

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

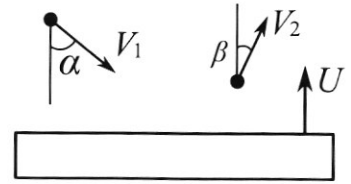
Класс 11

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 α ($\sin \alpha = \frac{3}{4}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{2}$) 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 $C_V = 5R/2$.

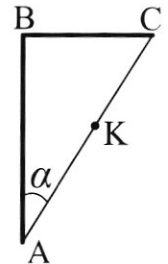
$R = 8,31$ Дж/(моль К).

1) Найти отношение начальных объемов азота и кислорода.

2) Найти установившуюся температуру в сосуде.

3) Какое количество теплоты передал кислород азоту?

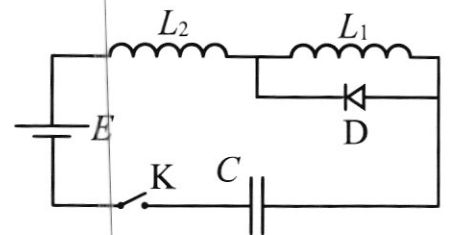
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 .

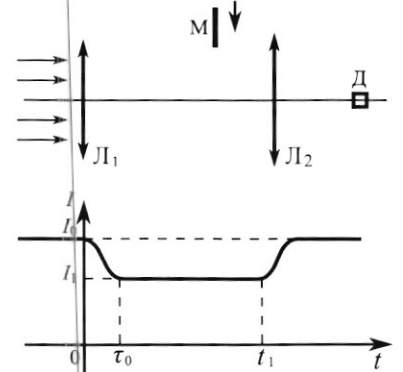


1) Найти период T этих колебаний.

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 L_1 и L_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 L_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 L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 3I_0/4$.



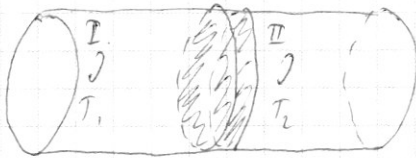
1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.

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

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2.



в объеме I содержится азот, в объеме II -
кислород

↑ подвижный поршень.

1) пусть V_1 - объем кислорода, V_2 - объем азота. Найти $\frac{V_1}{V_2}$
по закону Менделеева-Клапейрона.

$$\begin{cases} pV_1 = \nu RT_1 \\ pV_2 = \nu RT_2 \end{cases} \quad \begin{array}{l} p - \text{давление в каждой области, оно одинаковое, т.к.} \\ \text{при равновесии давлений поршень будет двигаться (пока пока} \\ \text{не будет скомпенсированка)} \end{array}$$

$$\frac{pV_1}{pV_2} = \frac{\nu RT_1}{\nu RT_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{300}{500} = \frac{3}{5} \quad \text{Ответ: отношение начальной}$$

объема азота и начальной объему кислорода равно $\frac{3}{5}$.

2) найти установившуюся температуру (T_k) - ?

~~Формула~~ (с)

$Q_{\text{азота}} = Q_{\text{кислорода}}$ (энергия выделенная кисл. равна эн. поглощенной азотом)

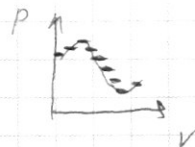
$Q_{\text{азота}} = A \cdot \nu$ (A - работа газа ν - кол-во внутренней энергии)

$A_{\text{азота}} = A_{\text{кислорода}}$ (работы газов равны по модулю, т.к. работа одного газа эквив. работе над другим газом)

$$\nu C_v \Delta T_1 = \nu C_v \Delta T_2 \quad (C_v = \text{const при пов. объеме, нуль при т.п.е. возвращении, если протекать процесс по изохору возвращение эн. уместно где применим $\nu = \text{const}$.)$$

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

$$T_k = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{300 + 500}{2} = 400 \text{ K}$$



$\Delta T_1, \Delta T_2$ - при температур азота и кислорода соответственно

3) В пункте 2а) обозначим выделенное количество тепла, $Q_{\text{калорифера}}$

$$Q_{\text{калорифера}} = A_{\text{калорифера}} + \Delta U_{\text{калорифера}}$$

$$\Delta U = \nu C_V \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \Delta T \quad ; \text{ по уравнению Менделеева-Клапейрона } pV = \nu R \Delta T \rightarrow$$

