Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

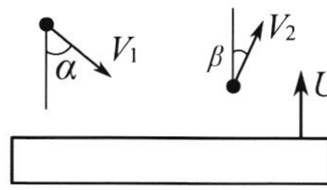
Класс 11

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.

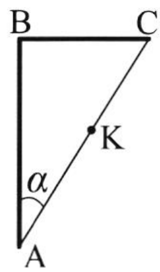
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода T_1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

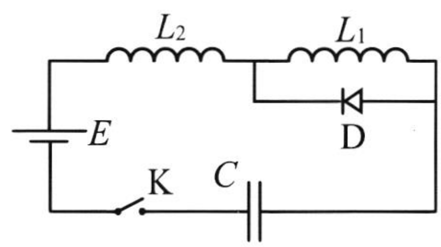
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром B. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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.

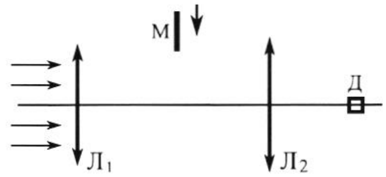


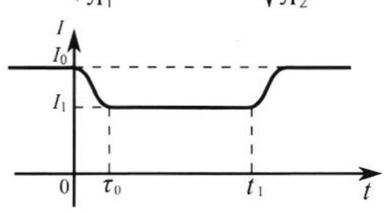
1) Найти период T этих колебаний.

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

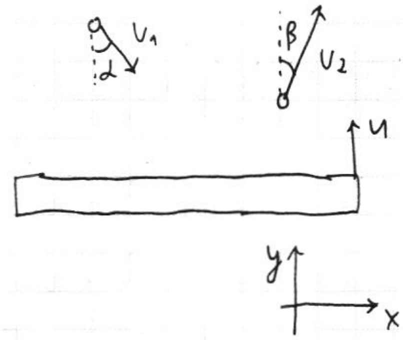
Задача 1

$v_1 = 12\,\frac{м}{с}$

$\sin\alpha = \frac{1}{2}$

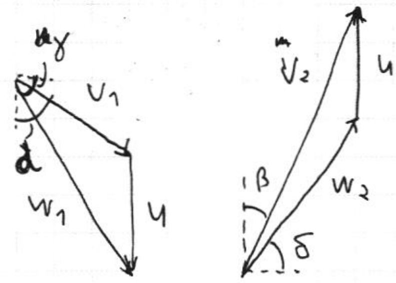
$\sin\beta = \frac{1}{3}$

$v_2,\ u$ - ?



Перейдем в систему отсчета плиты. В этой системе отсчета:

- относительная скорость шарика до удара: $\bar{w}_1 = \bar{v}_1 - \bar{u}$
- относительная скорость шарика после удара: $\bar{w}_2 = \bar{v}_1 - \bar{u}$



Пусть γ - угол между горизонталью и $\bar{w}_1$, δ - угол между горизонталью и $\bar{w}_2$. Тогда:

- так как поверхность плиты гладкая, то в проекции на горизонтальную ось Ox импульс шарика сохраняется: $m w_1 \cos\gamma = m w_2 \cos\delta$. Но $w_1 \cos\gamma = v_1 \sin\alpha$, $w_2\cos\delta = v_2 \sin\beta \Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = 12\cdot\frac{1/2}{1/3} = 18\,\frac{м}{с}$
- так как удар неупругий, то в проекции на вертикальную ось Oy часть импульса шарика теряется: $m w_1 \sin\gamma > m w_2 \sin\delta \geq 0$ отсюда:

$tg\gamma > tg\delta \geq 0$; $\frac{v_1\cos\alpha + u}{v_1 \sin\alpha} > \frac{v_2\cos\beta - u}{v_2\cos\alpha} \geq 0$; $v_1\cos\alpha + u > v_2\cos\beta - u \geq 0$;

$\begin{cases} 2u > v_2\cos\beta - v_1\cos\alpha \\ u \leq v_2\cos\beta \end{cases}$; $\begin{cases} u > \frac{v_1}{2}\left(\frac{\sin\alpha}{tg\beta} - \cos\alpha\right) \\ u \leq v_1\frac{\sin\alpha}{tg\beta} \end{cases}$

