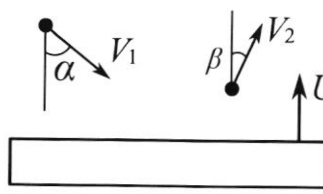
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

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.

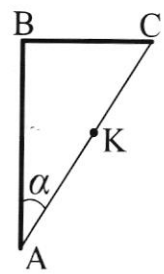
Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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.

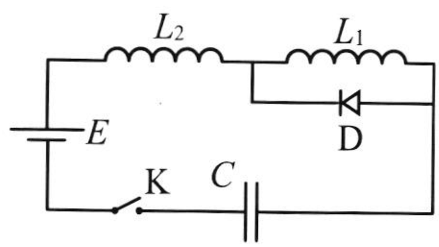
3) Какое количество теплоты передал азот водороду?



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

1) Пластина BC заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC, если пластину AB тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?

2) Пластины BC и AB заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/5$. Найти напряженность электрического поля в точке K на середине отрезка AC.



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.

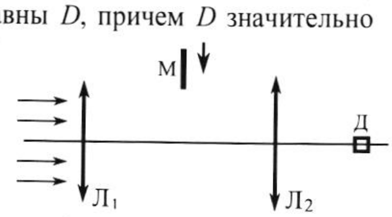
3) Найти максимальный ток I_{M2}, текущий через катушку L_2.

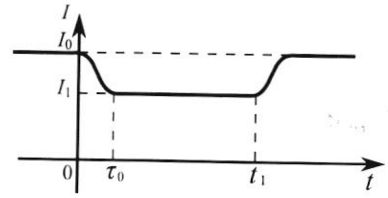
5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз Л$_1$ и Л$_2$ (см. рис.) с фокусными расстояниями $3F_0$ и F_0, соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D, причем D значительно меньше F_0. На линзу Л$_1$ падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой 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.





ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2

1) Запишем уравнение состояния газа для каждого газа. Давления в отсеках в каждый момент времени равны, т. к. поршень может двигаться без трения. Пусть в начальный момент времени давление равно p_1.

$p_1 V_1 = \nu R T_1$ (3) (водород)

$p_1 V_2 = \nu R T_2$ (4) (азот)

Общий объём сосуда $18 V_0$,

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350\,K}{550\,K} = \frac{7}{11}$. Пусть $V_1 = 7V_0$, $V_2 = 11 V_0$.

2) Рассмотрим систему из двух газов. Сосуд теплоизолирован, поэтому система не получает тепло. Система не совершает работу против внешних сил. По первому закону термодинамики $Q_0 = \Delta U + A_0$ (Q_0 – полученная системой теплота, A_0 – работа системы, ΔU – изменение внутренней энергии системы). $Q_0 = 0$, $A_0 = 0$ $\Rightarrow \Delta U = 0$.

$\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2 = 0$ (ΔU_1 – изменение внутренней энергии водорода, ΔU_2 – изменение внутренней энергии азота). $\Delta U_1 = -\Delta U_2$

$$C_V \nu (T_k - T_1) = -C_V \nu (T_k - T_2)$$

T_k – конечная температура газов (установившаяся).

$T_k - T_1 = T_2 - T_k \Rightarrow T_k = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350k + 550k}{2} = 450\,K$.

3) Пусть в какой-то момент времени во время процесса

выравнивания температур давления газов равны p_x, температура водорода T_{x_1}, азота – T_{x_2}, объём водорода – kV_0, объём азота – $(18-k)V_0$. Тогда

$p_x\, kV_0 = \nu R T_{x_1}$ (2) – для водорода

$p_x\,(18-k)V_0 = \nu R T_{x_2}$ – для азота

$\frac{k}{18-k} = \frac{T_{x_1}}{T_{x_2}} \Rightarrow T_{x_2} = \frac{T_{x_1}(18-k)}{k}$ (1)

ΔU_{x_1} – изменение внутренней энергии водорода к этому моменту, ΔU_{x_2} – азота.

$\Delta U_{x_1} = -\Delta U_{x_2}$ (т.к. внутренняя энергия системы сохраняется)

$C_V \nu (T_{x_1} - T_1) = -C_V \nu (T_{x_2} - T_2)$

$T_{x_1} - T_1 = T_2 - T_{x_2}$

$T_1 + T_2 = T_{x_1} + T_{x_2}$. Подставим (1) вместо T_{x_2}

$T_1 + T_2 = T_{x_1} + \frac{T_{x_1}(18-k)}{k} = T_{x_1}\left(1 + \frac{18-k}{k}\right) = \frac{T_{x_1}\cdot 18}{k}$

Из выражения (2) $T_{x_1} = \frac{p_x k V_0}{\nu R}$

$T_1 + T_2 = \frac{18 T_{x_1}}{k} = \frac{18}{k}\cdot\frac{p_x k V_0}{\nu R} = \frac{18 p_x V_0}{\nu R}$

