Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

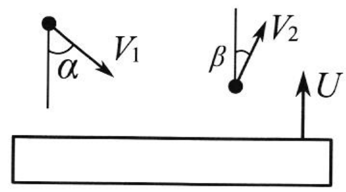
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарём)

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

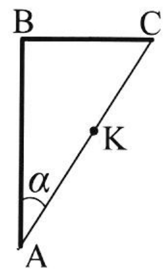
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода T_1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

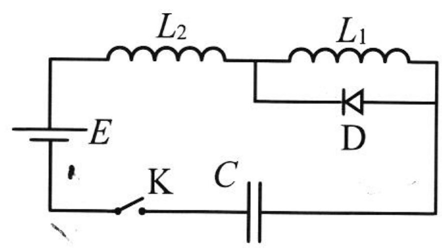
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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.

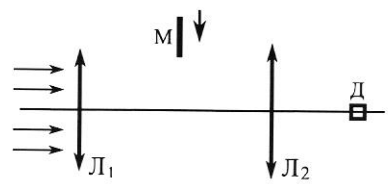


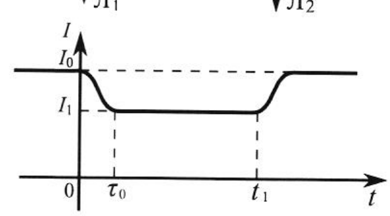
1) Найти период T этих колебаний.

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 Л$_1$ и Л$_2$ (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 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 F_0 от Л$_1$. 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 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

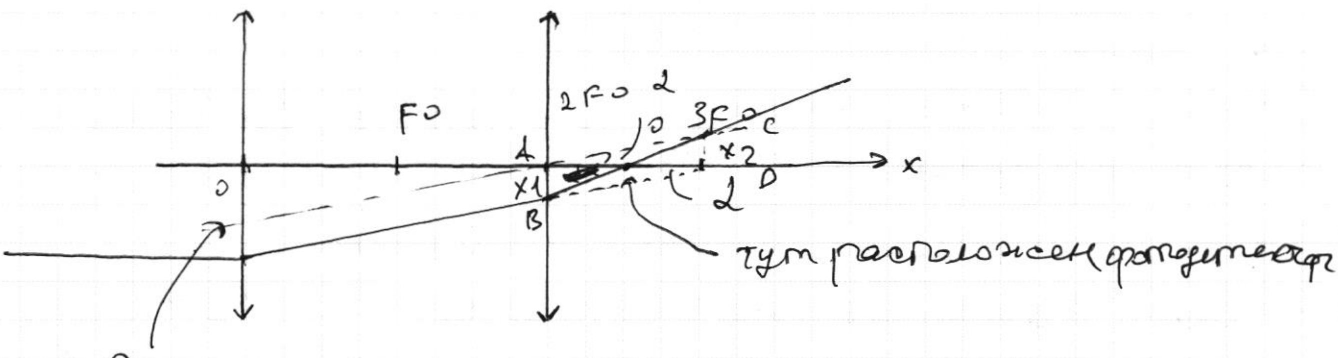
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5



$$tg\,\alpha = \frac{D}{3F_0} = \frac{x1}{F_0} \Rightarrow x1 = \frac{D}{3}$$

$$tg\,\alpha = \frac{x2}{F_0} \Rightarrow x2 = \frac{D}{3}$$

~~т.к.~~ Из подобия треугол. $\triangle ABO$ и $\triangle CDO$ (по 3-ём углам) и коэф подобия $1 \Rightarrow$

Расстояние между линзой 2 и фотодетектором $\frac{F_0}{2}$

1) $\frac{F_0}{2}$

2) Заметим, что сила тока пропорциональна мощности, а мощность пропорциональна площади, через которую проходят лучи.

