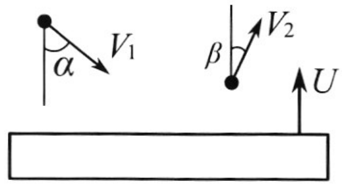
Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

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

✓1) Найти скорость V_2.

2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.

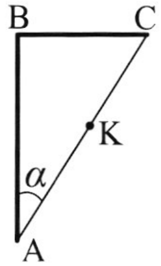
Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

✓**2.** Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится 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.

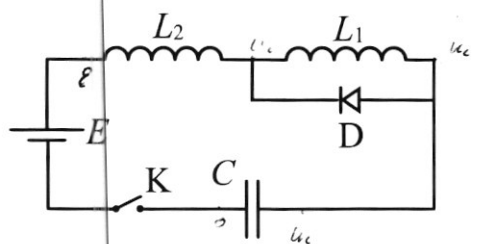
3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?



(**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.



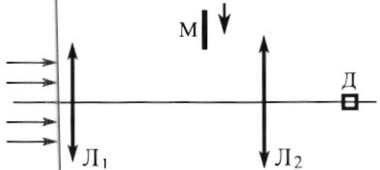
4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E, катушек с индуктивностями $L_1 = 2L$, $L_2 = L$, конденсатора емкостью C, диода D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_1.

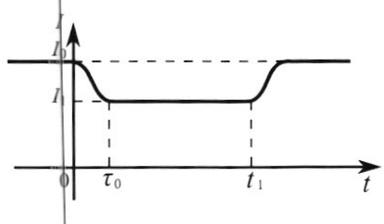
1) Найти период T этих колебаний.

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 Л$_1$ и Л$_2$ (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 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 $2F_0$ от Л$_1$. 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 Л$_2$ и фотодетектором.

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

Известными считать величины F_0, D, τ_0.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

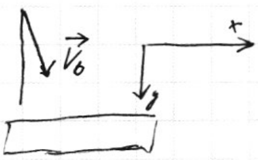
№1

Решение: 1) Можем записать Закон ~~со~~хранения импульса на OX:

$m\cdot V_1\cdot\sin\alpha = m\cdot V_2\cdot\sin\beta$; $V_2 = V_1\cdot\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{8\cdot3\cdot2}{4}=12$ м/с

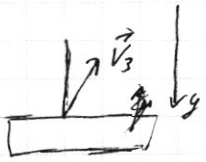
Ответ 1) $V_2 = 12$ м/с.

2) u - ? Перейдем в СО плиты; тогда $\vec{V}_{абс}=\vec{V}_{пер}+\vec{V}_{отн}$



$\cdot V_0$ - нач. скорость шара относительно плиты

$V_{0x} = V_1\cdot\sin\alpha$; $V_{0y} = V_1\cdot\cos\alpha + u$



$\cdot V_3$ - скорость шара отн. плиты после удара

$V_{3x} = V_2\cdot\sin\beta$

V_{3y}; но $\vec{V}_2 = \vec{V}_3+\vec{u} \Rightarrow V_{2y} = V_{3y}+u_y \Rightarrow$

$V_2\cdot\cos\beta = V_{3y}+u$

$V_{3y} = V_2\cdot\cos\beta - u$. ~~Так как удар неупругий~~. Пусть удар неупругий, но выделяется бесконечно мало теплоты; тогда мы сможем найти предельное значение u (минимальное). $\Rightarrow$ ~~Значит V_{3y} — V_{0y}~~

~~$V_{3y} = V_{0y}$~~ $|V_{3y}| = |V_{0y}|$ (т.к. на шар действует сила реакции)

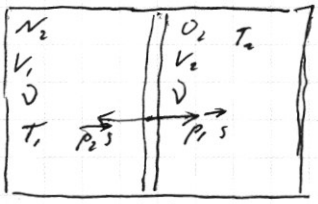
$V_2\cdot\cos\beta - u = V_1\cdot\cos\alpha + u \Rightarrow$ $2u = -V_1\cdot\cos\alpha + V_2\cdot\cos\beta \Rightarrow$

$u > \frac{V_1\cdot\cos\alpha - V_2\cdot\cos\beta}{2} \Rightarrow u > \frac{\frac{12\cdot\sqrt{3}}{2}-\frac{8\cdot\sqrt{7}}{4}}{2} \Rightarrow u > (3\sqrt{3}-\sqrt{7})$ м/с

Ответ: 2) $u > (3\sqrt{3}-\sqrt{7})$ м/с

№2.