Если сложить (3) и (4): $p_1(V_1 + V_2) = \nu R(T_1 + T_2)$

$T_1 + T_2 = \frac{p_1 \cdot 18 V_0}{\nu R}$

Приравняем полученные выражения для $T_1 + T_2$:

$\frac{18 p_x V_0}{\nu R} = \frac{18 p_1 V_0}{\nu R} \Rightarrow p_x = p_1 \Rightarrow$ процесс изобарный, в любой момент времени давление равно начальному. Тогда по первому закону термодинамики для водорода: $Q = \Delta U_1 + A = C_V \nu (T_к - T_1) + p\Delta V$

(ΔV – изменение объёма водорода в течение процесса, Q – ~~отданная~~ полученная от азота ~~им~~ теплота, A – его работа) $p\Delta V = \nu R(T_к - T_1)$

$Q = \frac{5}{2}\nu R(T_к - T_1) + \nu R(T_к - T_1) = \frac{7}{2}\nu R(T_к - T_1) = \frac{7}{2}\cdot\frac{6}{7}\,моль\cdot 8{,}31\,\frac{Дж}{моль\cdot К}\cdot(450К - 350К) = 2493\,Дж$

□ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

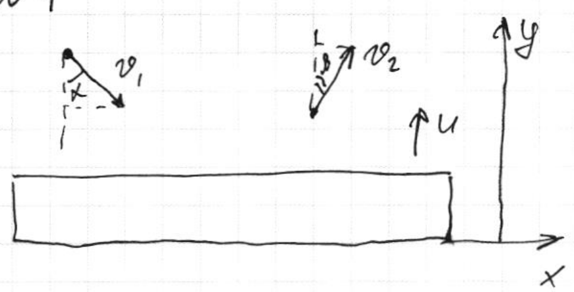
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Ответ: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{7}{11}$

$T_k = 450 k$

$Q = 2493$ Дж

№1

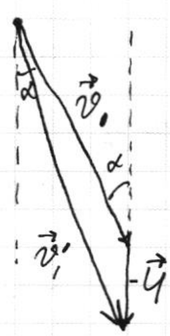


1) По оси x импульс мячика сохраняется, т. к. проекция внешних сил на эту ось равна 0 (силы реакции перпендикулярны оси x)

Пусть m - масса мячика. Тогда $p_{1x} = p_{2x}$ (p_{1x} и p_{2x} - проекции импульса мяча до и после удара на ось x)

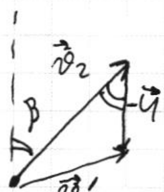
$m v_1 \sin\alpha = m v_2 \sin\beta \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 12 \frac{м}{с} \cdot \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 18 \frac{м}{с}$

2) Перейдём в систему отсчёта, ~~которая~~ связанную с плитой. Пусть v_1' и v_2' - скорости мяча до и после удара соответственно в этой системе отсчёта. По закону сложения скоростей найдем v_1' и v_2'. По т. косинусов:



$v_1'^2 = v_1^2 + u^2 - 2 u v_1 \cos(180 - \alpha) = v_1^2 + u^2 + 2 u v \cos\alpha$

$v_2'^2 = v_2^2 + u^2 - 2 u v_2 \cos\beta$



Запишем закон сохранения энергии: $E_{k_1} = E_{k_2} + Q$ (E_{k_1} - начальная кинетическая энергия мяча, E_{k_2} - конечная (после удара), Q - выделившееся тепло). Т. к. удар неупругий, $Q > 0$

$\cos\alpha = \sqrt{1 - \sin^2\alpha} = \frac{\sqrt{3}}{2}$ $\quad \cos\beta = \sqrt{1 - \sin^2\beta} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$

$$\frac{m v_1'^2}{2} = \frac{m v_2'^2}{2} + Q$$

$$\frac{m}{2}\left(v_1'^2 - v_2'^2\right) = Q \quad , \quad Q > 0 \Rightarrow \frac{m}{2}\left(v_1'^2 - v_2'^2\right) > 0$$

$m > 0$ всегда

$$v_1'^2 - v_2'^2 > 0$$

$$v_1^2 + u^2 + 2v_1 u \cos\alpha - v_2^2 - u^2 + 2v_2 u \cos\beta > 0$$

$$v_1^2 - v_2^2 + 2u(v_1 \cos\alpha + v_2 \cos\beta) > 0$$

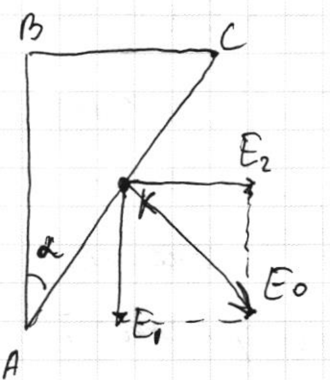
$$u > \frac{v_2^2 - v_1^2}{2(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta)}; \quad u > \frac{\left(18\ \frac{м}{с}\right)^2 - \left(12\ \frac{м}{с}\right)^2}{2\left(12\ \frac{м}{с} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + 18\ \frac{м}{с} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3}\right)};$$

