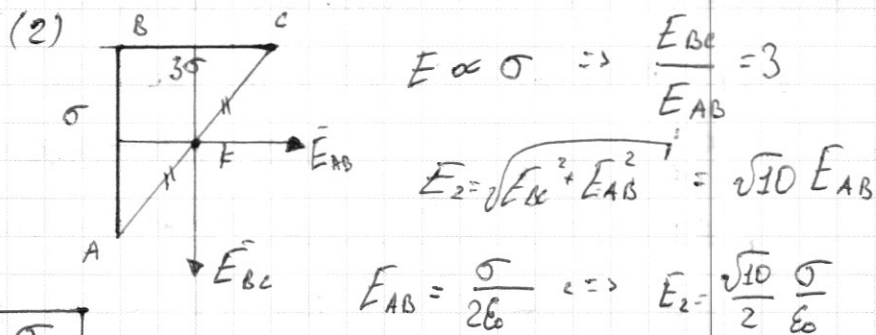
$E_2 = ?$

Решение:



$E = \sqrt{2} E_0 \quad E/E_0 = \sqrt{2}$

Ответ: $E/E_0 = \sqrt{2}$



Ответ: $E_2 = \frac{\sqrt{10} \sigma}{2 \epsilon_0}$

Задание №4

Дано:

$L_1 = 4L$

$L_2 = 3L$

C, ϵ

$T = ?$

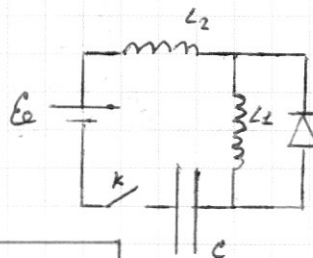
$I_{m1} = ?$

$I_{m2} = ?$

Решение:

(1) $T = R\sqrt{(L_1+L_2)C} + R\sqrt{L_2C} = R\sqrt{LC}(\sqrt{7} + \sqrt{3})$

$T \approx 4,3 \pi \sqrt{LC}$



$T = T_1 + T_2$

$T_1 = R\sqrt{(L_1+L_2)C}$

$T_2 = R\sqrt{L_2C}$

Ответ: $T = 4,3 \pi \sqrt{LC}$

$q = C\varepsilon$ $q\varepsilon = A$ - работа источника q - заряд конденсатора

$$A = q\varepsilon = C\varepsilon^2 = \frac{(L_1 + L_2) I_{M1}^2}{2}$$

$$I_{M1} = \left(\frac{2C\varepsilon^2}{7L} \right)^{1/2}$$

Ответ: $I_{M1} = \varepsilon \sqrt{\frac{2C}{7L}}$

(3) $A = \frac{L_2 I_{M2}^2}{2} = q\varepsilon = C\varepsilon^2$

$$I_{M2} = \left(\frac{2C\varepsilon^2}{3L} \right)^{1/2}$$

Ответ: $I_{M2} = \varepsilon \sqrt{\frac{2C}{3L}}$

Задача №5

Дано:

Решение:

$F_2 = 3F_0$

(1) Δx_1 - расстояние между линзами

$F_2 = F_0$

Δx_2 - расстояние от Π_2 до детектора

$\Delta x_2 = 2F_0$

при прохождении Π_1

D, τ_0

пучок собирается

$I_1 = \frac{5}{9} I_0$

на $F_1 = 3F_0$, расположенной

$\Delta x_2 = ?$

ср за $\Pi_2 \Leftrightarrow$ для $\Pi_2: \frac{1}{F_0} = -\frac{1}{F_0} + \frac{1}{\Delta x_2}$

$V = ?$

$\Delta x_2 = \frac{F_0}{2}$

$t_i = ?$

Ответ: $\Delta x_2 = \frac{F_0}{2}$

(2) Мишень при прохождении сквозь пучок перекрывает его часть $\Leftrightarrow \frac{S_M}{S_n} = \frac{I_0 I_1}{I_0} = \frac{4}{9}$

S_M - площадь мишени $S_M = R \frac{d^2}{4}$ d - диаметр мишени

S_n - площадь пучка на расстоянии F_0 $S_n = \pi \frac{D'^2}{4}$

D' - диаметр пучка на расстоянии F_0

$\triangle AOB \sim \triangle CDB \Leftrightarrow \frac{D}{3F_0} = \frac{D'}{2F_0} \quad D' = \frac{2}{3} D \quad S_n = \frac{2}{9} \pi D^2$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