1) $\frac{V_1}{V_2}$ - ? V_1 - объем азота. V_2 - кислорода. Процесс изменения температуры происходит медленно => изначально силы, действующие на поршень скомпенсированы => По 2 з. Ньютона:



$\vec{p_1}\cdot S + \vec{p_2}\cdot S = 0 \Rightarrow p_1 S = p_2 S \Rightarrow p_1 = p_2 \Rightarrow$

По уравнению Менделеева-Клайперона:

Для азота: $p_1 \cdot V_1 = \nu R T_1$

Для кислорода: $p_2 \cdot V_2 = \nu R T_2$ =>

p_1 - давление N_2

p_2 - O_2

$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{5} = 0,6$ Ответ 1) 0,6

2) T - ? (уст. температура). Так как поршень движется без трения, а сосуд теплоизолирован, то энергия системы сохранится => По закону сохранения энергии:

$U_1 + U_2 = U_{1.1} + U_{2.1}$

U_1 - эн. азота в начале
U_2 - кислорода в нач
$U_{1.1}$ - эн. азота в конце
$U_{2.1}$ - эн. кислорода в конце

$U_1 = C_V \cdot \nu T_1$ $U_{1.1} = C_V \cdot \nu T$

$U_2 = C_V \cdot \nu T_2$ $U_{2.1} = C_V \cdot \nu T$ =>

$C_V \nu (T_1 + T_2) = 2 C_V \nu T \; / : \nu C_V$

$\frac{T_1 + T_2}{2} = T = 400$ K Ответ: T = 400K

3) Q - ? ~~Перва~~ Так как тепло не подводилось, а работа, совершенная одним газом, равна работа над другим газом, то

$Q = \Delta U_1 = U_{1.2} - U_{1.1} = C_V \cdot \nu \cdot (T - T_1) = \frac{C_V \cdot \nu (T_2 - T_1)}{2} =$

$= \frac{5R \cdot 3200}{2 \cdot 7} = \frac{1500 \cdot 8,31}{7} = 119 \cdot 15 = 1785$ Дж

Ответ: 1785 Дж.

$831 \,|\, 7 = 119$; -7; 13; -7; 61

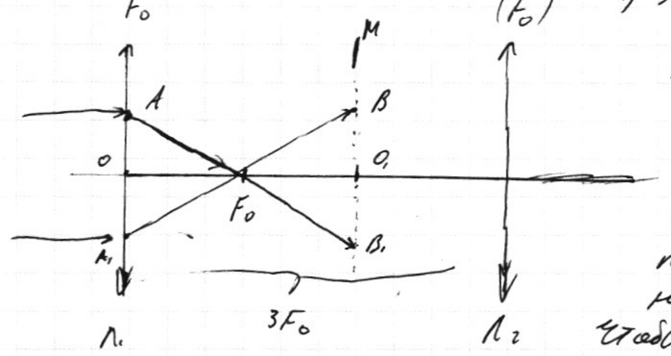
$119 \times 15 = 595 + 119 = 1785$

☐ черновик ☑ чистовик Страница № 2

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5



1) Пучок лучей || гл. оси после преломления проходит ч-з фокус линзы => для L_2 наш пучок превращается в точечный предмет, находящийся на $3F_0 - F_0 = 2F_0$ от L_2 => чтобы лучи попали в фотодетектор он должен быть расположен на расстоянии $2F_0$ справа от L_2 (т.к. ув. в двойном фокусе равно 1)

Ответ 1) $2F_0$.