Получаем: $\begin{cases} u > \frac{v_1}{2}\left(\frac{\sin\alpha}{tg\beta} - \cos\alpha\right) = \frac{12}{2}\cdot\left(\frac{1/2}{1/2\sqrt{2}} - \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}\ \frac{м}{с} \approx 3{,}3\ \frac{м}{с} \\ u \le v_1\frac{\sin\alpha}{tg\beta} = 12\cdot\frac{1/2}{1/2\sqrt{2}} = 12\sqrt{2}\ \frac{м}{с} \approx 16{,}8\ \frac{м}{с} \end{cases}$

$\boxed{\text{Ответ: 1) } V_2 = 18\ \frac{м}{с} \quad \text{2) } 3{,}3\ \frac{м}{с} < u < 16{,}8\ \frac{м}{с}}$

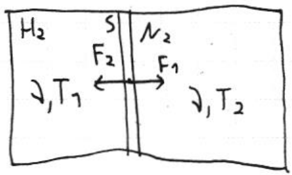
Задача 2

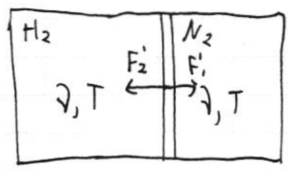
$\nu = \frac{6}{7}$ моль

$T_1 = 350K$

$T_2 = 550K$

$\frac{V_1}{V_2}$, T, Q - ?





Условие равновесия поршня в начале:

$F_1 = F_2$; $p_1S = p_2S \Rightarrow p_1 = p_2$

Уравнение Менделеева - Клапейрона:

$p_1V_1 = \nu RT_1$; $p_2V_2 = \nu RT_2 \Rightarrow$

$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{7}{11} \approx 0{,}64$

Условие равновесия поршня в конце:

$F_1' = F_2'$; $p_1'S = p_2'S \Rightarrow p_1' = p_2'$

Уравнение Менделеева - Клапейрона:

$p_1'V_1' = \nu RT$; $p_2'V_2' = \nu RT \Rightarrow V_1' = V_2'$

Закон сохранения энергии:

$U_1 + U_2 = A_1 + A_2 + U_1' + U_2'$

Так как поршень двигается медленно, то в любой момент времени $p_1 = p_2 \Rightarrow A_1 + A_2 = p_1\Delta V + p_2\cdot(-\Delta V) = 0$. Отсюда: $\nu C_VT_1 + \nu C_VT_2 = 2\nu C_VT \Rightarrow T = \frac{T_1+T_2}{2} = \frac{350+550}{2} = 450K$.

Азот передал водороду количество теплоты равное $Q = U_2 - U_2' = \nu C_VT_2 - \nu C_VT = \nu C_V\frac{T_2-T_1}{2} =$

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

ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$= \frac{6}{7}\cdot\frac{5}{2}\cdot 8{,}31\cdot\frac{550-350}{2} = 1780$ Дж

Ответ: 1) $\frac{V_1}{V_2} = 0{,}64 = \frac{V_{H_2}}{V_{N_2}}$.

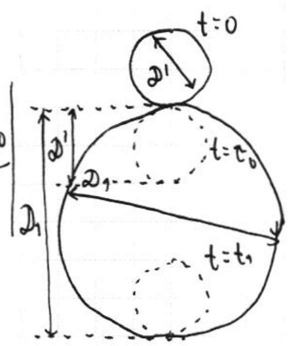
2) $T_1 = 450$ К

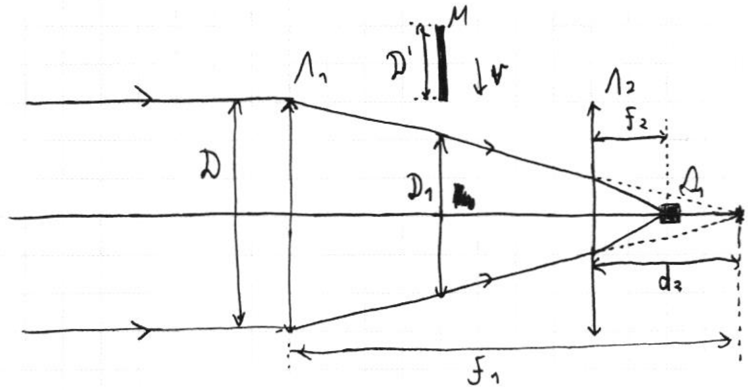
3) $Q = 1780$ Дж

Задача 5

$F_0, D, \tau_0, I = \frac{5}{9}I_0$

$f_2, v, t_1 - ?$





По формуле тонкой линзы для Л₁:

$\frac{1}{3F_0} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}$. Лучи, падающие на линзу, параллельные => $\frac{1}{d_1} = 0$ => $f_1 = 3F_0$

По формуле тонкой линзы для Л₂:

$\frac{1}{F_0} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$. Так как $f_1 > 2F_0$, то источник для второй линзы расположен за ней (лучи, преломленные на Л₁ собираются за Л₂) => $d_2 = -(f_1 - 2F_0) = -F_0$. Тогда $f_2 = \frac{d_2 F_0}{d_2 - F_0} = \frac{1}{2}F_0$. Лучи, преломленные Л₂, собираются на датчике => f_2 – расстояние от Л₂ до датчика (фотодетектора)

Теперь проанализируем график. Пусть на расстоянии F_0 от $Л_1$ пучок света в разрезе имел диаметр D_1^*. Из геометрии $\frac{D_1^*}{D} = \frac{3F_1 - F_0}{3F_0} = \frac{2}{3} \Rightarrow D_1^* = \frac{2}{3}D$. В момент времени 0 мишень начала перекрывать часть этого пучка. К моменту времени τ_0 мишень полностью „вошла" в пучок света (дальнейшее движение не изменяет освещенности). В момент t_1 мишень начала выходить из пучка (освещенность возрастает). Так как $I_1 = \frac{5}{9}I_0 = I_0\left(1 - \frac{4}{9}\right)$, то мишень, находясь в пучке, закрывает $\frac{4}{9}$ его площади. Поэтому $\frac{\pi D'^2}{4} = \frac{4}{9} \cdot \frac{\pi D_1^2}{4} \Rightarrow D' = \frac{2}{3}D_1 = \frac{4}{9}D$, диаметр мишени равен $\frac{4}{9}$ диаметров линзы. За время τ_0 мишень проходит расстояние $D' = \frac{4}{9}D \Rightarrow v = \frac{4D}{9\tau_0}$. За время t_1 мишень проходит расстояние $D_1 = \frac{2}{3}D \Rightarrow t_1 = \frac{2D}{3v} = \frac{3}{2}\tau_0$.

Ответ: 1) $F_2 = \frac{F_0}{2}$

2) $v = \frac{4D}{9\tau_0}$

3) $t_1 = 1{,}5\tau_0$

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

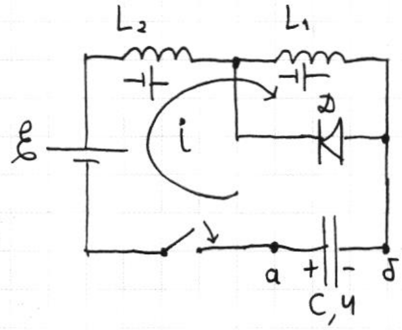
ШИФР
(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

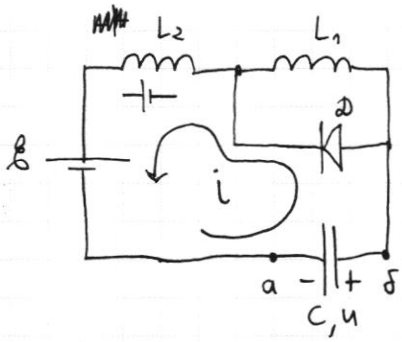
Задача 4

$L_1=4L,\ L_2=3L,\ \mathcal{E},\ C$

$T,\ I_{м1},\ I_{м2}$ - ?



Рассмотрим случай движения тока по часовой стрелке. Тогда ток идет через обе катушки (диод закрыт):



$\varphi_a-\varphi_б = U = -\mathcal{E} - L_2\frac{di}{dt} - L_1\frac{di}{dt}$;

$\frac{q}{C} = -\mathcal{E} - (L_1+L_2)\frac{di}{dt}$;

$q + C(L_1+L_2)\ddot{q} = -\mathcal{E}C$

Получаем уравнение гармонических колебаний с периодом $T_1 = 2\pi\sqrt{C(L_1+L_2)} = 2\pi\sqrt{7LC}$. Полупериод - $t_1=\pi\sqrt{7LC}$ (движение тока в одну сторону).