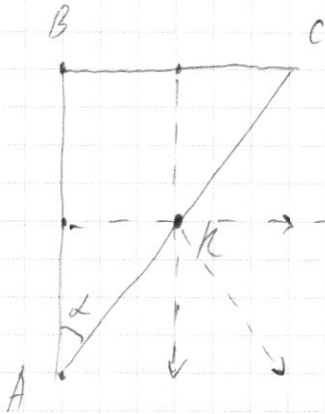
$$A = \nu R \Delta T \quad p \Delta V = \nu R \Delta T \quad \Delta T - \text{ изменение температуры калорифера}$$

(т.к. оба вещества газы)

$$Q_{\text{калорифера}} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T + \nu R \Delta T = \frac{7}{2} \nu R \Delta T = \frac{7}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{7}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot 8,31 \cdot 100 =$$

$$= 1246,5 \text{ Дж} \quad \text{Ответ: } 1246,5 \text{ Дж}$$

№3.



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

из теоремы Гаусса поток от бесконечной ~~плоскости~~ заряженной плоскости

$$\text{в одном направлении } \frac{q}{2\epsilon_0} = E \cdot S \Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

тогда напряженность в

точке K от BC,

$$E_{K1} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

σ - поверхностная плотность заряда

зарядим AB до σ , тогда $E_{K2} = E_{AB} + E_{BC} \Rightarrow E_{K2} = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2} = E_{K1} \cdot \sqrt{2}$

$$E_{AB} = E_{BC} = E_{K1} \quad (\text{т.к. } \alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow AB = BC)$$

Ответ: напряженность увеличится в $\sqrt{2}$.

$$2) \sigma_1 = \sigma_{BC} = 2\sigma \rightarrow E_{BC} = \frac{2\sigma}{2\epsilon_0}$$

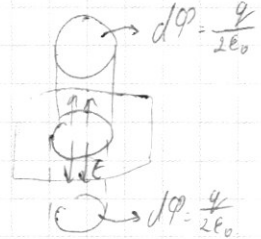
$$\sigma_2 = \sigma_{BA} = \sigma \rightarrow E_{BA} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

(аналог из Т. Гаусса)

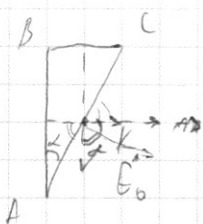
$$d\Phi = E ds$$

$$S d\Phi = SE ds$$

$$\frac{q}{2\epsilon_0} = ES \Rightarrow E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$



~~не можем использовать теорему Гаусса т.к.~~ $E_{BA} \neq E_{BC}$; $\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow$



$$\text{результат } E_{BC} = E_0 \cos \alpha$$

$$E_{AB} = E_0 \sin \alpha$$

$$E_{BC} = E_0 \cos \alpha$$

$$E_{AB} = E_0 \sin \alpha$$

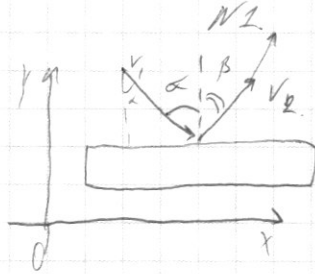
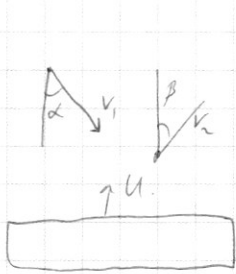
$S_{AB} \neq S_{BC}$ (не совсем бесконечные плоскости и в отличие от первого пункта $AB \neq BC$)

$$E_{BC} = 2k E_{AB}, \text{ где } k - \text{коэф. прит.}$$

$$E_{AB} = E_0 \sin \alpha$$

$$E_{BC} = E_0 \cos \alpha = 2k E_{AB} \Rightarrow$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Нет изменения импульса по ОХ
(сила в момент удара - сила реакции опоры \perp ОХ (т.е. \perp поверхности))

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

$$\Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 8 \cdot \frac{3}{4} \cdot 2 = 12 \text{ м/с}$$

Ответ: $v_2 = 12 \text{ м/с}$

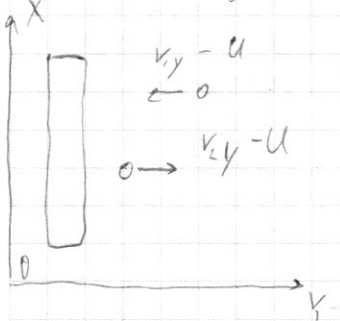
2) раскл. сп по ОУ

$$v_{1y} = v_1 \cos \alpha$$

$$\Delta p_y = v_{2y} - v_{1y} = v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha = v_1 \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta - v_1 \cos \alpha =$$

$$v_{2y} = v_2 \cos \beta = v_1 (\sin \alpha \operatorname{ctg} \beta - \cos \alpha)$$