2) Мишень находится на расстоянии $2F_0$ от L_2, а так как ход лучей прямолинеен, то образуются равные Δ (например AF_0O и $B_1O_1F_0$) => „плотность" лучей на таком расстоянии будет такой же, как при их входе в линзу. Пусть N - мощность света =>

$k \cdot N_1 = I(N_1)$ => $\frac{N_1}{N_0} = \frac{I_1}{I_0}$ => $N_1 = \frac{3}{4} N_0$ => мишень максимально может поглотить 25% лучей => L_M - длина мишени;

N_0 - мощность при I_0

N_1 - мощность при I_1

$L_M = \frac{1}{4} D$ => $V_M = \frac{L_M}{\tau_0} = \frac{D}{4\tau_0}$; Ответ 2) $V = \frac{D}{4\tau_0}$.

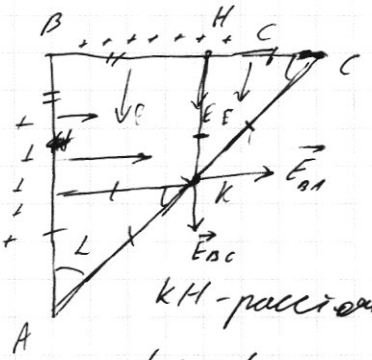
3) За время t_1 нижний конец мишени полностью проходит все лучи => $t_1 = \frac{D}{V} = 4\tau_0$

Ответ 3) $t_1 = 4\tau_0$

№3.

1) $\frac{E_2}{E_1}$ - ? ; $\sigma_{BC} = \sigma_{AB} = \sigma$ σ - пов. плотность заряда =>

Рассмотрим ситуацию, когда заряжена только BC



$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ (теорема Гаусса)

Так же $E = \frac{kQ}{r^2}$ (если неоднородно поле)

$\sigma = Q \cdot S$

Пусть поле неоднородно =>

$E_1 = \frac{k \cdot \sigma \cdot S}{l^2} = \frac{kQ}{l^2}$

KH - расстояние от K до BC

$KH = l$

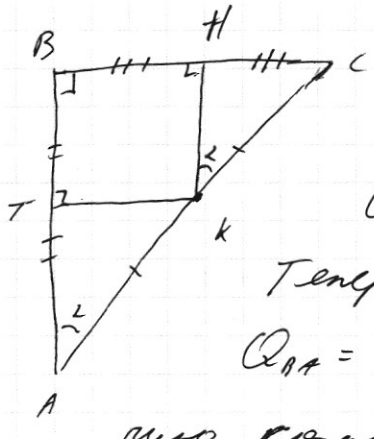
~~$E_{BA} =$~~

Когда же заряжена и пластина BA, то её заряд будет таким же, как и пластины BC, т.к. $\triangle BCA$ - прямоугольный, а $\angle BAC = 45^0$ => Так как $\vec{E}$ - векторная величина, то $E_2^2 = E_1^2 + E_1^2$ => $E_2 = \sqrt{2} \cdot E$ =>

$E_{BA} = \frac{kQ}{l^2} = E_{BC} = E_1$.

Ответ 1) в $\sqrt{2}$ раз

2) $\angle = \frac{\pi}{7}$; $\sigma_1 = 2\sigma$; $\sigma_2 = \sigma$; E - ?



$KH = \frac{1}{2} BA$; $KT = \frac{1}{2} BC$

Рассмотрим пластину BC: Q_{BC} - её заряд

$Q_{BC} = 2\sigma \cdot S_{BC}$, S_{BC} - площадь BC

Теперь пластину BA:

$Q_{BA} = \sigma \cdot S_{BA}$; Найдем напряженность, которую создаёт BC (E_3) в точке K. Для упрощения можно сконцентрировать заряд пластины в её середине (то есть в точке H). По свойству $\angle HK \perp BC$ =>

HK - расстояние от заряда до точки K => E_3

$E_3 = \frac{k \cdot 2\sigma \cdot BC \cdot h}{HK^2}$; $BC = 2BH = 2HC$; $tg\angle = \frac{HC}{HK}$; $HK = \frac{HC}{tg\angle}$

