

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

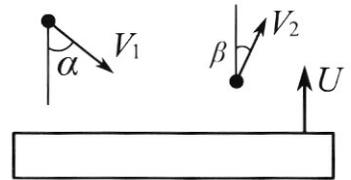
Класс 11

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

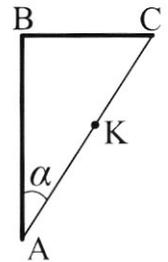
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится аргон, во втором – криптон, каждый газ в количестве $\nu = 3/5$ моль. Начальная температура аргона $T_1 = 320$ 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?

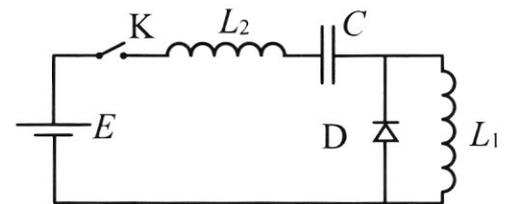
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 $\sigma_1 = \sigma$, $\sigma_2 = 2\sigma/7$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/9$. 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 $L_1 = 5L$, $L_2 = 4L$, 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 .

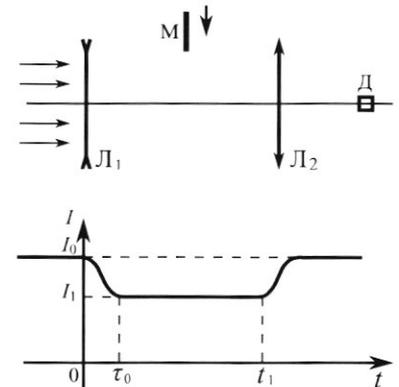


1) Найти период T этих колебаний.

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 L_1 и L_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 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). $I_1 = 7I_0/16$



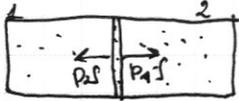
1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.

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

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\sqrt{2} \cdot V = \frac{3}{5} \text{ лямбда}, T_1 = 320 \text{ K}, T_2 = 400 \text{ K}, R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$



III. Критерия для поршня (го начало не подходит):

$p_1 S = p_2 S \Rightarrow p_1 = p_2 = p_0$

$p_0 V_1 = \nu R T_1$ - где ν - число моль
 $p_0 V_2 = \nu R T_2$ - где ν - число моль

$\frac{p_0 V_1}{p_0 V_2} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{22}{40} = \frac{11}{20} = \frac{8}{10} = 0,8$ - отношение начальных объемов

Пусть $2V$ - объем сосуда, тогда $2V = V_1 + V_2 = 1,8 V_2 \Rightarrow V = 0,9 V_2, V_1 = 0,8 V_2$

Запишем конечные уравнения для газов (т.к. поршень в равновесии, то по III критерию $p_1' = p_2' = p$)

$p V_1' = \nu R T_K \Rightarrow V_1' = V_2' = \frac{2V}{2} = V$ (конечный объем сосуда), T_K - конечная температура

$p V_2' = \nu R T_K$

$Q_{\text{газов}} = \frac{3}{2} \nu R (T_K - T_1) + \frac{p_0 + p}{2} (V - V_1) = - \left(\frac{3}{2} \nu R (T_K - T_2) + \frac{p_0 + p}{2} (V - V_2) \right) = - Q_{\text{критерия}}$

$\frac{3}{2} \nu R (T_K - T_1) - \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{\nu R T_1 V}{2 V_1} - \frac{\nu R T_1}{2} + \frac{\nu R T_K}{2} - \frac{\nu R T_K V_1}{2 V} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_K) + \frac{\nu R T_2}{2} - \frac{\nu R T_2 V}{2 V_2} + \frac{\nu R T_K V_2}{2 V} - \frac{\nu R T_K}{2}$

$\frac{3}{2} \nu R (2 T_K - T_1 - T_2) + \frac{\nu R T_1}{2} \left(\frac{V}{V_1} - 1 \right) + \frac{\nu R T_K}{2} \left(1 - \frac{V_1}{V} - \frac{V_2}{V} + 1 \right) + \frac{\nu R T_2}{2} \left(\frac{V}{V_2} - 1 \right) = 0$