за время τ_0 - линия полностью "входит"
в щель и перекрывает его часть $\Leftrightarrow v = \frac{d}{\tau_0}$

$$\frac{S_m}{S_n} = \frac{4}{9} = \frac{\pi d^2 \cdot 9}{4 \cdot \pi D^2 \cdot 2} = \frac{9}{8} \frac{d^2}{D^2} \Leftrightarrow d^2 = D^2 \cdot \frac{32}{81}$$

$$d = \frac{4}{9} D \sqrt{2}$$

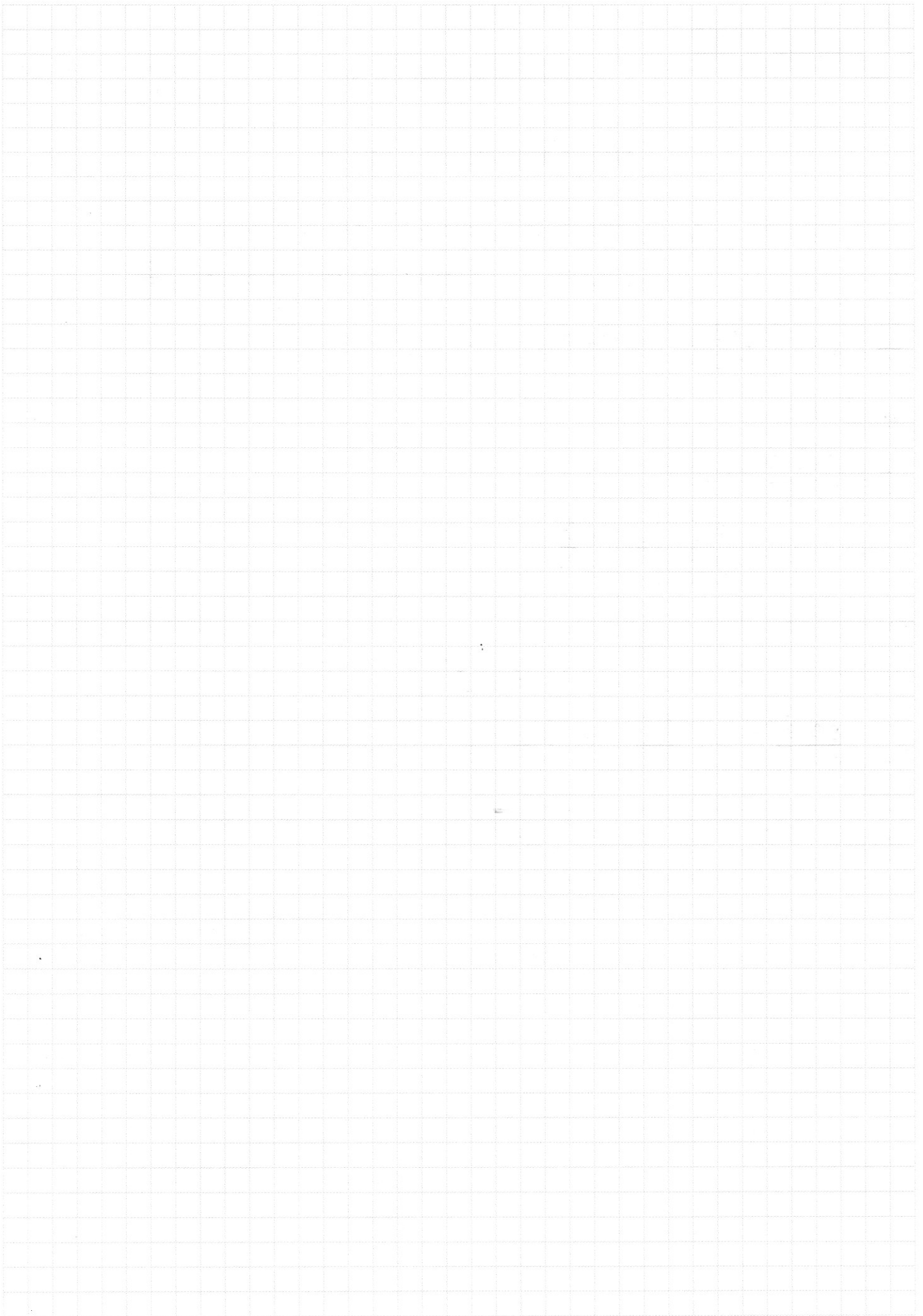
$$v = \frac{4\sqrt{2} \cdot D}{9\tau_0} \approx 0,63 \frac{D}{\tau_0}$$