$E_3 = \frac{k \cdot 2\sigma \cdot h \cdot 4tg^2\angle}{BC}$, где h - неизвестная размерность пластины ~~(...)~~ $HK = \frac{BC}{2tg\angle}$

☐ черновик   ☑ чистовик   Страница № 4

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

Тогда аналогично для BA (E_4):

$$E_4 = \frac{k\cdot\sigma\cdot S_{BA}}{TK^2}, \quad \cancel{TK} \quad tg\angle = \frac{2TK}{BA}, \quad TK = \frac{BA\, tg\angle}{2}$$

$$E_4 = \frac{k\,\sigma\cdot BA\cdot h\cdot 4}{BA^2\cdot tg^2\angle} = k\cdot\sigma\cdot h\cdot 4\cdot\frac{1}{BA\cdot tg^2\angle} = k\,\sigma\, h\cdot 4\cdot\frac{BA}{BC^2} = \cancel{\frac{4k\sigma h}{tg^2\angle}\cdot\frac{1}{BA}}$$

$$tg\angle = \frac{BC}{BA}$$

$$E_3 = k\cdot\cancel{8}\,\sigma\cdot h\cdot\frac{BC}{BA^2} = \cancel{\text{BABK}}.$$ Найдем отношение $\frac{E_4}{E_3}$:

$$\frac{E_4}{E_3} = \frac{4BA\cdot BA^2}{BC^2\cdot 8\, BC} = \frac{1}{2}ctg^3\angle \Rightarrow$$ Пусть $E_4 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$, тогда

$$E_3 = \frac{\sigma}{4\varepsilon_0}\cdot ctg^3\angle \Rightarrow$$

$$E = E_3^2 + E_4^2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\sqrt{1+\frac{ctg^6\angle}{4}}$$

Ответ: $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\sqrt{1+\frac{ctg^6\angle}{4}}$

№4.

1) Можно рассмотреть как части 2-х отдельных колебаний: До полной зарядки С колебания проходят, как при C и $3L \Rightarrow T_1 = \pi\sqrt{3LC}$ (по формуле Томсона)

До полной разрядки - колебания с C и $L \Rightarrow T_2 = \pi\sqrt{LC} \Rightarrow$

$T = T_1 + T_2 = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{3}+1)$ Ответ: 1) $T = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{3}+1)$

2) По З. С Э:

$$\cancel{A_6}\quad \frac{3L}{2}I^2 = \frac{C\mathcal{E}^2}{2}; \quad I_{1м} = I = \mathcal{E}\cdot\sqrt{\frac{C}{3L}}$$

Ответ: 2) $I_{м1} = \mathcal{E}\sqrt{\frac{C}{3L}}$

3) П З. С Э: $\frac{C\mathcal{E}^2}{2} = \frac{L I_{м2}^2}{2}$ $\quad I_{м2} = \sqrt{\frac{L}{C}}\cdot\mathcal{E}$.

Ответ: 3) $I_{м2} = \mathcal{E}\cdot\sqrt{\frac{L}{C}}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

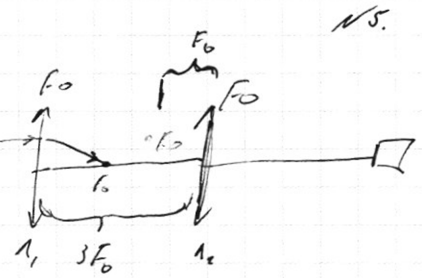
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5.



