# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

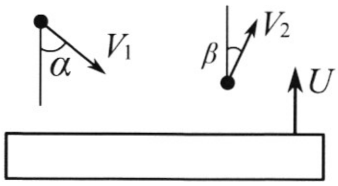
Класс 11

## Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

**1.** Массивная плита движется с постоянной скоростью $U$ вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ м/с, направленную под углом $\alpha\left(\sin\alpha = \dfrac{2}{3}\right)$ 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.



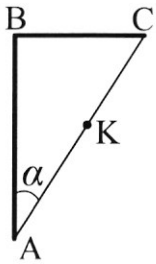

1) Найти скорость $V_2$.
2) Найти возможные значения скорости плиты $U$ при таком неупругом ударе.

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 гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ 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 гелия и неона.
2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

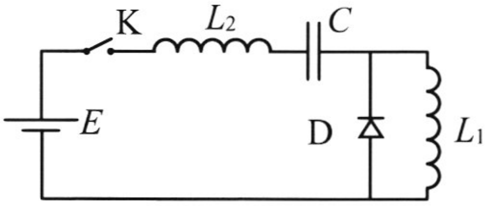
**3.** Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.




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?

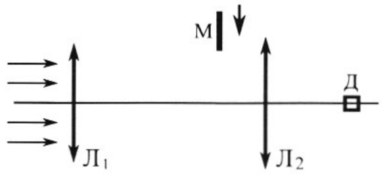
2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma, \sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

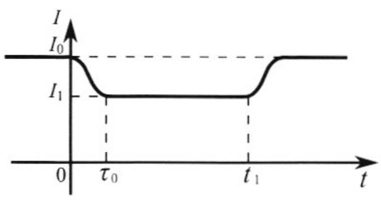
**4.** Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС $E$, катушек с индуктивностями $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, конденсатора емкостью $C$, диода D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в $L_2$.




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 Л$_1$ и Л$_2$ (см. рис.) с фокусными расстояниями $F_0$ и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1{,}5F_0$. 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 $5F_0/4$ от Л$_1$. На рисунке показана зависимость тока $I$ фотодетектора от времени $t$ (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.




1) Найти расстояние между линзой Л$_2$ и фотодетектором.
2) Определить скорость $V$ движения мишени. 3) Определить $t_1$.

Известными считать величины $F_0$, $D$, $\tau_0$.

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) Дано:

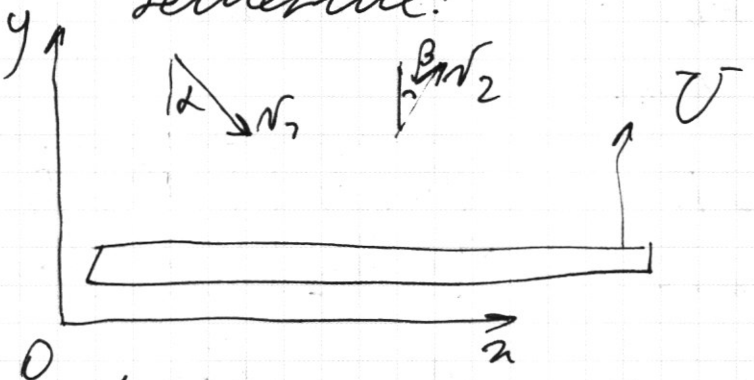
$v_1 = 6 \frac{м}{с}$

$\sin\alpha = \frac{2}{3}$

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

1) $v_2$ - ?
2) $U$ - ?