$$\text{Ответ: } v = \frac{4\sqrt{2} D}{9\tau_0} \approx 0,63 \frac{D}{\tau_0}$$

(3) время t_1 - время когда из линии магнет
выходит из щели $\Rightarrow t_1 = \frac{D'}{v}$

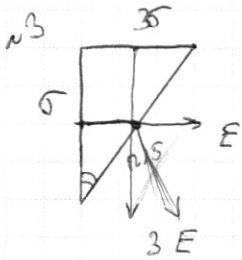
$$t_1 = \frac{8D \cdot 9\tau_0}{3 \cdot 4\sqrt{2} D} = \frac{3\tau_0}{2\sqrt{2}} = \frac{3\sqrt{2}}{4} \tau_0$$

$$\text{Ответ: } t_1 = \frac{3\sqrt{2}}{4} \tau_0 \approx 1,1 \tau_0$$



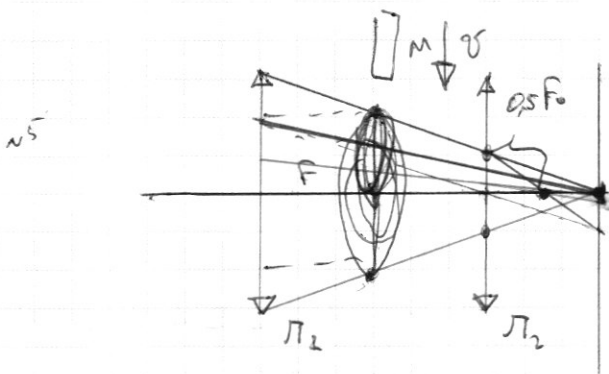
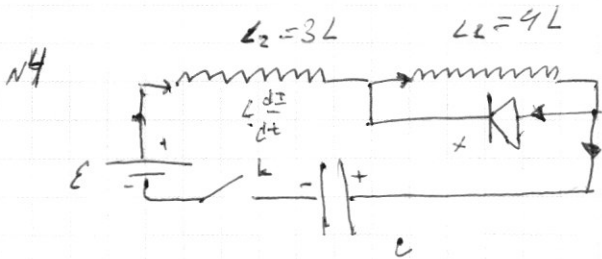
черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$\Phi_0 = \sqrt{10} E \quad \frac{q}{\epsilon_0} = ES$$



$$I = 9 F_0$$

$$\frac{4}{92} = \frac{4}{9} = \frac{\pi d^2}{2 \pi D^2} = \frac{4}{9} = \frac{3}{2} \frac{d^2}{D^2}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{2}{3} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{2 \cdot 1,42}{3 \cdot 1,73} = \frac{284}{519}$$

$$\frac{8}{27} = \frac{d^2}{D^2}$$

$$2,5 = \frac{D^2}{d^2}$$

$$\frac{2,5}{4} = \frac{D}{d}$$

$$L_0 = L_1 + L_2 = 1,54L$$

$$T_0 =$$

$$V = \frac{d}{T_0} = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \frac{D}{T_0}$$

$$t_{\pm} = \frac{D_0}{v} = \frac{10 \cdot 3\sqrt{3}}{2\sqrt{2}}$$

$$0,71 \cdot 12 = 7,1 + 1,42 = 8,52$$

N4

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{F_0} + \frac{1}{\Delta x_2}$$

$$\Delta x_2 = \frac{2 F_0}{2}$$

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

$$L_0 = 3L + 4L = 7L$$

$$2\pi \sqrt{7LC} = 2\pi \sqrt{2L} \quad E = \frac{7L \frac{dI}{dt}}{\sqrt{7} R}$$