1) $2F_0$

3) $4\tau_0$

2) V шишечки $= \frac{D}{4\tau_0}$

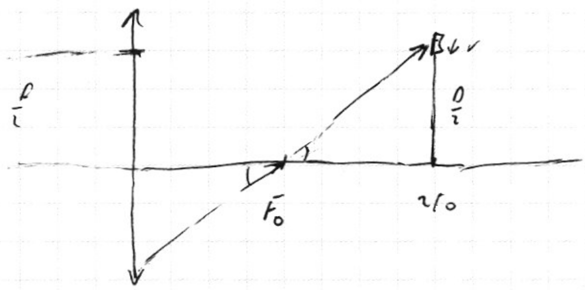
$I_1 = \frac{3}{4} I_0 \Rightarrow$

$N_1 = \frac{3}{4} N \Rightarrow$ шишечку после вхождения в это видимо кроет 25% лучей всего шишь $\Rightarrow$

$k \cdot N = I$

$L_M = 0{,}25\% D \Rightarrow$

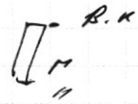
$V = \frac{D}{4\tau_0}$



3) t_1 - ?

на пр. $(t_1 - \tau_0)$

В.к проходит



$D - \frac{D}{4} = \frac{3}{4} D \Rightarrow$

$(t_1 =) \frac{3}{4} D : V = 3\tau_0 \Rightarrow t_1 = 4\tau_0$

$t_1 =$ ~~$3\tau_0$~~

Дано: $E, C; L_2; L_1$

на L - ток

на C - U

№8.

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

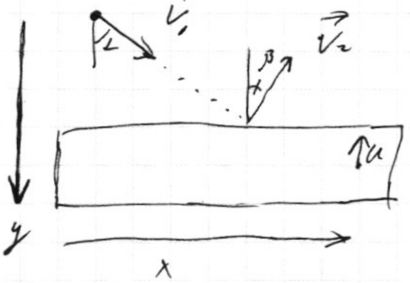
Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

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

ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



L - есть : $V_1 = 8$ см

Удар неупругий, но выполняется
Что не будет?
не будет ЗСИ на Oy
оттуда нельзя было надо в СО плиты

1) ЗСИ на OX:

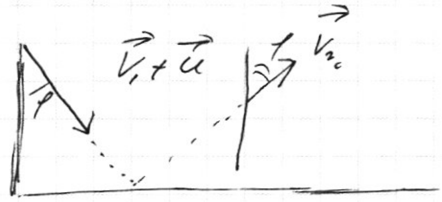
$V_1 \cdot \sin L = V_2 \cdot \cancel{\cos}\sin\beta$

$V_2 = V_1 \cdot \frac{\sin L}{\sin\beta} = 8 \cdot \frac{3}{4} \cdot 2 = 12$ м/с

2) Возможные значения u - ?

Перейдем в СО плиты:

V_y после удара:



$\frac{9}{16} : \frac{7}{16}$ $\quad V_{1y} = V_2 \cdot \cos\beta = 6\sqrt{3}$

$V_{1y} = V_1 \cdot \cos L = \frac{8 \cdot \sqrt{7}}{4} = 2\sqrt{7}$

ЗСЭ:

$$\frac{mV_1^2}{2} + \cancel{\frac{Mu^2}{2}} = \frac{mV_2^2}{2} + \cancel{\frac{Mu^2}{2}} + Q$$

$\frac{m}{2}(V_1^2 - V_2^2) = Q$ (не знаем, на себя ведет плита её эн. не ум.)

Переходы в СО и из неё:

Изначально: $V_1 \Rightarrow$ в СО : $\vec{V_1} + \vec{u} = \vec{V_0} \Rightarrow$

$V_{0y} = V_1 \cdot \cos L + u$; После отбития V_{2y} - ! , но:

ЗСИ на Oy: в СО плиты:

$\Delta p = F \cdot dt \Rightarrow$

$V_{2y} = -V_2 \cdot \cos\beta = V_{02y} + u \Rightarrow$

$-V_2 \cdot \cos\beta - u = V_{02y}$

$V_1 \cos L + u = V_{0y}$

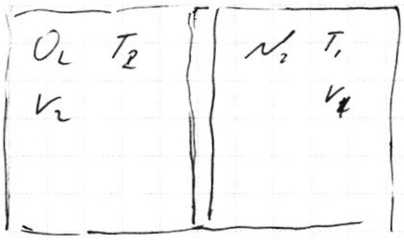
~~$2u + V_2 \cdot \cos\beta \cos L$~~ ...