Решение:




в системе отсчёта, связанной с плитой

$v_1'$ – скорость до удара

$v_2'$ – скорость после удара

рассмотрим эти скорости в проекции на оси ($v_{1y}'$, $v_{1x}'$, $v_{2y}'$, $v_{2x}'$)

oy: $v_1 \cos\alpha + U = v_{1y}'$ $\quad v_2 \cos\beta - U = v_{2y}'$

ox: $v_1 \sin\alpha = v_2 \sin\beta = v_{1x}' \Rightarrow$

$$\underline{v_2 = \frac{v_1 \sin\alpha}{\sin\beta} = 12 \frac{м}{с}}$$

$0 < v_{2y}' < v_{1y}'$ – удар неупругий

$\Leftrightarrow$

$$\begin{cases} v_2 \cos\beta > U \\ v_2 \cos\beta < v_1 \cos\alpha + 2U \end{cases}$$

$\Downarrow$

$\cos\alpha = \sqrt{1-\frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$

$U < v_2 \cos\beta = 12 \cdot \sqrt{1-\frac{1}{9}} = 8\sqrt{2}$

$U > \frac{v_2 \cos\beta - v_1 \cos\alpha}{2} = 4\sqrt{2} - \sqrt{5}$

1) продолжение

Ответ: 1) $v_2 = 12 \frac{м}{с}$

2) $4\sqrt{2} - \sqrt{5} < v < 8\sqrt{2}$

2) Дано:

$\nu = \frac{6}{25}$ моль

$T_1 = 330$ K

$T_2 = 440$ K

$i = 3$

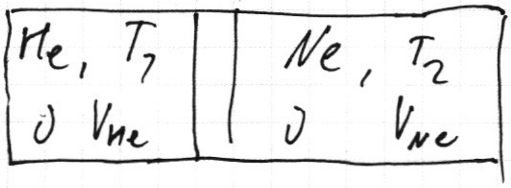
$R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot K}$

1) $\frac{V_{He}}{V_{Ne}}$ - ? ($V_{He}$ - объём гелия, $V_{Ne}$ - объём неона)

2) $T_{уст}$ - ? ($T_{уст}$ - установившаяся температура)

3) $\Delta Q$ - ? ($\Delta Q$ - кол-во теплоты, переданной от неона гелию)

Решение:




1) З-н Менделеева - Клапейрона

$pV_{He} = \nu R T_1$

$pV_{Ne} = \nu R T_2$

p - давление на поршень, одинаково, т.к. нет трения у поршня

$V_{He} = \frac{\nu R T_1}{p}$ ; $V_{Ne} = \frac{\nu R T_2}{p}$

$\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{3}{4}$

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) ПРОДОЛЖЕНИЕ

2) ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ:

$$\frac{i}{2}\nu RT_1+\frac{i}{2}\nu RT_2=\frac{i}{2}\nu RT_{уст}+\frac{i}{2}\nu RT_{уст}$$

ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ ГЕЛИЯ ДО ... НЕОНА ДО ГЕЛИЯ ПОСЛЕ НЕОНА ПОСЛЕ

$$T_{уст}=\frac{T_1+T_2}{2}=385\,К$$

$$\begin{array}{r|l} 770 & 2 \\ \hline -6 & 385 \\ 17 & \\ -16 & \\ 10 & \end{array}$$

3) (3(1) $\Delta Q=\frac{i}{2}\nu RT_{уст}-\frac{i}{2}\nu RT_1=$

$$=\frac{i}{2}\nu R\left(\frac{T_2-T_1}{2}\right)=\frac{3}{2}\cdot\frac{6}{25}\cdot\frac{8{,}31\cdot(440-330)}{2}=$$

$$=\frac{8{,}31\cdot 110\cdot 18}{100}\approx 164{,}5\ Дж$$

$$\begin{array}{r} \times 8{,}31 \\ 18 \\ \hline 6648 \\ 831 \\ \hline 149{,}58 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \times 14{,}958 \\ 11 \\ \hline 14958 \\ 14958 \\ \hline 164{,}538 \end{array}$$

Ответ: 1) $\frac{V_{He}}{V_{Ne}}=\frac{3}{4}$; 2) $T_{уст}=385\,К$

3) $\Delta Q=164{,}5\ Дж$

☐ черновик ☑ чистовик (Поставьте галочку в нужном поле)

5) Дано:

$F_0$

$D$, $\tau_0$

$D \ll F_0$

$I_1 = \frac{8I_0}{9}$

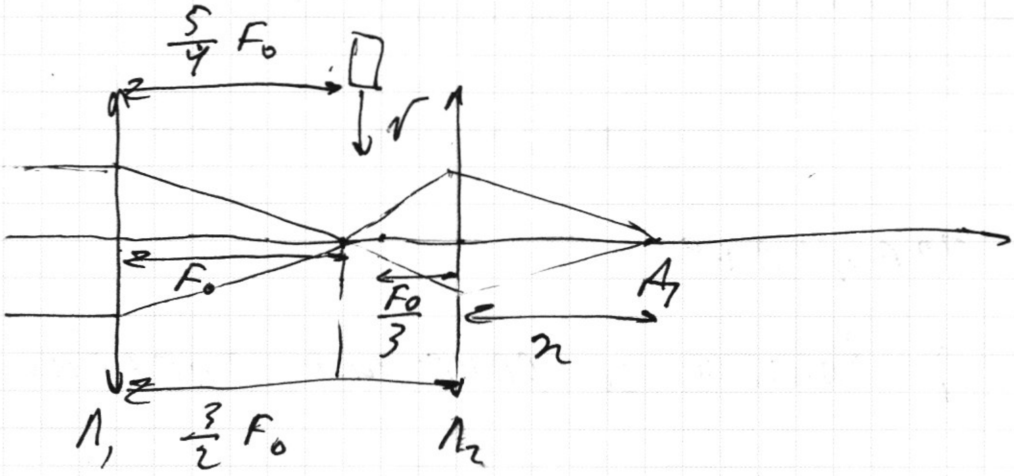
1) $x$ - ?

(расстояние между $Л_2$ и $А$)

2) $v$ - ?

3) $t_1$ - ?

Решение:




1) по формуле тонкой линзы:

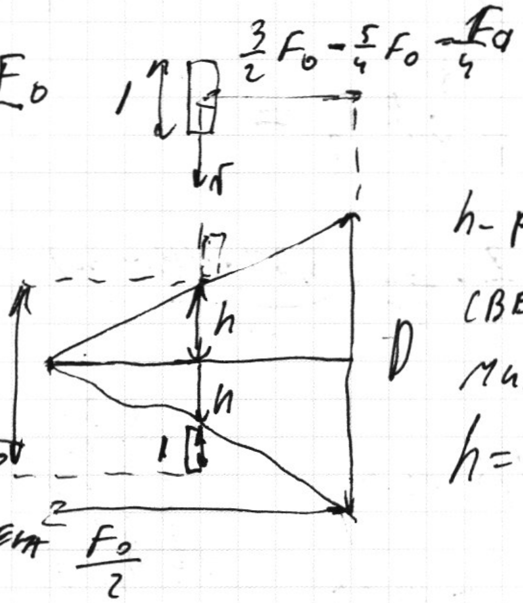
$$\frac{1}{1{,}5F_0 - F_0} + \frac{1}{x} = \frac{3}{F_0}$$

$$\frac{1}{x} = \frac{3}{F_0} - \frac{2}{F_0} = \frac{1}{F_0}$$

$\Rightarrow$

$\underline{x = F_0}$

2)




y - какой-то коэффициент

h - радиус сечения светового конуса плоскостью мишени. Из подобия

$$h = \frac{D}{2} \cdot \frac{2}{F_0} \cdot \frac{F_0}{4} = \frac{D}{4}$$

$I \sim \pi h^2 - S_{мз}$ → $S_{пв}$ - часть площади мишени, закрывающая свет в данный момент