$\frac{3}{2} \nu R (2 T_K - T_1 - T_2) + \frac{\nu R T_1}{2} \left(\frac{0,9 V_2}{0,8 V_2} - 1 \right) + \frac{\nu R T_K}{2} \left(2 - \frac{0,8 V_2}{0,9 V_2} - \frac{V_2}{0,9 V_2} + 1 \right) + \frac{\nu R T_2}{2} \left(\frac{0,9 V_2}{V_2} - 1 \right) = 0$

$3 T_K = \frac{3}{2} (T_1 + T_2) + \frac{T_1}{1,6} + \frac{T_K}{0,9} - \frac{T_2}{0,9} = 3 \cdot 320 + 1,5 (T_1 + T_2) + \left(\frac{T_1}{2 V_1} + \frac{T_K}{2 V} \right) \cdot 0,9 V_2 = 1,5 (T_2 - T_K) + \left(\frac{T_1}{2 V_1} + \frac{T_K}{2 V} \right) \cdot 0,9 V_2$

$T_K (3 + \frac{0,9}{1,6}) = \frac{3}{2} (320 + 400) + \frac{320}{1,6} + \frac{400}{2,7} = 3 \cdot 320 + 200 + 148 = 1440$

$1,5 T_K - 1,5 T_1 = 1,5 T_2 - 1,5 T_K$

$3 T_K = 1,5 (T_1 + T_2) = \frac{3}{2} (320 + 400)$

$3 T_K = 1440 \text{ K}$
 $T_K = \frac{1440}{3} = 480 \text{ K}$

$T_K = 360 \text{ K}$

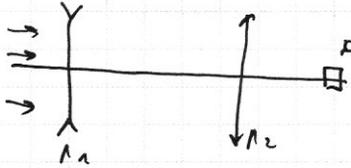
$Q = \frac{3}{2} \nu R (360 - 320) + \frac{400 \cdot 0,9 V_2}{2 V_2} + \frac{360 \cdot 0,9 V_2}{2 \cdot 0,9 V_2} = \frac{3}{2} \cdot 8,31 \cdot 40 + 20 + 20 = 40 + 20 = 60 + 279,16 =$

$= 339,16 \text{ Дж}$

Ответ: 1) $\frac{V_1}{V_2} = 0,8$; 2) $T_K = 360 \text{ K}$; 3) $Q = 339,16 \text{ Дж}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

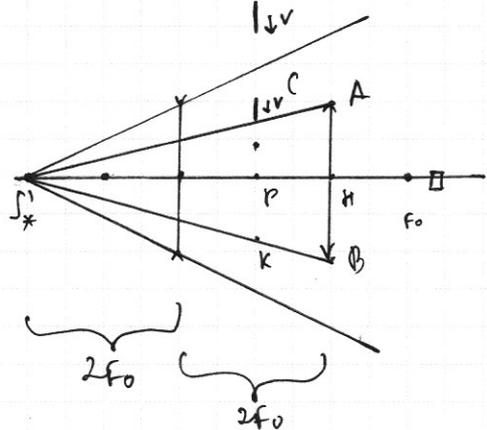
$$\sim 5 - 2F_0, F_0, I_1 = \frac{7I_0}{16}, D, \tau_0$$



Минус изображение в L_1 собирается в фокусе $-2F_0$ (свет от линзы) и является источником для L_2

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \text{ где } d = 2F_0 + 2F_0 = 4F_0, F = F_0$$

$$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{4F_0} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{4-1}{4F_0} = \frac{3}{4F_0} \Rightarrow f = \frac{4}{3}F_0 - \text{расстояние между линзой и фотодетектором}$$



За время τ_0 линза ~~сдвигается~~ полностью вошла в поток (принимает световую длину) $\Rightarrow v\tau_0 = \text{длина линзы}$

$$\Delta S'AB \sim \Delta S'CK \text{ (по углам)}$$

$$\frac{AB}{CK} = \frac{S'H}{S'P} = \frac{4F_0}{3F_0} = \frac{4}{3} = \frac{D}{CK} \Rightarrow CK = \frac{3}{4}D$$