☑ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

№ 2

$T_1 = 300k$



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

$p \cdot V_1 = \nu R T_1$
$p \cdot V_2 = \nu R T_2$ => $\boxed{\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}}$

2) Процесс равновесный T_2 -?

~~ВСЭ~~. ЗСЭ, т. к трения нет:

~~$p \cdot V$~~ $E_1 = C_V \cdot T_1 \cdot \nu + C_V \cdot T_2 \cdot \nu = C_V \nu (T_1 + T_2)$

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

$E_2 = 2 C_V \nu \cdot T = C_V \nu (T_1 + T_2)$

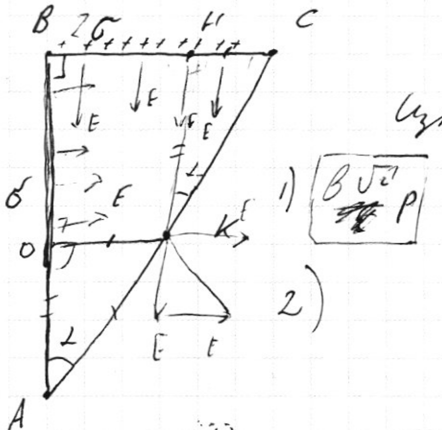
$\boxed{T = \frac{T_1 + T_2}{2}}$

3) ΔQ -?

$\Delta Q = |\Delta U| = C_V \cdot \nu |(T_2 - T)$

$C_V \nu \cdot \left(T_2 - \frac{T_1 - T_2}{2}\right) = C_V \nu \left(\frac{T_2 - T_1}{2}\right)$

№ 3.

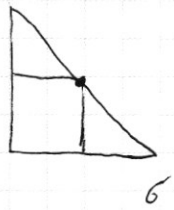


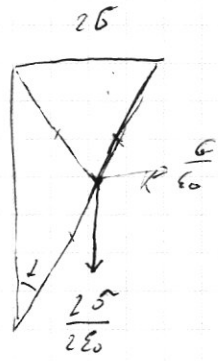
$E = \frac{Q}{2\varepsilon_0 S}$ => $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

Изн $BC = AB$, т. к $\angle = \frac{\pi}{4}$ => $Q_{BC} = Q_{AB}$

1) $\boxed{B\sqrt{2}\ \cancel{\ }\ P}$

2)

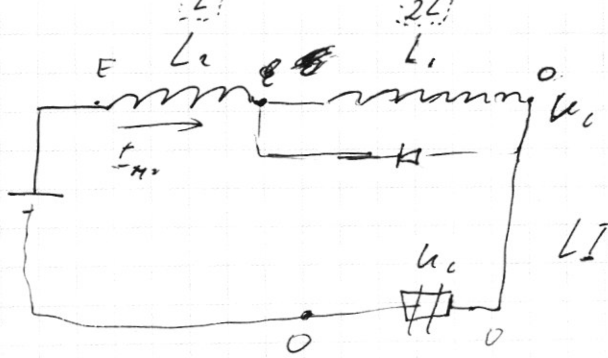




$S_1 = l_1 \cdot h$
$S_2 = l_2 \cdot h$

$\frac{S_1}{S_2}$

$\frac{KQ}{r^2} = E$



№4. T - период колебаний -?

$L I' = U_L$ $\pi\sqrt{LC}$ $\boxed{2\pi\sqrt{3LC}\ \text{-?}}$

Колебания тока в L_1

I_{M_2} -? ~~[illegible]~~

LI^2

☑ 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

№4. Что может быть интересного вообще -? Дано : $\mathcal{E}$; C; L_1; L_2

$\frac{T_1}{2} = \pi\sqrt{3LC}$; $T_2 = \pi\sqrt{LC} \Rightarrow T = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{3}+1)$ с

$= T_1$

I_{L_1m} -? что что что. Как как как. думай!

☑ черновик ☐ чистовик

(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__

(Нумеровать только чистовики)

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)