$$u > \frac{15}{\sqrt{3} + 2\sqrt{2}}\ \frac{м}{с}$$

Ответ: $v_2 = 18\ \frac{м}{с}$

$u > \frac{15}{\sqrt{3}+2\sqrt{2}}\ \frac{м}{с}$

№ 3



1) Пусть пластина BC заряжена с поверхностной плотностью заряда σ_3. Тогда $E_1 = \frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}$ (напряжённость поля в точке K с незаряженной AB-пластиной). После того, как зарядим пластину AB, появилось поле напряжённостью $E_2 = \frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}$ от пластины AB. Общее поле E_0 получаем, сложив векторно E_1 и E_2. По т. Пифагора $E_0 = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{2} \cdot \frac{\sigma_3}{2\varepsilon_0}$ (т.к. всё симметрично).

$\frac{E_0}{E_1} = \sqrt{2}$ (во столько раз увеличилось поле).

2) $E_1' = \frac{3\sigma}{2\varepsilon_0}$ (поле от пластины BC)

$E_2' = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ (поле от пластины AB)

$E_0' = \sqrt{E_1'^2 + E_2'^2} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\sqrt{1+9} = \sqrt{10} \cdot \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ (общее поле)

Ответ: 1) $\sqrt{2}$ 2) $\sqrt{10} \cdot \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

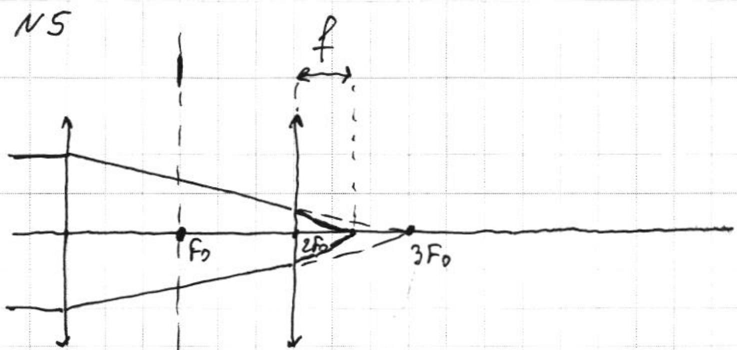
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N5



1) На вторую линзу падает сходящийся пучок лучей. Используем метод мнимого источника и формулу тонкой линзы.

$-\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F_0}$ (f – расстояние до места фокусировки лучей, а значит, до фотодетектора), d – расстояние до мнимого источника.

$d = F_0$ (т.к. лучи фокусировались бы в фокусе линзы $Л_1$ ($3F_0$), если бы не было второй линзы)

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

$f = \frac{F_0}{2}$

2) Пусть b – диаметр мишени. Т. к. сила тока на выходе фотодетектора пропорциональна мощности падающего на него света, а мощность света пропорциональна количеству лучей, это значит, что в промежуток времени от τ_0 до t, на фотодетектор попадали $\frac{5}{9}$ всех лучей, значит, $\frac{4}{9}$ лучей закрывались мишенью. Следовательно, площадь мишени равна $\frac{4}{9}$ части от площади линзы.

$S_м = \pi\left(\frac{b}{2}\right)^2$ ($S_м$ – площадь мишени)

$S_л = \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2$ ($S_л$ – площадь линзы)

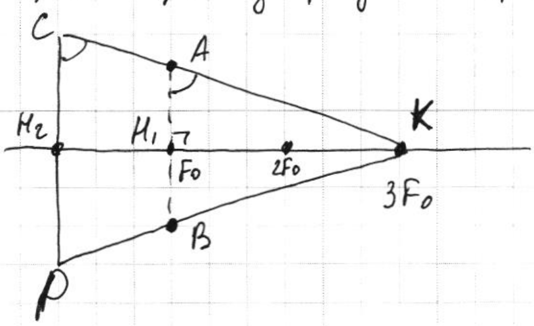
$S_м = \frac{4}{9} S_л \Rightarrow \pi\left(\frac{b}{2}\right)^2 = \frac{4}{9} \cdot \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 \Rightarrow b = \frac{2}{3} D.$

☐ черновик ☑ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Интенсивность ~~тока~~ света начинает падать в момент, когда мишень касается нижней точкой области, где есть лучи. Интенсивность света перестаёт падать в момент, когда мишень полностью оказалась в области, где есть лучи. Значит, за время τ_0 она прошла расстояние, равное своему диаметру. Её скорость:
$v = \frac{b}{\tau_0} = \frac{2D}{3\tau_0}$

3) Момент t_1 – это момент, когда ~~линза~~ мишень ~~выходит~~ начинает выходить из области, где есть лучи (потому что далее интенсивность света падает (уменьшается сила тока)). Изобразим крайние лучи. В точке A находится



нижняя точка мишени в момент времени 0. В точке B находится нижняя точка мишени в момент времени t_1. Найдём AB.