Теперь рассмотрим случай движения тока против часовой стрелки. Ток идет только через катушку L_2 (диод открыт):

$\varphi_б - \varphi_a = U = -L_2\frac{di}{dt}+\mathcal{E}$; $\frac{q}{C} = -L_2\frac{di}{dt}+\mathcal{E}$; $q+CL_2\ddot{q} = \mathcal{E}C$

Аналогично это уравнения гармонических колебаний с периодом $T_2=2\pi\sqrt{CL_2}=2\pi\sqrt{3LC}$. Полупериод - $t_2=\pi\sqrt{3LC}$.

Тогда период колебаний системы - $T=t_1+t_2 = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{3}+\sqrt{7}) \approx 13{,}8\sqrt{LC}$

Закон сохранения энергии: $0 + \mathcal{E} q_m = \frac{q_m^2}{2C}$ (0 – энергия системы в момент $t = 0$, $\frac{q^2}{2C}$ – энергия системы в момент $t = t_1$ (ток в цепи равен 0 => энергия катушек 0), $\mathcal{E} q$ – работа источника) => $q_m = 2\mathcal{E}C$ => амплитудное значение заряда – $q_0 = \frac{q_m - 0}{2} = C\mathcal{E}$ => амплитудное значение тока $I_{01} = \frac{q_0}{\sqrt{7LC}}$ (для движения тока по часовой стрелке) или $I_{02} = \frac{q_0}{\sqrt{3LC}}$ (для движения тока против часовой стрелки). Тогда максимальный ток через L_1 – $I_{m1} = I_{01} = \frac{q_0}{\sqrt{7LC}} = \frac{C\mathcal{E}}{\sqrt{7LC}} = \frac{\mathcal{E}\sqrt{C}}{\sqrt{7L}}$, через L_2 – $I_{m2} = I_{02} = \frac{q_0}{\sqrt{3LC}} = \frac{\mathcal{E}\sqrt{C}}{\sqrt{3L}}$

$$\boxed{\begin{aligned} &\text{Ответ: } 1)\ T = \pi(\sqrt{3} + \sqrt{7})LC \\ &2)\ I_{m1} = \frac{\mathcal{E}\sqrt{C}}{\sqrt{7L}} \\ &3)\ I_{m2} = \frac{\mathcal{E}\sqrt{C}}{\sqrt{3L}} \end{aligned}}$$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

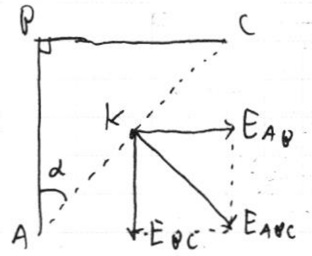
ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 3

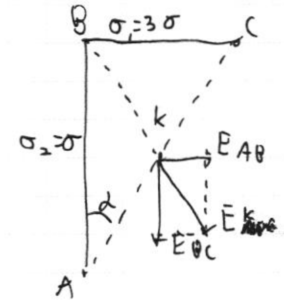
1) $\alpha = \frac{\pi}{4}$ | k - ?



В данном случае $tg\alpha = 1 = \frac{BC}{AB} \Rightarrow AB = BC$.

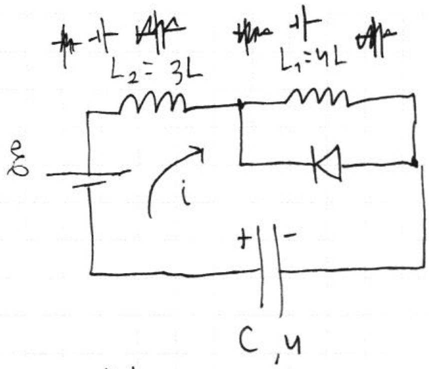
Пусть поле от пластины BC равно $\bar{E}_{BC}$. Тогда поле от пластины AB $\bar{E}_{AB}$ по модулю равно $\bar{E}_{BC}$ и перпендикулярно ему. Тогда при заряде пластины AB поле увеличится в $k = \sqrt{2}$ раз

2) $\alpha = \frac{\pi}{5}, \sigma_1 = 3\sigma, \sigma_2 = \sigma$ | E_K - ?