Линза за время $(t_1 - \tau_0)$ пройдёт $\frac{3}{4}D - l$, где l - длина линзы

$$I \sim P \Rightarrow \frac{\frac{3}{4}D}{\frac{3}{4}D - l} = \frac{I_0}{\frac{7I_0}{16}} = \frac{16}{7} \Rightarrow \frac{3}{4}D = \frac{3 \cdot 4}{7}D - \frac{16}{7}l \Rightarrow \frac{16l}{7} = \left(\frac{12 \cdot 4}{28} - \frac{3 \cdot 7}{28}\right)D = \frac{27}{28}D$$

$$\frac{16l}{7} = \frac{27}{28}D \Rightarrow l = \frac{27}{64}D \Rightarrow v\tau_0 = \frac{27}{64}D \Rightarrow v = \frac{27D}{64\tau_0}$$

$$v(t_1 - \tau_0) = \frac{3}{4}D - \frac{27}{64}D = \frac{21}{64}D$$

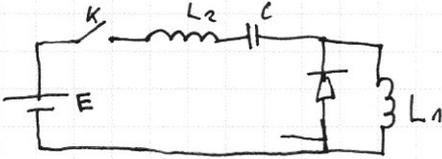
$$t_1 - \tau_0 = \frac{21}{64}D \cdot \frac{64\tau_0}{27D} = \frac{21}{27}\tau_0$$

$$t_1 = \tau_0 \left(\frac{21}{27} + \frac{27}{27} \right) = \frac{48}{27}\tau_0 = \frac{16}{9}\tau_0$$

Ответ: 1) $f = \frac{4}{3}F_0$; 2) $v = \frac{27D}{64\tau_0}$; 3) $t_1 = \frac{16}{9}\tau_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$L_1 = 5L, L_2 = 4L, C, E$



Сначала ток течёт по часовой стрелке, через L_1 , потом

ток начинает течь в другую сторону, через диод (через L_1 , не течёт)

Т.е. $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{9LC}}$, $\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{4LC}} \Rightarrow T = \pi\sqrt{9LC} + \pi\sqrt{4LC} = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{9} + \sqrt{4}) = 5\pi\sqrt{LC}$