Обозначим площадь ~~экрана~~ мишени М за S. Учитывая всё вышесказанное:

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{X}{D} \Rightarrow X = \frac{5}{9}D$$

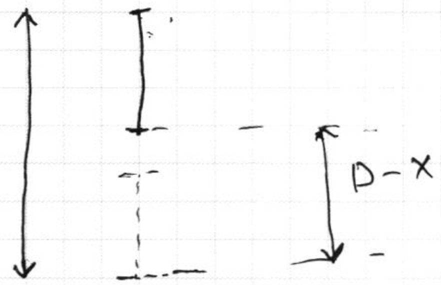
X - в данном случае линейный размер мишени (~~S~~ линейный размер в данном случае прямо пропорционален площади)

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

За время t_1-t_0 мишень проходит расстояние $D-X$,

$$v=\frac{D-x}{t_1-t_0}$$



Стоит также отметить, что первые t_0 времени график представляет собой кривую, что говорит о том что ~~линза~~ мишень начинает заходить в среду где распространяется свет

$$v=\frac{x}{t_0}$$

Получили систему уравнений решая, которую находим неизв. V и t_1

$$\begin{cases} v=\frac{x}{t_0} \\ v=\frac{D-x}{t_1-t_0} \\ x=\frac{5}{9}D \end{cases}$$

$$v=\frac{5}{9}\frac{D}{t_0}$$

$$\frac{5}{9}\frac{D}{t_0}=\frac{4D}{9(t_1-t_0)} \Rightarrow \cancel{45t_1-45t_0}$$

$$5t_1-5t_0=4t_0$$

$$5t_1=9t_0$$

$$t_1=\frac{9}{5}t_0$$

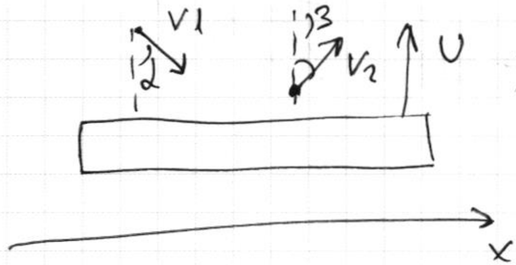
Ответ: 1) $\frac{F_0}{2}$

2) $V=\frac{5}{9}\frac{D}{t_0}$

3) $t_1=\frac{9}{5}t_0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



1) Запишем ЗСИ в проекции на ось x. т.к в этой проекции действие внешних сил равно нулю.

$V_1 \cdot \sin\alpha \cdot m = V_2 \cdot \sin\beta \cdot m$

$V_2 = V_1 \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 12 \cdot \frac{3}{2} = 6 \cdot 3 = 18\ \frac{м}{с}$

~~ЗСИ в проекции на перпендикулярную x ось~~

$\cancel{Mu - mV_1\cos\alpha = Mu}$

2) Пересядем в С.О плиты и запишем ЗСИ на ось перпендикулярную оси X

← сила действующая со стороны плиты на шарик.

$m(V_1 \cdot \cos\alpha + u) + F\Delta t =$

$= m(V_2\cos\beta - u)$

$\cancel{\frac{F}{m}\Delta t = (V_2 - V_1)\cos\alpha - 2u \Rightarrow u = (V_2 - V_1)\cos\alpha \cdot \frac{1}{2} - \frac{F}{m}\Delta t \frac{1}{2}}$

~~Таким образом~~ $\cancel{u \in \left(0; \frac{V_2 - V_1}{2} \cdot \cos\alpha\right)}$

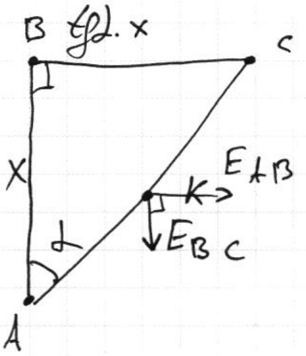
$\frac{F}{m}\Delta t = V_2\cos\beta - V_1\cos\alpha - 2u \Rightarrow$

$\Rightarrow u = \frac{1}{2}\left(V_2\cos\beta - V_1\cos\alpha - \frac{F}{m}\Delta t\right)$

Таким образом $u \in \left(0; \frac{1}{2}(V_2\cos\beta - V_1\cos\alpha)\right)$

$\cancel{\frac{1}{2}(V_2\cos\beta - V_1\cos\alpha) = \frac{1}{2}\left(\frac{18}{3} - \right.}$

№3



1) ~~ρ — поверхностная плотность заряда пластин~~

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

В начале: $E_1 = E_{BC}$

В конце: $E_2 = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2}$ $\qquad \frac{E_2}{E_1} = \alpha$