$I_1 = (\pi h^2 - \pi l^2) \cdot y$

$I_0 = (\pi h^2) \cdot y$ -

l - радиус мишени

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5) ПРОДОЛЖЕНИЕ

$$\pi h^2 - \pi l^2 = \frac{8}{9}\pi h^2$$

$$\Downarrow$$

$$\pi l^2 = \frac{1}{9}\pi h^2 \Rightarrow l = \frac{h}{3}$$

$v\tau_0 = l$ – ЧЕРЕЗ ВРЕМЯ $\tau_0$ ВСЯ МИШЕНЬ БУДЕТ ЗАКРЫВАТЬ СВЕТ

$$v = \frac{l}{\tau_0} = \frac{h}{3\tau_0} = \frac{D}{12\tau_0}$$

3) $t_2$ – ВРЕМЯ, ЧЕРЕЗ КОТОРОЕ ТОК СНОВА СТАНЕТ $I_0$ $(= t_1 + \tau_0$ В СИЛУ СИММЕТРИИ) (СМ. РИС.)

$$v \cdot t_2 = 2h + l = \frac{D}{2} + \frac{D}{12} = \frac{7D}{12}$$

$$t_2 = \frac{\frac{7D}{12}}{\frac{D}{12\tau_0}} = 7\tau_0$$

$$t_1 = t_2 - \tau_0 = 6\tau_0$$

~~Ответ: 7~~ $\tau_0$

ОТВЕТ: 1) $x = F_0$

2) $v = \frac{D}{12\tau_0}$

3) $t_1 = 6\tau_0$

4) ДАНО:

$E$

$L_1 = 3L$

$L_2 = 2L$

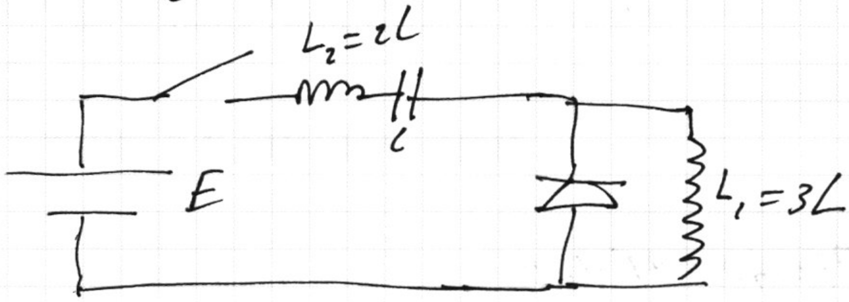
$L$

1) $T$ — ?

2) $I_{01}$ — ?

3) $I_{02}$ — ?

РЕШЕНИЕ:



1) ПЕРИОД $T$ — ПОЛУСУММА ПЕРИОДОВ СХЕМЕЙ ~~…~~, С КОНДЕНСАТОРОМ $C$, КАТУШКОЙ $L_2$ И С КОНДЕНСАТОРОМ $C$, КАТУШКОЙ $L_1+L_2$ (В ОДНО (ПЕРВОЕ) ПОЛУКОЛЕБАНИЕ СХЕМА ЭКВИВАЛЕНТНА СХЕМЕ ИЗ ИСТОЧНИКА $E$, КАТУШКИ $L_1+L_2$, И КОНДЕНСАТОРА $C$, А ВО ДРУГОЕ — ~~С КАТУШКОЙ~~ $E, C,$ $L_2$)

$$T = \frac{4c}{\sqrt{2LC}} + \frac{4c}{\sqrt{5LC}} = \frac{4c}{\sqrt{LC}} \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{5}}{5}\right) =$$

$$= \frac{\sqrt{2LC}}{4c} + \frac{\sqrt{5LC}}{4c} =$$

$$= \frac{\sqrt{LC}}{4c}\left(\sqrt{2} + \sqrt{5}\right)$$

2) ПО ЗАКОНУ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ:

$$\frac{CE^2}{2} = \frac{(L_1+L_2) I_{01}^2}{2} \quad I_{01} = E\sqrt{\frac{C}{L_1+L_2}} = E\sqrt{\frac{C}{5L}}$$