C и P – крайние точки линзы $Л_1$, $CP = D$,
K – ~~точка~~ фокус линзы $Л_1$.

$\triangle KPC \sim \triangle KBA$, т.к. $\angle PCK = \angle BAK$ из параллельности CP и AB, $\angle CKP$ – общий. H_2 – центр линзы $Л_1$, H_1 – – точка пересечения главной оптической оси центром мишени.

$\frac{AB}{CP} = \frac{KH_1}{KH_2} = \frac{2F_0}{3F_0} = \frac{2}{3}$

$AB = \frac{2CP}{3} = \frac{2D}{3}$. За время t_1 мишень прошла расстояние $\frac{2D}{3}$ со скоростью v. $t_1 = \frac{2D}{3v} = \frac{2D \cdot 3\tau_0}{3 \cdot 2D} = \tau_0$

Ответ: $f = \frac{F_0}{2}$; $v = \frac{2D}{3\tau_0}$; $t_1 = \tau_0$.

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

ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4

1) Когда ток течёт в цепи в направлении от ~~[illegible]~~ катушки L_2 к катушке L_1 (по часовой стрелке на схеме), он течёт через обе катушки индуктивности, т. к. диод закрыт. Общая индуктивность $L_0 = \frac{L_1 L_2}{L_1+L_2} = \frac{3L\cdot 4L}{3L+4L} = \frac{12}{7}L$

Период колебаний в такой цепи $T_1 = 2\pi\sqrt{L_0 C} = 2\pi\sqrt{\frac{12}{7}LC}$.

Из этого времени половину времени ток течёт по часовой стрелке (если смотреть на схему). Значит, $t_1 = \frac{T_1}{2} = \pi\sqrt{\frac{12}{7}LC}$ (t_1 – время протекания тока по часовой стрелке).

Когда ток течёт против часовой стрелки, он течёт только через катушку L_2. Период таких колебаний $T_2 = 2\pi\sqrt{L_2 C} = 2\pi\sqrt{3LC}$, $t_2 = \pi\sqrt{3LC}$ (t_2 – время, которое ток течёт против часовой стрелки. Искомый период $T = t_1 + t_2 = \pi\sqrt{\frac{12}{7}LC} + \pi\sqrt{3LC} = \pi\sqrt{LC}\left(\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{7}} + \sqrt{3}\right) = \frac{(2+\sqrt{7})\cdot\pi\cdot\sqrt{3LC}}{\sqrt{7}}$

2) Когда ток через катушку L_1 максимален, такой же ток идёт через катушку L_2 (т. к. они соединены последовательно), и т. к. ток максимален, производная тока по времени $\dot{I} = 0$. ~~[illegible]~~ $U_{L_1} = L_1\dot{I} = 0$ (напряжения $U_{L_2} = L_2\dot{I} = 0$ на катушках)

☐ черновик ☑ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Тогда напряжение на конденсаторе равно E. По закону сохранения энергии $A_{ист} = W_{L_1} + W_{L_2} + W_C$
($A_{ист}$ – работа источника, W_{L_1}, W_{L_2} – энергии катушек L_1 и L_2 соответственно, W_C – энергия конденсатора). $q = EC$ (q – заряд, прошедший через источник, он же заряд на конденсаторе)

$$A_{ист} = Eq = CE^2$$

$$W_{L_1} = \frac{L_1 I_{m_1}^2}{2}; \quad W_{L_2} = \frac{L_2 I_{m_2}^2}{2}; \quad W_C = \frac{CE^2}{2}$$

$$CE^2 = \frac{(L_1+L_2) I_{m_1}^2}{2} + \frac{CE^2}{2}$$

$$CE^2 = (3L+4L) I_{m_1}^2 \Rightarrow I_{m_1} = E\sqrt{\frac{C}{7L}}$$

3) Ток через катушку L_2 максимален, когда ток течёт против часовой стрелки, потому что в катушке L_1 не будет энергии, т.к. ток в ней не течёт, а на конденсаторе ~~[illegible]~~ такое же напряжение E и такая же энергия, как при протекании тока по часовой стрелке (работа источника тоже такая же).