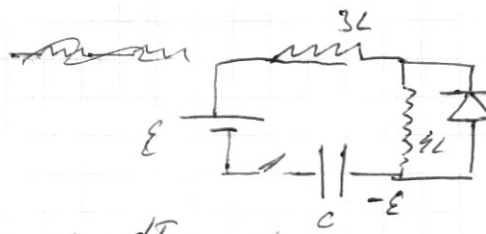
$$= R \sqrt{2} (\sqrt{7} + \sqrt{3})$$

$$1,73 + 1,06 = 2,79$$

$$2,6 + 1,7 = 4,3$$

микро

$$d = \frac{16 \cdot 2}{81} = \sqrt{\frac{4}{9}} \frac{4}{9} \sqrt{2} D$$



$$\begin{array}{r} 3L \\ 2,6 \\ \times 2,6 \\ 15,6 \\ 55 \\ 7,06 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1 \quad 3L \\ 4 \quad 26 \\ \hline 25 \\ \times \\ 21 \quad 30 \\ 85 \quad 2 \\ \hline 10650 \\ 3 \cdot 1,42 = 4,26 \\ \hline \end{array}$$

$$\frac{\pi}{2} = \frac{4}{9} D^2 = \frac{2}{9} \pi D^2$$

$$24,8$$

$$568 + 56,8$$

$$624,8$$

$$5,68$$

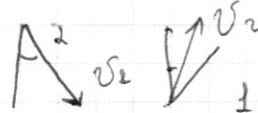
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~1

$v_2 = 12 \text{ м/с}$ $\sin \alpha = \frac{1}{2}$ $\alpha = 30^\circ$ $\cos \alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\sin \beta = \frac{1}{3}$

$\cos \beta = \sqrt{\frac{8}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$



$118,7 \cdot 15 = 1187,500 + 50 + 40,35 = 1777,85$

$v_x = \text{const}$

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

$v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{3}{2} v_1$

$v_2 = 18 \text{ м/с}$

$v_{y2} = 2v_1 v_{y1}$

$u = \frac{v_{y2} - v_{y1}}{2} = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} =$

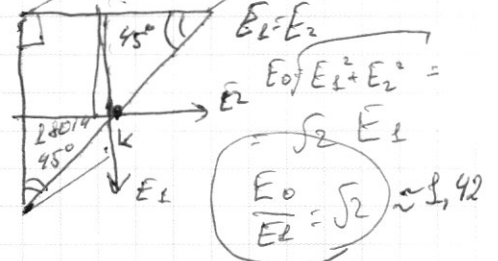
$= \frac{18 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} - 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} = 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3} = 3(2\sqrt{2} - \sqrt{3})$

5	5
1,78	1,73
1,4024	1,73
1,246	5,29
1,78	1,211
2,31284173	
2,9929	

141	142
141	142
141	284
564	568
141	142
1,98820364	

$2,84 - 1,73 = 1,11 = 3 = 3,33 \frac{m}{s}$

~3



$v_1^2 = v_{y1}^2 + v_{x1}^2$

$v_{x1} = v_1 \sin \alpha$

$v_{y1} = v_1 \cos \alpha$



$1687 + 1437 + 1777 + 1187 + 500 + 50 + 40 + 35 = 1780,5$
590 90

~2

$P_1 v_1 = v_1 R T_1$

$P_2 v_2 = v_2 R T_2$

$P_1 = P_2$

$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_2}{T_1}$

$\frac{v_1}{v_2} = \frac{7}{11} \approx 0,64$

$\frac{32}{50} = \frac{16}{25}$

$118,7$
 $59,35$
 $118,7$
 $59,35$



$0,64 \cdot 0,68 = 0,4352$
 $0,68 = 0,68$

$P_3 = P_4$ $T_3 = T_4$

$2 v_1 v T_3 = v_1 v T_1 + v_1 v T_2$

$T_3 = \frac{T_1 + T_2}{2} = 950 \text{ K}$

$Q = v C_v (T_3 - T_1) =$

$= \frac{7}{4} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot (100) = \frac{15}{4} \cdot 831 \approx 1780 \text{ Дж}$

$831 \cdot 17$
 $118,7$
 132
 $118,7$
 61
 56
 50
 49
 10
 30



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)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)