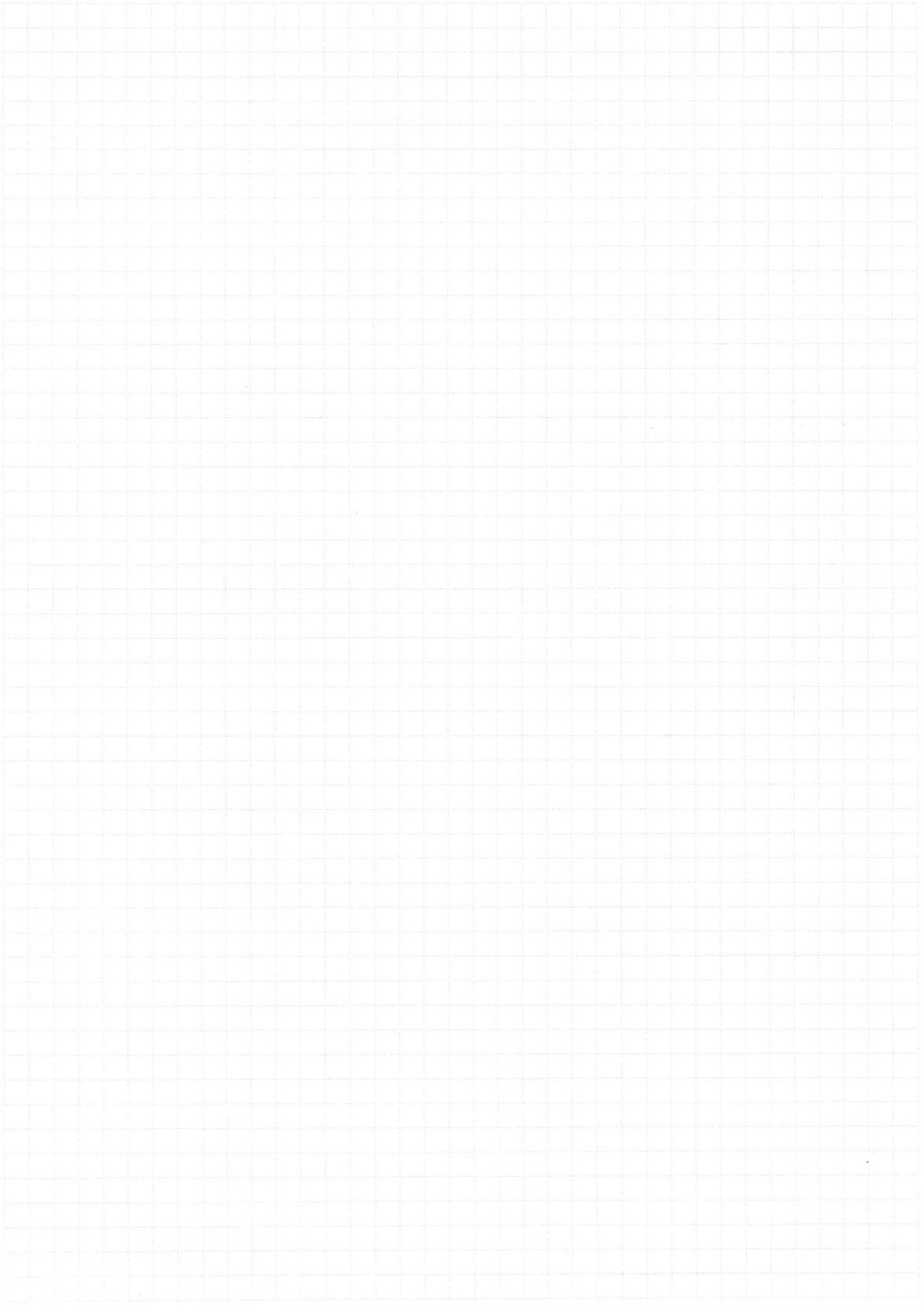
$U_L = L \frac{dI}{dt}$

ЗОЗ:

$\mathcal{E}q = \frac{cu^2}{2}$ - когда $I=0 \Rightarrow q = 2\mathcal{E}C \Rightarrow \mathcal{E}(2\mathcal{E}C) = \frac{9LI_{01}^2}{2} \Rightarrow 4\mathcal{E}^2C = 9LI_{01}^2 \Rightarrow I_{01} = \sqrt{\frac{4\mathcal{E}^2C}{9L}} = \frac{2\mathcal{E}\sqrt{C}}{3}$

$2\mathcal{E}^2C = \frac{4LI_{02}^2}{2} \Rightarrow I_{02} = \sqrt{\frac{4\mathcal{E}^2C}{4L}} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L}}$

Ответ: 1) $T = 5\pi\sqrt{LC}$; 2) $I_{01} = \frac{2}{3} \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L}}$; 3) $I_{02} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L}}$