$$A_{ист} = W_{L_2} + W_C$$

$$CE^2 = \frac{3L I_{m_2}^2}{2} + \frac{CE^2}{2}$$

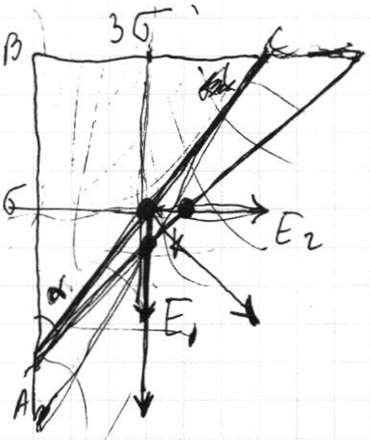
$$I_{m_2} = E\sqrt{\frac{C}{3L}}$$

Ответ: $T = \pi \frac{(2+\sqrt{7})\sqrt{3LC}}{\sqrt{7}}$

$I_{m_1} = E\sqrt{\frac{C}{7L}}$

$I_{m_2} = E\sqrt{\frac{C}{3L}}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



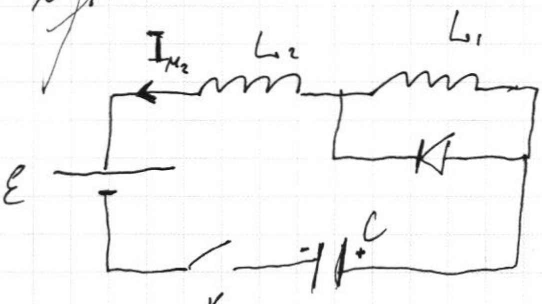
$\sqrt{2}\ \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

$$\frac{I_m^2 L_2}{2} + \frac{C\mathcal{E}^2}{2} = C\mathcal{E}^2$$

$$I_m^2 L_2 = C\mathcal{E}^2$$

$$I_{m2} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{L_2}}$$

N4



$L_1 = 4L$

$L_2 = 3L$

1) $L_{\cancel{общ}} = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} = \frac{4\cdot 3}{7} L = \frac{12}{7} L$

$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{12}{7}LC}$

$t_1 = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{12}{7}LC}$

$T_2 = 2\pi\sqrt{3LC}$

$t_2 = \frac{\pi}{2}\sqrt{3LC}$

$T = \frac{\pi}{2}\left(\sqrt{\frac{12}{7}LC} + \sqrt{3LC}\right) =$

$= \frac{\pi}{2}\sqrt{LC}\left(\frac{2\sqrt{3}}{\sqrt{7}} + \sqrt{3}\right) =$

$= \frac{\pi\sqrt{3}}{2}\sqrt{LC}\left(\frac{2}{\sqrt{7}} + 1\right) =$

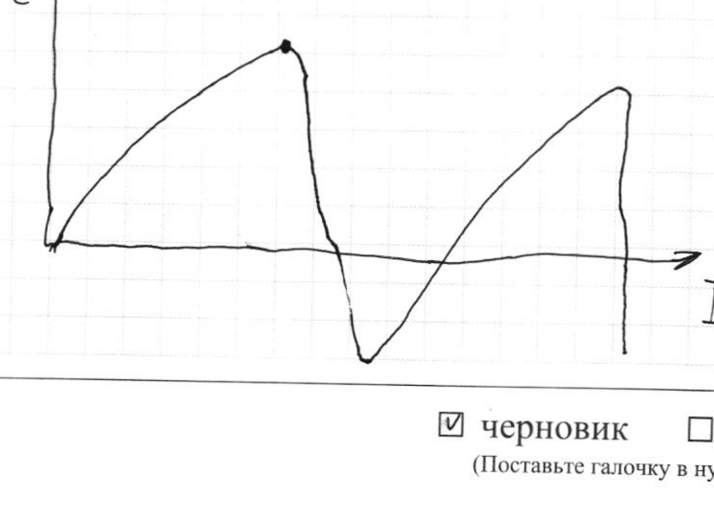
$= \frac{\pi\sqrt{3LC}\,(2+\sqrt{7})}{2\sqrt{7}}$

~~I_{max}~~

I_{max} $\cancel{U_C = \mathcal{E}}$ $\cancel{q\mathcal{E} =}$

2) $I_{M_1} - ?$ ~~колебан~~ ток вправо ток max $I' = 0$

$\cancel{\mathcal{E}q = \frac{LI^2}{2}}$ $\cancel{\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \mathcal{E}^2 C}$ ~~U_L~~ $\cancel{U_C = \mathcal{E}}$ $U_C = \mathcal{E}$