$E_{AB} = \frac{\rho \cdot S_{AB}}{}$

3) При постоянном давлении

$\cancel{C_p = \frac{5}{2} R}$ $\quad C_p = \frac{7}{2} R$

$Q_{12} = \frac{7}{2} R (T - T_2)\nu$

$Q_{12} = \frac{7}{2} \cdot \frac{25}{3}(450 - 550) \cdot \frac{6}{7} = -25 \cdot 100 = -2500$ Дж

Ответ:

1) $\frac{V_2}{V_1} = \frac{11}{7}$

2) $T = 450$ K

3) $Q_{12} = -2500$ Дж

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\cos\alpha = \sqrt{1-\frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos\beta = \sqrt{1-\frac{1}{9}} = \frac{\sqrt{8}}{3} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$\frac{1}{2}\left(18\cdot\frac{2\sqrt{2}}{3} - 12\cdot\frac{\sqrt{3}}{2}\right) = \frac{1}{2}\left(12\sqrt{2}-6\sqrt{3}\right) = 6\sqrt{2}-3\sqrt{3} = 3(2\sqrt{2}-\sqrt{3})$$

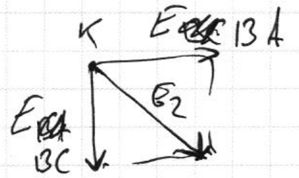
$$u \in \left(0;\ 3(2\sqrt{2}-\sqrt{3})\right)$$

Ответ:

1) $V_2 = 18\ \frac{м}{с}$

2) $u \in \left(0;\ 3(2\sqrt{2}-\sqrt{3})\right)$

№3

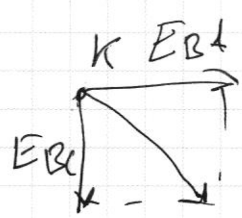


$$E_1 = E_{BC}$$

$$E_2 = \sqrt{E_{BA}+E_{BC}}$$, т.к поверхностные плотности заряда равны, то $E_{BA} = E_{BC}$

1) $\boxed{\frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2}}$

2)



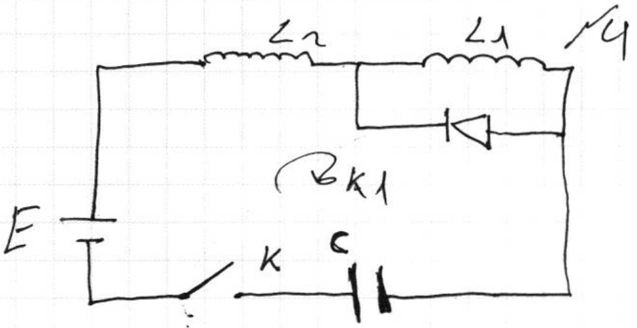
$$E_{BA} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$E_{BC} = \frac{3\sigma}{2\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\left(\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2+\left(\frac{3}{2}\right)^2}\right)$$

$$E = \frac{4\sigma}{2\varepsilon_0} = 2\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

Ответ: 1) $\frac{E_2}{E_1} = \sqrt{2}$ 2) $E = 2\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$



~~Когда конденсатор полностью будет заряжен в этот момент ток в катушке (катушках ноль) и напряжение на конденсаторе E~~

ЗСЭ

$\cancel{L_2 \frac{I^2}{2}}$

$\cancel{E^2 C} \neq 10$

Запишем 2-е правило Кирхгофа для к1

$$E = -L_2 \frac{dI}{dt} - L_1 \frac{dI}{dt} - \frac{q}{c}$$

$$(L_1+L_2)\ddot{q} + q \cdot \frac{1}{c} + E = 0$$

$$(L_1+L_2)\ddot{q} + \frac{1}{c}\left(q + \frac{E}{c}\right) \qquad \left(q + \frac{E}{c}\right)^{\cdot\cdot} = \ddot{q}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{C(L_1+L_2)} \Rightarrow \underline{T = 2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)}}$$

$$q = A \cdot \sin \omega \cdot t \qquad A = CE$$

$$I = A\omega \cdot \overset{\cos}{\cancel{\sin}}(\omega \cdot t)$$

~~Ток через L_1 станет максимальным~~

~~$I_{m1} = CE \cdot \sqrt{\frac{1}{C(L_1+L_2)}} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2}\right)$~~ ~~максимальным~~