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



Векторы углов

Векторы углов, мо

Углы наклона

наклон ступеней

Векторы углов

$$\frac{3.3 - 2.2}{3.3} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

$$U = \frac{8}{8-3.5} = \dots$$

$$2U + U \cos \alpha = U \frac{5.4}{3.4} \cos \alpha$$

$$U_1 \cos \alpha + U = U_2 \cos \beta - U$$

$$18 \cdot \cos 2 + 2U > 16$$

$$2U > 16 - 18 \cos 2$$

$$\frac{5}{8} = \frac{5}{8} - \frac{5}{8} = \dots$$

$$\cos \alpha = \frac{1 - \frac{5}{8}}{\frac{5}{8}} = \dots$$

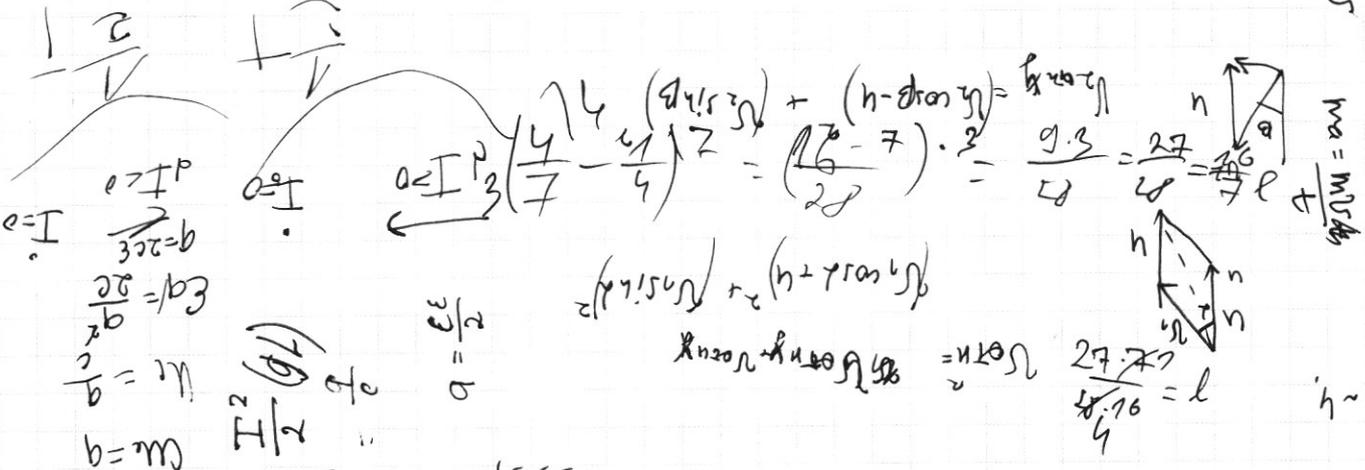


$$U_2^2 \cos^2 \alpha + 2U_1 U \cos \alpha + U_1^2 = U_2^2 \cos^2 \beta + 2U_1 U \cos \beta + U_1^2$$

мост

мост

мост



$$U_1 = \frac{q}{q^2}, U_2 = q$$

$$I_1^2 = \frac{q^2}{2}$$

$$q = \frac{33}{2}$$

$$C U_c^2 = \frac{C E^2}{2}$$

$$E q = \dots$$

$$E q = \frac{53}{169}$$

Корона мостов:

$$E = U_1 + U_c + U_2$$

$$3 T_k = 1.5 (400 + 320)$$

$$1.5 T_k - 1.5 \cdot 320 = 1.5 \cdot 400 - 1.5 T_k$$

$$\frac{13}{2} = \frac{6}{3}$$

$$1.5 (T_k - 320) + \frac{2}{3} (T_k - T_k) + 20 + \frac{18}{2} = \dots$$

$$40 + \frac{9 \cdot 40}{9 \cdot 40} = 40 + 9 \cdot 40$$

$$\frac{2}{40} = \frac{1000h}{40000}$$

$$P = \frac{F}{A} = P \cdot \frac{S \cdot H}{S} = \dots$$

$$I \sim \sqrt{P} \cdot S \sim I$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~1

$$\sin \alpha = \frac{0}{3}, \sin \beta = \frac{3}{5}$$

$$V_1 = 18 \text{ м/с}$$

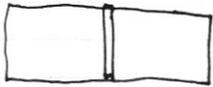
$$V = \frac{0.8}{2} V_2 = \frac{18}{20} V_2 = 0.9 V_2$$

$$V = \frac{9}{10} = 0.9 V_2$$

ЗСН: $mV_1 \cos \alpha = mV_2 \cos \beta$
 $V_2 = V_1 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$

на х: $mV_1 \sin \alpha = mV_2 \sin \beta$
 $V_2 = V_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 18 \cdot \frac{0.5}{3 \cdot 0.8} = 20 \text{ м/с}$

~2 $A_g, V = \frac{3}{5}, i = 3, T_1 = 320 \text{ K}, T_2 = 400 \text{ K}, R = 8.31$