3) АНАЛОГИЧНО $\frac{CE^2}{2} = \frac{L_2 \cdot I_{02}^2}{2}$ $I_{02} = E\sqrt{\frac{C}{L_2}} = E\sqrt{\frac{C}{2L}}$

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

ШИФР
(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

4) ПРОДОЛЖЕНИЕ

ОТВЕТ: 1) $T = \frac{\sqrt{LC}}{4\pi}(\sqrt{2}+\sqrt{5})$

2) $I_{01} = E\sqrt{\frac{C}{5L}}$

3) $I_{02} = E\sqrt{\frac{C}{2L}}$

3) ДАНО:

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

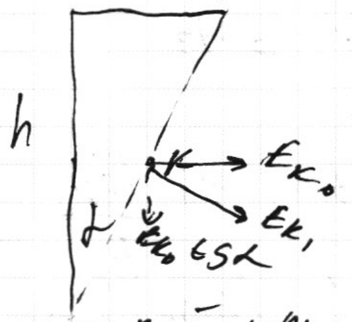
НАПРЯЖЁННОСТЬ ~~компонент~~ ЕСЛИ

$E_{k1}$ ЕСЛИ ЗАРЯЖЕНЫ ОБЕ

$E_{k0}$ — ЕСЛИ ЗАРЯЖЕНА ОДНА

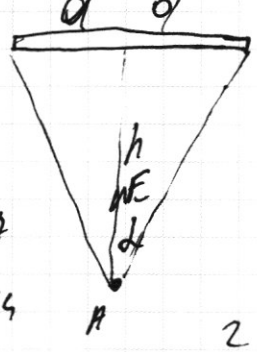
$\frac{E_{k1}}{E_{k0}}$ — ?

РЕШЕНИЕ:




h — ШИРИНА ЛЕВОЙ ПЛАСТИНКИ

~~ОТХОДЯ ОТ ПЛОСКОСТИ С ТОЧКОЙ К (ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ РЕБРУ)~~ НАПРЯЖЁННОСТЬ ~~УМЕНЬШАЕТСЯ~~




d — ширина пластинки

РАССМОТРИМ ДАННЫЙ СЛУЧАЙ

Q — ЗАРЯД, h — РАССТОЯНИЕ ОТ A ДО ПЛАСТИНКИ (h ПРОХОДИТ ЧЕРЕЗ ЦЕНТР) E — НАПРЯЖЁННОСТЬ ПОЛЯ В A.

$2\alpha$ — УГОЛ, ПОД КОТОРЫМ ВИДНА ПЛАСТИНКА ИЗ A

$$E = ~~\ldots~~ 2 \int_{\alpha}^{0} \frac{kq}{(h/\cos\beta)^2}\, d\beta =$$

$$= \frac{2kq}{h^2} \int_{\alpha}^{0} \cos^2\beta\, d\beta =$$

$$= ~~\frac{4kq}{h^2}\left(\frac{\cos\alpha \cdot \sin\alpha + \alpha}{2}\right)~~ =$$

$$= ~~kq(\cos\alpha \sin\alpha + \alpha)~~$$

Мы можем считать только в плоскости с точкой К, т.к. напряжённость будет монотонно убывать по одной формуле для 2-х пластин ⇒ найдётся плоскости, где равные пластины создают потенциал с искомым отношением (все плоскости упомянутые выше перпендикулярны общей прямой двух пластин.

$$E_{K_1} = \sqrt{E_{K_0}^2 + E_{K_0}^2 \cdot tg^2\alpha} =$$

$$= E_{K_0}\sqrt{1 + tg^2\alpha} = E_{K_0}\sqrt{1 + 2}$$

$$\frac{E_{K_1}}{E_{K_0}} = \sqrt{3}$$

Ответ: 1) $\frac{E_{K_1}}{E_{K_0}} = \sqrt{3}$

2) Дано:

$\sigma_1 = 4\sigma$

$\sigma_2 = \sigma$

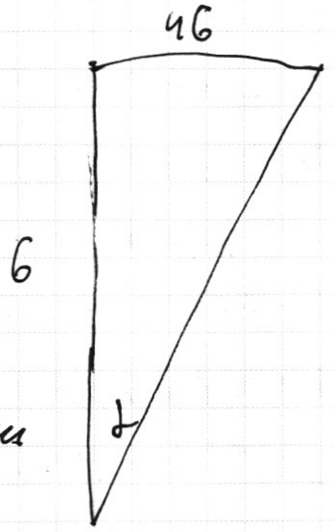
$\alpha = \frac{\pi}{8}$

$E_K$ - ?

↓

напряжённость в К

Решение:



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

# ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{CU^2}{2} = UIt$$

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = const$$

$$C = \frac{2It}{U} = \frac{q}{U}$$

$$q = CU \qquad U = \frac{q}{C} \qquad \frac{q^2}{2C} + \frac{L(q')^2}{2} = const$$

$$q = C\sin\varphi \qquad U = \frac{A}{q}$$

$$C = \frac{2\cdot\frac{q}{t}\cdot t}{\frac{A}{q}}$$

$$\frac{LI^2}{2} = H\cdot M$$

$$[L] = \frac{H\cdot M\cdot c^2}{Kл^2}$$

$$\cancel{\frac{CU^2}{2}} =$$

$$\int \cos^2\beta\, d\beta =$$

$$= \int \cos\beta \sin'\beta =$$

$$Kл = [C]\cdot\frac{H\cdot M}{Kл} \qquad [C] = \frac{Kл^2}{H\cdot M}$$

$$= \sin\beta\cos\beta + \int \sin^2\beta =$$

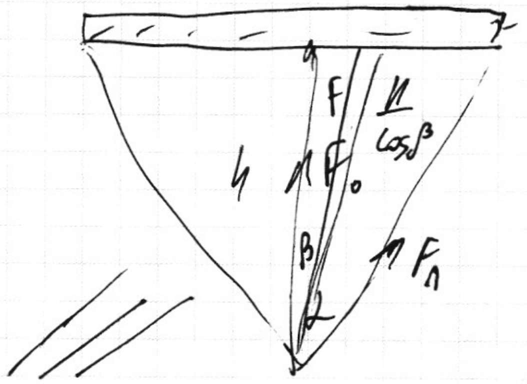
$$= \sin\beta\cos\beta + \int 1 - \int\cos^2\beta$$

$$\left[\frac{1}{\sqrt{[L][C]}}\right] =$$

$$I = \sqrt{\phantom{x}}$$

$$\frac{CE^2}{\cancel{2}} = \frac{2LI^2}{\cancel{2}}$$

$$(\sin\beta\cos\beta)' = \cos^2\beta - \sin^2\beta + \beta$$




$$F_0 = 2\int_{\alpha}^{0} k\, q_0 \frac{\cos^2\beta}{h^2}\, d\beta$$

$$F = \frac{kq}{h/\cos\beta}$$

$$(\cos^2 x)' = = 2\cos^2 x \sin^2 x$$

$$\sum \frac{k\Delta q}{r^2} \sum \frac{k\Delta q \cos^2\beta}{h^2}$$

$$F_0 = 2\int_{\alpha}^{0} kq \frac{\cos^2\beta}{h^2}\, d\beta = \frac{2kq}{h^2}\int_{\alpha}^{0}$$

$$F_0 = 2\sum_{i=\alpha}^{i=0} kq$$

$$2x + 2y + 2z =$$

$$\int \cos^2 x\, dx = \int \cos x \cdot (\sin x)'\, dx =$$

$$= \cos x \sin x + \int \sin^2 x\, dx =$$

$$= \cos x \sin x + \int (1 - \cos^2 x)\, dx =$$

$$= \frac{\cos x \sin x + x}{2}$$

$$(\cos x \sin x)' = \cos^2 x - \sin^2 x$$

черновик ☐ чистовик Страница №__

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