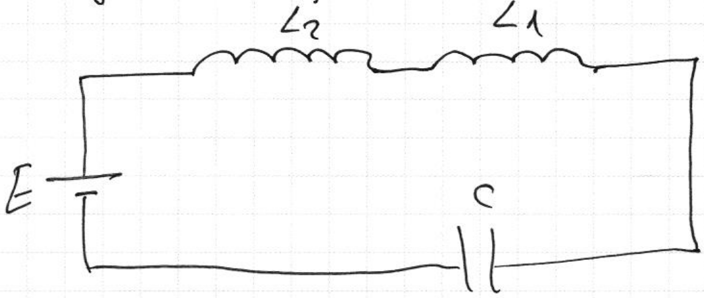
~~После $\frac{T}{4}$~~

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

(Поставьте галочку в нужном поле) (Нумеровать только чистовики)

№4

После того как ключ замкнут начнётся зарядка конденсатора



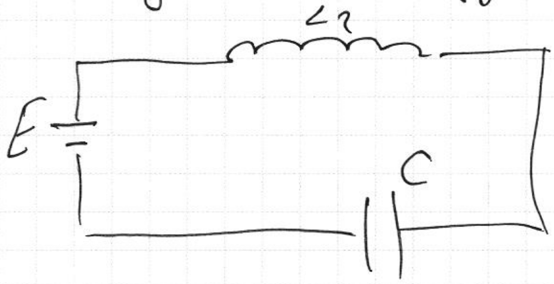
$$(L_1+L_2)\frac{dI}{dt}+\frac{1}{C}\left(q+\frac{E}{C}\right)=0$$

$$\frac{dI}{dt}=\ddot{q}=\left(q+\frac{E}{C}\right)$$

$$\omega_1^2=\frac{1}{(L_1+L_2)\cdot C}$$

$$T_1=2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)}$$

Далее происходит процесс разрядки конденсатора, катушка L_1 будет закорочена диодом



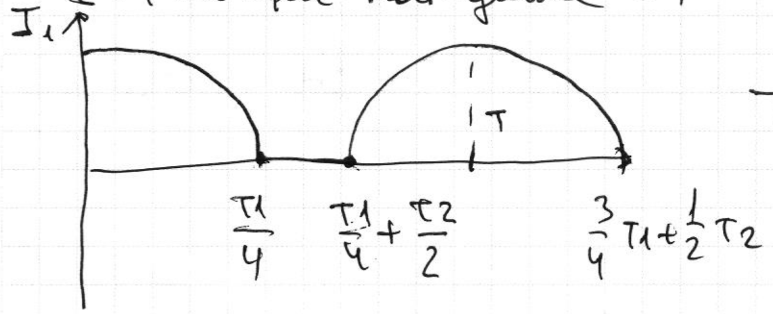
$$L_2\frac{dI}{dt}+\frac{1}{C}\left(q+\frac{E}{C}\right)=0$$

$$\omega_2^2=\frac{1}{CL_2}$$

$$T_2=2\pi\sqrt{CL_2}$$

Стоит отметить что конденсатор заряжается $\frac{T_1}{4}$, а разряжается $\frac{T_2}{4}$. Исходя из этого можно найти период колебаний на катушке L_1

ток на катушке L_1



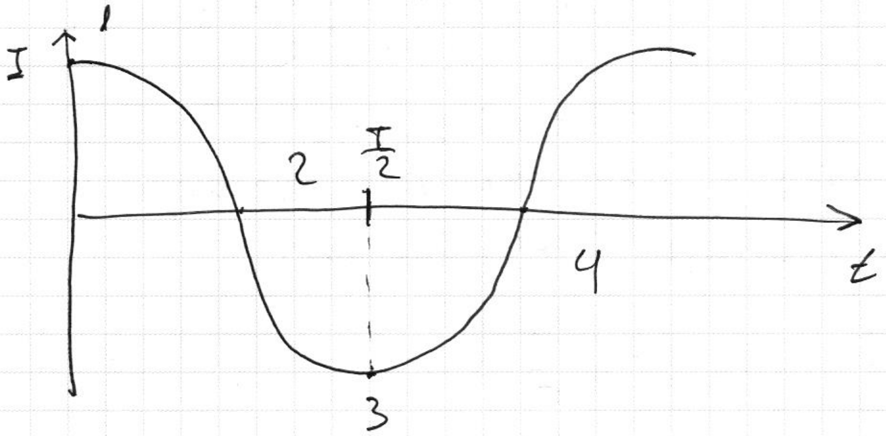
$$T=\frac{T_1}{4}+\frac{T_2}{2}+\frac{T_1}{4}=$$