$$\frac{C\mathcal{E}^2}{2} + \frac{(L_1 + L_2) I_{M_1}^2}{2} = C\mathcal{E}^2$$

$$\frac{C\mathcal{E}^2}{\cancel{2}} = 7L\, I_{M_1}^2$$

$$I_{M_1}^2 = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{7L}}$$

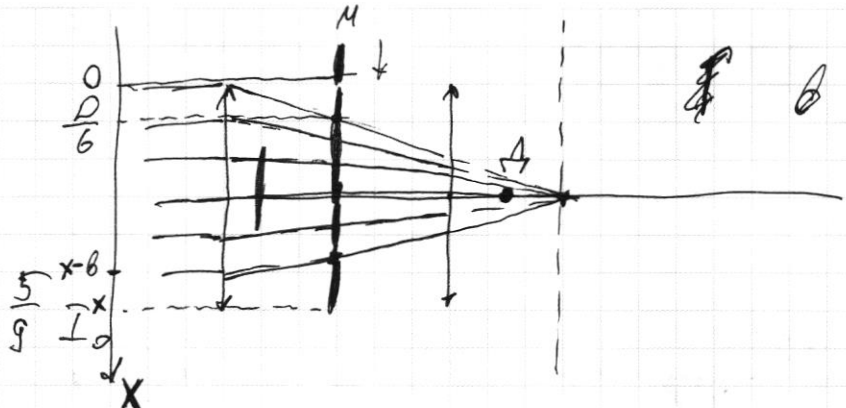
№5

$3F_0$, F_0; D

$2F_0$

$I \sim N$

$I_1 =$



b

мнимый предмет $d = F_0$

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

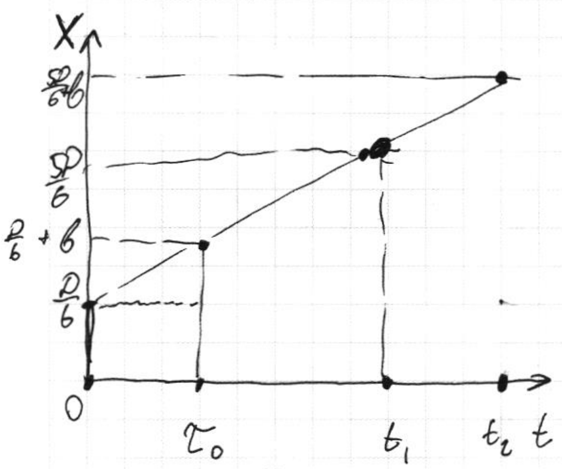
$$\frac{1}{f} = \frac{2}{F_0}$$

$$f = \frac{F_0}{2}$$

свет ум. когда мишень достигнет $\frac{D}{6}$

$$x - b = \frac{5D}{6}$$

$$x = \frac{5D}{6} + b$$



$$\begin{cases} \frac{2D}{3t_1} = v \\ \frac{b}{\tau_0} = v \end{cases}$$

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

$b = \frac{5}{9} D$

$$\frac{\frac{5}{9}D}{\tau_0} = v = \frac{5D}{9\tau_0}$$

$$t_1 = \frac{2D}{3v} = \frac{2D}{3 \cdot \frac{5D}{9\tau_0}} = \frac{2 \cdot 9\tau_0}{15} = \underline{1{,}2\tau_0}$$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

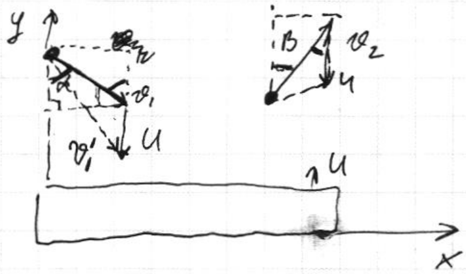
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



1) СО плиты

ЗСИ Ox

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

$v_2 = \frac{v_1 \sin\alpha}{\sin\beta} = 12 \cdot \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 12 \cdot \frac{3}{2} = 18 \frac{м}{с}$

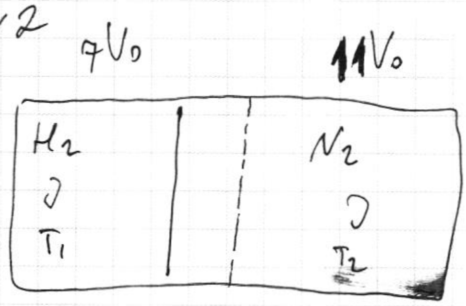
$\cos\alpha = \sqrt{1-\frac{1}{4}} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

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

2) $v_{1y} = -v_1 \cos\alpha = 6\sqrt{3}$

$v_{2y} = v_2 \cos\beta = 12\sqrt{2}$

№2



$\nu = \frac{6}{7}$ моль $\quad C_V = \frac{5}{2} R$

$T_1 = 350 K \quad T_K - ?$

$T_2 = 550 K \quad \frac{V_1}{V_2} - ?$

1) $pV_1 = \nu R T_1$

$pV_2 = \nu R T_2$

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{350}{550} = \frac{35}{55} = \frac{7}{11}$

2) $\Delta U = 0$

$\frac{5}{2} \nu R (T_K - T_1) = \frac{5}{2} \nu R (T_2 - T_K)$

$2T_K = T_2 + T_1$

$T_K = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350 + 550}{2} = 450 K$

$$\begin{array}{r} 6 \\ 18 \\ \times 18 \\ \hline 144 \\ +18 \\ \hline 324 \end{array}$$