Ур-е Менделеева-Клапейрона:

$$p_1 V_1 = \nu R T_1$$

$$p_2 V_2 = \nu R T_2$$

ТК до взрывчатого: температуры поршня по обеим сторонам, но $p_1 = p_2 = p$

$$2V = V_1 + V_2$$

$$2V = 0.8 V_2 + 1 V_2 = 1.8 V_2$$

$$p V_1 = \nu R T_1$$

$$p V_2 = \nu R T_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{320}{400} = \frac{32}{40} = \frac{16}{20} = \frac{4}{5} = 0.8$$

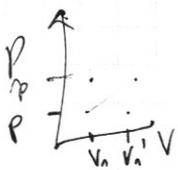
$$V_1 = 0.8 V_2$$

$$V = 0.9 V_2$$

$p V_1$
стало
 $p_1 V_1'$

$$Q_{\text{Кларипона}} = \frac{3}{2} \nu R (T_K - T_1) + \frac{p+p_1}{2} (V_1' - V_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_K - T_2) + \frac{p+p_1}{2} (V_2' - V_2)$$

$$\frac{p+p_1}{2} = \frac{\nu R T_1}{2 V_1} + \frac{\nu R T_K}{2 V} = \frac{\nu R T_2}{2 V_2} + \frac{\nu R T_K}{2 V}$$



$$(p+p_1) (V_1' - V_1)$$

в конце:

$$p_1 V_1' = \nu R T_K$$

$$p_1 V_2' = \nu R T_K$$

тк. в конце температур поршней равнялись, а давления одинаковы (исходя из II З. Кларипона закон), но $\frac{V_1'}{V_2'} = 1 \Rightarrow V_1' = V_2' = V'$

$$Q = \frac{3}{2} \nu R (T_K - T_1) + \frac{p+p_1}{2} (V - V_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_K - T_2) + \frac{p+p_1}{2} (V - V_2)$$

$$\frac{3}{2} \nu R T_K - \frac{3}{2} \nu R T_1 + \frac{\nu R T_1 V}{2 V_1} + \frac{\nu R T_K}{2} - \frac{\nu R T_1}{2} - \frac{\nu R T_K V_1}{2 V} = \frac{3}{2} \nu R T_K \left(\frac{V}{2 V_1} - \frac{V_1}{2 V} \right) + \frac{\nu R T_1 V}{2 V_1} - \frac{\nu R T_1}{2} - \frac{\nu R T_K V_1}{2 V} + \frac{\nu R T_2 V}{2 V_2} - \frac{\nu R T_2}{2} - \frac{\nu R T_K V_2}{2 V}$$

$$\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{\nu R T_K}{2 V} (V_2 - V_1) + \frac{\nu R}{2} (T_2 - T_1) + \nu R V \left(\frac{T_1}{2 V_1} - \frac{T_2}{2 V_2} \right) = 0$$

$$\frac{\nu R T_K \cdot 0.2 V_2}{2 \cdot 0.9 V_2} + \frac{\nu R}{2} (T_2 - T_1) + \nu R \cdot 0.9 V_2 \left(\frac{T_1}{1.8 V_1} - \frac{T_2}{2 V_2} \right) = 0$$

черновик чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №

(Нумеровать только чистовики)

$$TK(3 + \frac{10}{9}) = \frac{3}{2}(320 + 400) - 20 + 20 \quad 8 - 10 = \frac{-2}{9} \quad 2 + \frac{2}{9} = \frac{20}{9}$$

$$3 + \frac{10}{9} = \frac{37}{9} = \frac{720 \cdot 3}{2}$$

$$\frac{TK}{2} (2 - \frac{0.8-1}{0.9}) = \frac{TK}{2} (2 + \frac{0.2}{0.9}) \quad 2 + \frac{2}{9} = \frac{18+2}{9} = \frac{20}{9} = \frac{TK \cdot 20}{18} = \frac{TK \cdot 10}{9}$$

$$\frac{TK}{2} (0.9 - 1) = \frac{-TK \cdot 0.1}{2} = \frac{-TK}{2}$$