Поле в т.К равно сумме полей от пластин AB и BC:

$\bar{E}_K = \bar{E}_{AB} + \bar{E}_{BC}$



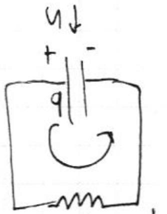
$\mathcal{E} = -L_2 \frac{di}{dt} - L_1 \frac{di}{dt} - U = -(L_1+L_2)\frac{di}{dt} - \frac{q}{c}$

$(L_1+L_2) i' + \mathcal{E} + \frac{q}{c}$

$C(L_1+L_2) q'' + \mathcal{E}C + q = 0 \qquad q'' + \frac{q}{C(L_1+L_2)} = -\frac{\mathcal{E}}{L_1+L_2}$

w^2

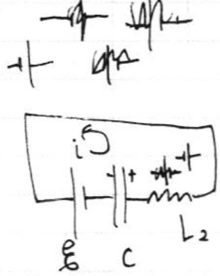
$T_1 = 2\pi \sqrt{C(L_1+L_2)} \qquad w = \frac{1}{\sqrt{C(L_1+L_2)}}$



$U = -L \frac{di}{dt}$ $\qquad q =$

$\frac{q}{c} = -L\frac{di}{dt} = -L i' = -L q'' \qquad q + CLq'' = 0 \qquad q = q_0 \cos(wt)$

$\frac{q}{c} = U = -L_2 q'' + \mathcal{E} \qquad q + CL_2 q'' = \mathcal{E}C \qquad T_2 = 2\pi\sqrt{CL_2}$



$R\frac{\sqrt{R^2+x^2}}{x}$ $\qquad \sqrt{R^2+x^2}' = \frac{1}{2}\frac{1}{\sqrt{R^2+x^2}} \cdot 2x$

$\frac{1}{\sqrt{R^2+x^2}} = (R^2+x^2)^{-\frac{1}{2}}$ $\qquad \frac{\frac{x}{x^2}}{\sqrt{R^2+x^2} + \sqrt{R^2+x^2}}$ $\qquad \frac{x}{\sqrt{R^2+x^2}}$

$x^2 \quad 4k\sigma \int d\alpha \cos\alpha = 4k\sigma \sin\alpha$

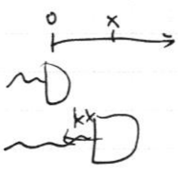
$\frac{2k\sigma R d\alpha}{R}\cos\alpha$

$-mg\sin\alpha = -mg\alpha = ma$ $\qquad 700$

$-g\alpha = a = L\alpha''$ $\qquad \frac{L}{g}\alpha'' + \alpha = 0$ $\qquad \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$ $\qquad \alpha = 90^\circ$ $\qquad \sin\alpha = 1$

$26 \cdot 26$: 156, 52, 676

$\sigma R d\alpha = \rho$ $\qquad \frac{\sin\alpha\sigma}{2\varepsilon_0}$ $\qquad k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$



$ma_x = -kx \quad mx'' + kx = 0$ $\qquad 2{,}4 \quad 1{,}73 \quad 2{,}65$

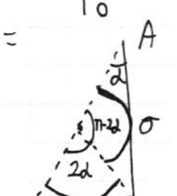
$\frac{m}{k}x'' + x = 0$ $\qquad \frac{2k\rho k}{R^2}$ $\qquad -\cos \quad \frac{2\pi\rho}{\rho}$

$4{,}4 \cdot 3{,}14$

$R^2 + x^2$ $\qquad \rho \quad \Big|_0^{Rtg\alpha}$ $\qquad \mathcal{E}q = \frac{q^2}{2C} \qquad 2C\mathcal{E} = q \quad 2\mathcal{E}$

$3{,}14 \cdot 4{,}4$: 1256, 1256, $13{,}816$ $\qquad \frac{2k\rho}{R} = \frac{\rho}{2R\pi\varepsilon_0}$

$2\int \frac{2k\sigma dx}{\sqrt{R^2+x^2}} =$ $\qquad \frac{2k\rho}{R}$ $\qquad \frac{kq}{R^2}$