$1{,}7 + 2{,}8 = \frac{15}{4{,}5}^2 = \frac{150}{45}^2 = \frac{50}{15} = \frac{10}{3}$

$324 - 144$

$$\begin{array}{r} 144 \\ \hline 180 \end{array}$$

$\frac{90}{6\sqrt{3} + 12\sqrt{2}}$

$\frac{45}{3\sqrt{3} + 6\sqrt{2}}$

3) $Q - ?$

$N_2: \ Q = \Delta U_{N_2} + A$

$H_2: \ Q = \Delta U_{H_2} + A$

$Q = \frac{\Delta U_{N_2} + \Delta U_{H_2}}{2} = \frac{15}{\sqrt{3} + 2\sqrt{2}}$

$= \frac{\frac{5}{2} \nu R \cdot 2\Delta T}{2} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T =$

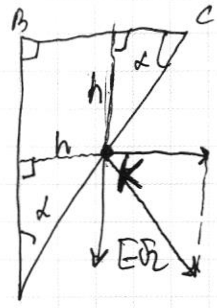
☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

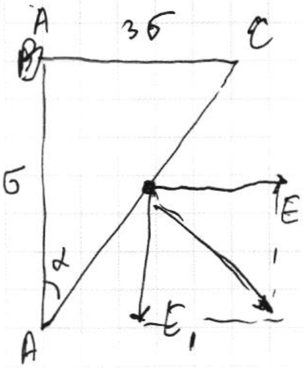
№3



1) $\alpha = \frac{\pi}{4} = 45°$ σ

$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = E_1 = E_2$

в $\sqrt{2}$ раз



2) $\sigma_1 = 3\sigma$

$\sigma_2 = \sigma$

$\alpha = \frac{\pi}{5}$

$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{(9+1)\frac{\sigma^2}{4\varepsilon_0^2}} =$

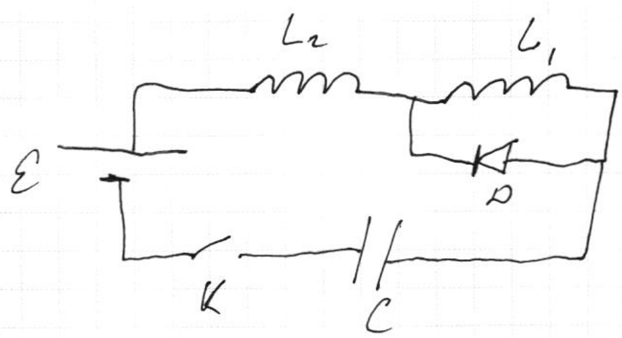
$= \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \cdot \sqrt{10}$

№4

$\mathcal{E}$, C

$L_1 = 4L$

$L_2 = 3L$



1) $\frac{1}{L_{общ}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$

$L_0 = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} = \frac{4L \cdot 3L}{7L} = \frac{12}{7} L$

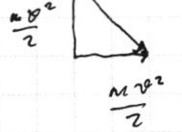
$T = 2\pi\sqrt{L_0 C} = 2\pi\sqrt{\frac{12}{7}LC}$