$$=\frac{T_1+T_2}{2}$$

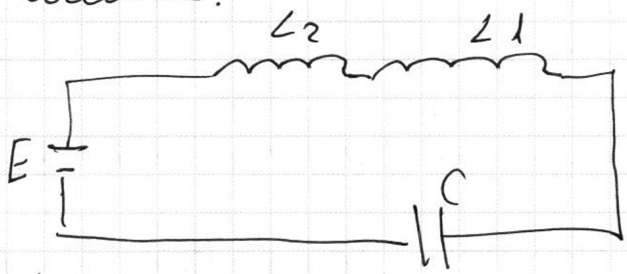
$$T=\pi\left(\sqrt{CL_2}+\sqrt{C(L_1+L_2)}\right)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

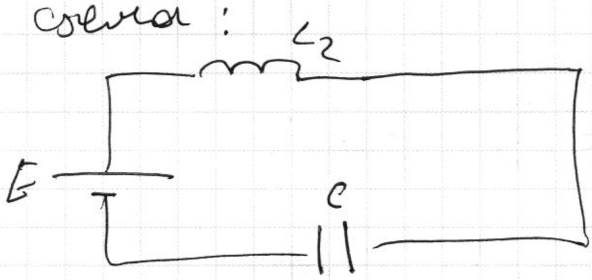
$$I = CE \cdot \sqrt{\frac{1}{C(L_1+L_2)}} \cdot \cos \omega \cdot t$$



На участке 12 конденсатор заряжается
схема:



На участке 23 происходит разрядка конденсатора
схема:



L_1 - закорочен диодом.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ур-е колебаний

$q = A\cos(\omega \cdot t)$ где $A = CE$

$I_{M1} = A\omega$

$I_{M1} = CE \cdot \sqrt{\frac{1}{(L_1+L_2)C}}$, в этом случае $I_2 \approx CE\sqrt{\frac{1}{(L_1+L_2)\cdot C}}$

Но дсуществует второй вариант

$I_{M2} = A\omega_2 = CE\sqrt{\frac{1}{L_2 \cdot C}}$ – это значение больше чем I_2 равно вывод, что это и есть ответ

Ответ:

1) $T = \pi\left(\sqrt{CL_2} + \sqrt{C(L_1+L_2)}\right)$

2) $I_{M1} = E \cdot \sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}}$

3) $I_{M2} = E \cdot \sqrt{\frac{C}{L_2}}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

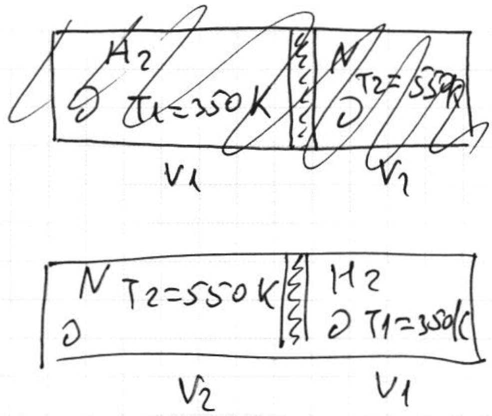
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2



1) Запишем ур-ия Менделеева-Клапейрона

$pV_1 = \vartheta R T_1$

$pV_2 = \vartheta R T_2$ $\Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{550}{350} = \frac{55}{35} = \frac{11}{7}$