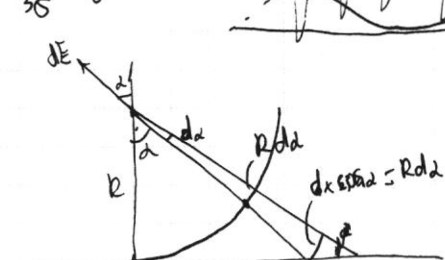
$\frac{k\rho R d\alpha}{R^2}\cos\alpha = \frac{k\rho d\alpha \cos\alpha}{R}$

$\mathcal{E}$

$2\frac{k\rho}{R}\int d\alpha \cos\alpha = \frac{2k\rho}{R}\Big|_0^{\alpha} \sin\alpha$

$= 2k\sigma \cdot \frac{\sqrt{R^2+x^2}}{x}$ $\qquad = \frac{2k\rho\sin\alpha}{R}$

$= 4k\sigma \cdot$



$\frac{k\rho dx}{R^2+x^2}$ $\qquad \frac{k\rho R d\alpha}{R^2} = \frac{k\rho dx\cos\alpha}{R^2} = \frac{k\rho dx}{R^2+x^2}$

$\frac{k\rho}{R}$ $\qquad \frac{2k\rho}{R}$

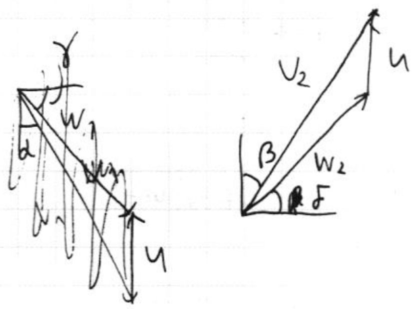
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



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

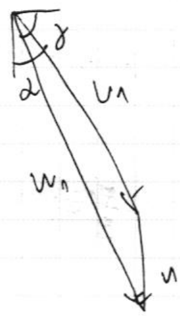
$w_1 \cos\gamma = w_2 \cos\delta$

$tg\gamma \geq tg\delta$

$w_1 \sin\gamma \geq w_2 \sin\delta \geq 0$

$\sin\gamma = \frac{V_1\cos\alpha - u}{}$

$tg\gamma = \frac{V_1\cos\alpha + u}{V_1 \sin\alpha} \geq tg\delta = \frac{V_2\cos\beta - u}{V_2\sin\beta} \geq 0$

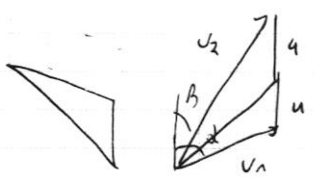


$V_1\cos\alpha + u \geq V_2\cos\beta - u$

$2u \geq V_2\cos\beta - V_1\cos\alpha = V_1\left(\frac{\sin\alpha}{tg\beta} - \cos\alpha\right)$

$V_2\cos\beta \geq u \quad u \leq V_2\cos\beta = V_1\frac{\sin\alpha}{tg\beta}$

$\frac{V_1}{2}\left(\frac{\sin\alpha}{tg\beta} - \cos\alpha\right) \leq u \leq V_1\frac{\sin\alpha}{tg\beta}$

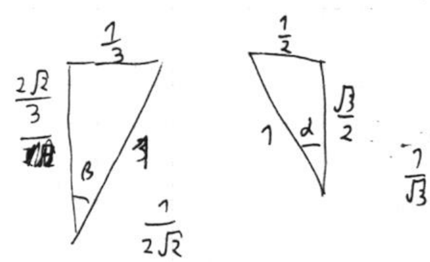


$\frac{3}{7}\cdot\frac{5}{2}\cdot 831\cdot 200$

$V_2\cos\beta = V_1\cos\alpha + 2u$

$2u = V_2\cos\beta - V_1\cos\alpha$

$\frac{831\cdot 15}{7}$



3
1,7
5,1

831 · 15 = 4155 + 831 = 12465

12465 : 7 = 1780,7

$(\sqrt{2} - \frac{\sqrt{3}}{2})6$

$12\cdot 1,4 = 12 + 4,8 = 16,8$

8,4 − 5,1

$\frac{1}{F_0} - \frac{1}{d_2} = \frac{1}{f_2}$

$\underline{d_2 - F_0}$