№1

СО плита, ось y ЗСИ

$(v_1 \cos\alpha + u)m = (v_2 \cos\beta - u)m$

~~$v_1 \cos\alpha$~~ $v_2 \cos\beta - v_1 \cos\alpha = 2u$



$\frac{mv^2}{2}$

$\frac{m\sqrt{2}v^2}{2} =$

~~ЗСЭ $\frac{mv_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + Q$~~

СО плита

$\frac{mv_1'^2}{2} = \frac{mv_2'^2}{2} + Q \rightarrow Q$

v

$6\sqrt{3}$

$12\sqrt{2}$

При упр. ударе отдала бы двойную скорость

$2u_{min} = 12\sqrt{2} - 6\sqrt{3}$

$u_{min} = 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}$

Но удар неупругий

☑ черновик ☐ чистовик Страница №__

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

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

u_{max}

$p = \Sigma F \Delta t$

~~Вся теплота~~ Вся теплота

С О плита

Неупругий удар
сохраняется импульс
не сохраняется энергия

$v_1' = 6\sqrt{3} + u$

$v_2' = 12\sqrt{2} - u$

$Q = \frac{m}{2}(v_1'^2 - v_2'^2) > 0$

$v_2' - v_1' \cancel{\geq} 0$

$12\sqrt{2} - u - 6\sqrt{3} - u \cancel{\geq} 0$

$2u \cancel{\leq} 12\sqrt{2} - 6\sqrt{3}$

$u \cancel{\leq} 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}$

~~$6\sqrt{3}+u$~~

$18 \times 18 = 144 + 18 = 324$

$v_1'^2 = v_1^2 + u^2 + 2v_1 u \cos\alpha$

$v_2'^2 = v_2^2 + u^2 - 2v_2 u \cos\beta$

$v_1^2 - v_2^2 + 2u(v_1\cos\alpha + v_2\cos\beta) > 0$

$144 - 324 + 2u(6\sqrt{3} + 12\sqrt{2}) \geq 0$

$2u > \frac{324-144}{6\sqrt{3}+12\sqrt{2}} = \frac{180}{6\sqrt{3}+12\sqrt{2}}$

$u > \frac{90}{6\sqrt{3}+12\sqrt{2}}$

$12 - 18$

$u > 3$

№2

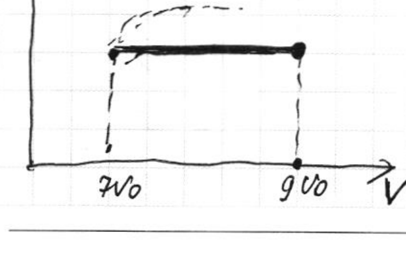
В системе энергия не изменялась

$Q_c = 0 \quad A_c = 0 \quad \Delta U_c = 0$

$\frac{5}{2}\nu R T_1 + \frac{5}{2}\nu R T_2 = \frac{5}{2}\nu R T_к + \frac{5}{2}\nu R T_к$

$T_1 + T_2 = 2T_к$

Рассмотрим действие водорода



$p_1 = \frac{\nu R T_1}{7V_0}$

$p_2 = \frac{\nu R T_к}{9V_0}$

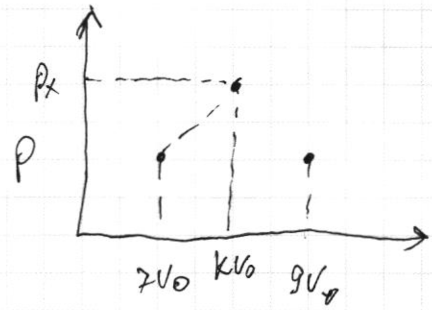
$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_к \cdot 7}{9 \cdot T_1} = \frac{7}{9}\frac{T_к}{T_1} = \frac{7}{9} \cdot \frac{450}{350} = 1$

$p_2 = p_1$

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

$T_x \quad p_x \quad kV_0$



$p_0 = \dfrac{\nu R T_1}{7V_0}$

$p_x = \dfrac{\nu R T_x}{kV_0}$

$\dfrac{p_x}{p_1} = \dfrac{T_x \cdot 7}{k\,T_1} = \dfrac{7}{k}\,\dfrac{T_x}{T_1}$

~~$\Delta U_1 = \Delta U_2$~~

~~$T_x - T_1 = T_2 - T_x$~~

~~$\frac{5}{2}p_x kV_0 - pV = \frac{5}{2}p_x(18-k)V_0 - pV$~~

~~$kV_0 = (18-k)V_0$~~

~~$2k = 18 \quad k = 9$~~

$Q = \Delta U + A$

$\Delta U = \frac{5}{2}\nu R \Delta T$

$A = p\Delta V = \nu R \Delta T = \frac{2}{5}\Delta U$

$Q = 1{,}4\,\Delta U = 1{,}4 \cdot \frac{5}{2}\nu R\Delta T =$

$1{,}4 \cdot \frac{10}{4}\nu R \Delta T = \frac{7}{2}\nu R \Delta T =$

$= \frac{7}{2} \cdot \frac{6}{7} \cdot 8{,}31 \cdot 100 =$

$= 831 \cdot 3 = 1693$ Дж

2493

1) $p_x kV_0 = \nu R T_{x_1} \qquad T_{x_1} = \dfrac{p_x kV_0}{\nu R}$

$p_x(18-k)V_0 = \nu R T_{x_2}$

$\dfrac{k}{18-k} = \dfrac{T_{x_1}}{T_{x_2}} \qquad T_{x_2} = \dfrac{T_{x_1}(18-k)}{k}$

2) $\Delta U_1 = \Delta U_2$

$\Delta U_1 = \frac{5}{2}\nu R\Delta T = \frac{5}{2}\nu R(T_{x_1} - T_1)$

$\Delta U_2 = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_{x_2})$

$T_2 - T_{x_2} = T_{x_1} - T_1$

$T_2 + T_1 = T_{x_1} + T_{x_2} = T_{x_1}\left(1 + \frac{18-k}{k}\right) = T_{x_1} \cdot \frac{18}{k} = \frac{18\,T_{x_1}}{k} =$

$T_1 + T_2 = \dfrac{p(V_1+V_2)}{\nu R} = \dfrac{p \cdot 18V_0}{\nu R} \qquad = \dfrac{p_x kV_0}{\nu R} \cdot \dfrac{18}{k} =$

$p = p_x \qquad = \dfrac{p_x 18V_0}{\nu R}$