2) Первое начало термодинамики

$Q_1 = \frac{5}{2}\vartheta R(T-T_1) + A$

$Q_2 = \frac{5}{2}\vartheta R(T-T_2) - A$

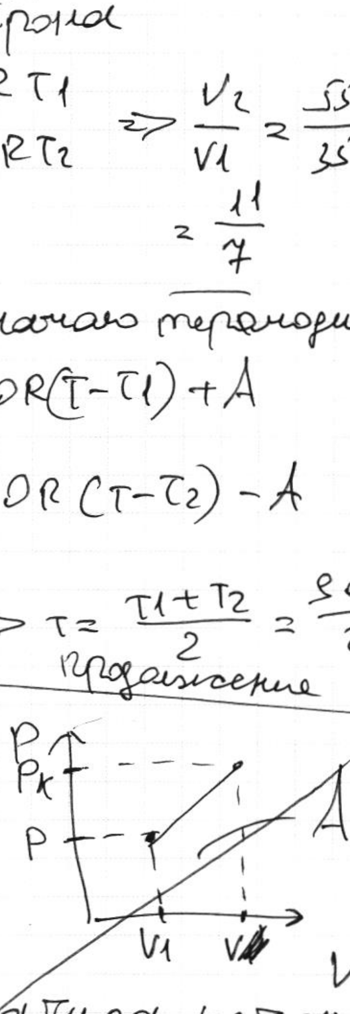
Т.к. сосуд теплоизолирован

$Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow T - T_1 = T_2 - T \Rightarrow T = \frac{T_1+T_2}{2} = \frac{900}{2} = 450K$

продолжение на 8 листе

3) $Q_1 = \frac{5}{2}\vartheta R(T-T_1) + A$

$Q_1 = \frac{5}{2}\vartheta R(T-T_1) + \frac{P+P_K}{2}(V - V_1)$



$A = \frac{P+P_K}{2}(V-V_1)$

$PV_1 = \vartheta R T_1$

$P_K V = \vartheta R T$

$P_K V_1 = \frac{9}{7}\vartheta R T$

$PV = \frac{7}{9}\vartheta R T_1$

Когда температура установиться поршень будет делить сосуд на два равных объёма то есть $2V = \frac{18}{7}V_1$

$Q_1 = \frac{5}{2}\vartheta R(T-T_1) + \frac{1}{2}(PV - PV_1 + P_K V - P_K V_1)$

$Q_1 = \frac{5}{2}\vartheta R(T-T_1) + \frac{1}{2}\left(\frac{7}{9}\vartheta R T_1 - \vartheta R T_1 + \vartheta R T - \frac{9}{7}\vartheta R T\right)$

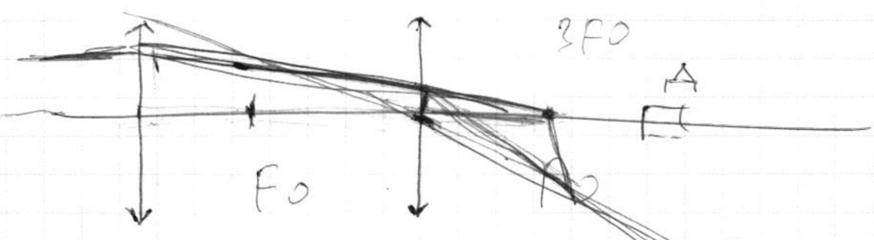
$Q_1 = \frac{5}{2}\vartheta R(T-T_1) - \frac{1}{9}\vartheta R T_1 - \frac{1}{7}\vartheta R T$

$Q_1 = \frac{33}{14}\vartheta R T - \frac{47}{18}\vartheta R T_1 = \frac{6}{7}\cdot\frac{25}{3}\left(\frac{33}{14}\cdot 450 - \frac{47}{18}\cdot 350\right) =$

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

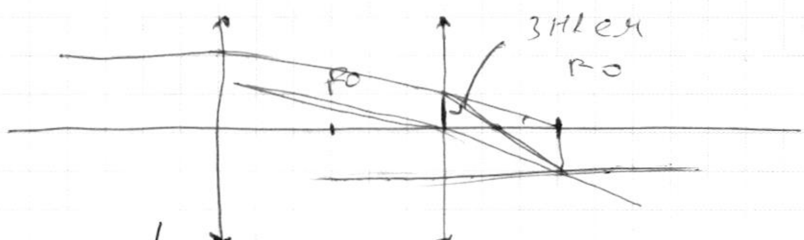
$\frac{50}{7}\cdot\frac{33}{14}$ $\frac{50}{7}\cdot\frac{47}{18}$

$\frac{50}{7}\left(\frac{33}{7}\cdot 225-\frac{47}{5}\cdot 175\right.$



$m(V_1\cos\alpha+U)=\cancel{F\Delta t}\,m(V_2\cos\beta-U)$

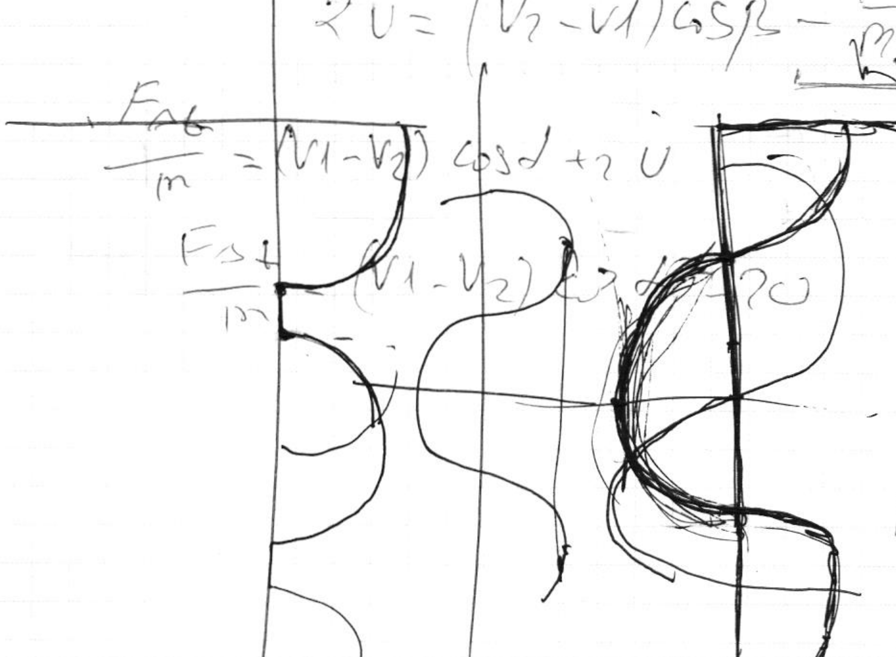
$\frac{F}{m}\Delta t=(V_2-V_1)\cos\beta-2U$



$2U=(V_2-V_1)\cos\beta-\frac{F}{m}\Delta t$

$\frac{F\Delta t}{m}=(V_1-V_2)\cos\alpha+2U$

$\frac{F\Delta t}{m}=(V_1-V_2)\cos\alpha-2U$



sin

cos α

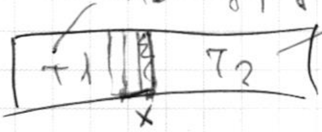
$I=I_0\cos$

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

ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

H_2 - водород N $\vartheta = \frac{6}{7}$ (моль) $P_1V_1 =$



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

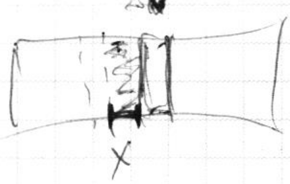
$R = 8{,}31$

$PV_1 = \vartheta R T_1$

$PV_2 = \vartheta R T_2$

$\frac{P_1+P_2}{2}(V_2-V_1)$

$\frac{1}{2}\, P_1V_2 - P_1V_1 + P_2V_2 - P_2V_1$



$P_1V_1 = \vartheta RT_1$

$P_2V_2 = \vartheta RT$

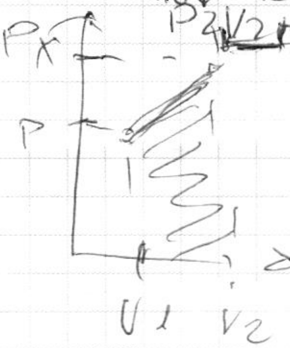
$\frac{5}{2}\vartheta R(T_2 - T) -$

$P_1V_1 = \vartheta RT_1$

$P_2V_2 = \vartheta RT$

$P_2V_2 = \vartheta RT$

$\frac{5}{2}\vartheta R(\cancel{T_2 - T})$ $T - T_2$ $+$

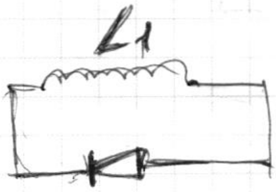


$Q = \frac{5}{2}R\vartheta$

$Ed = \varphi_1 - \varphi_2$ $\frac{P_1+P_2}{2}(V_2-V_1)$

$(P + P)(V_2 - V_1)$

$\frac{1}{2}\, PV_2 - PV_1 + P_2V_2 - PV_1$



$U = -L\frac{dI}{dt}$

$\ddot{q}$

$\ddot{x} + a\,x$

$\frac{5}{2}\vartheta R\, T - T_1 = T_2 - T$

550 | 350
350 | 1,5
2000
1750
2500

$\times$ 350
5
1750