раскл. систему УПН. \otimes миты



удар неупругий $\Rightarrow |v_{1y} - u| \geq v_{2y} - u$

$$u - v_{1y} \geq v_{2y} - u$$

$$\begin{cases} 2u \geq v_{2y} + v_{1y} \\ v_{2y} > u \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2u > v_1 (\sin \alpha \operatorname{ctg} \beta + \cos \alpha) \\ v_1 \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta > u \end{cases}$$

$$v_1 \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta > u > \frac{v_1}{2} (\sin \alpha \operatorname{ctg} \beta + \cos \alpha)$$

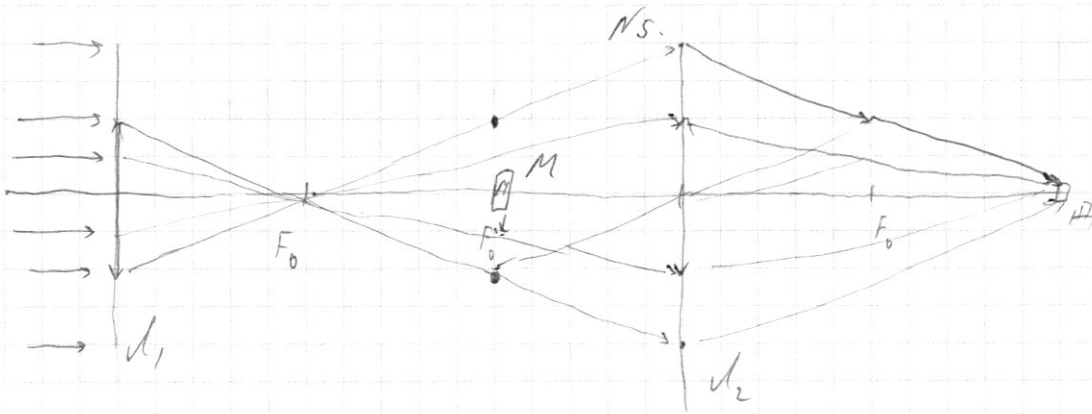
$$\sin \alpha = \frac{3}{4} \Rightarrow \cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \frac{\sqrt{7}}{4}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{2} \Rightarrow \cos \beta = \frac{\sqrt{3}}{2} \Rightarrow \operatorname{ctg} \beta = \sqrt{3}$$

$$v_1 \frac{3}{4} \sqrt{3} > u > \frac{v_1}{2} \left(\frac{3\sqrt{3}}{4} + \frac{\sqrt{7}}{4} \right)$$

$$6\sqrt{3} > u > 3\sqrt{3} + \sqrt{7}$$

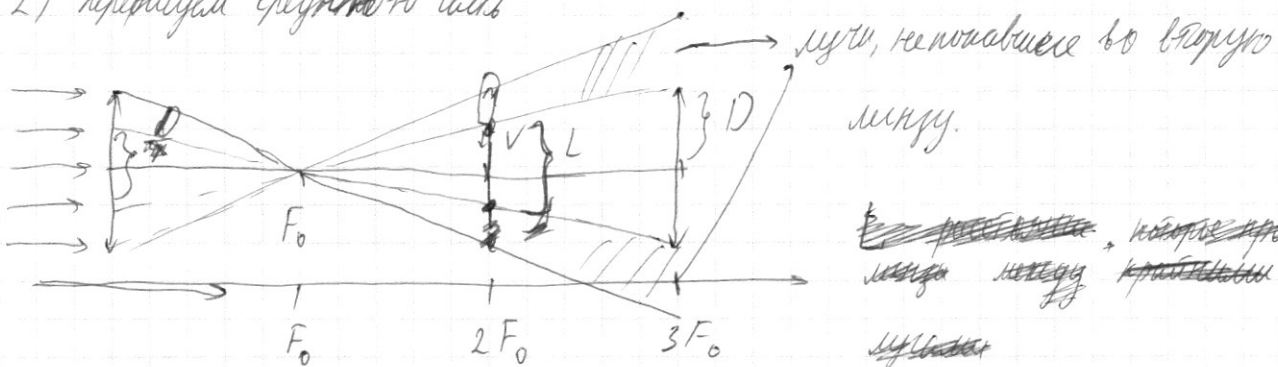
Ответ: $u \in (3\sqrt{3} + \sqrt{7}; 6\sqrt{3})$



1) Из симметрических изображений (по рисунку) для попадания лучей в объектив, когда мишень расположена на главной оптической оси, необходимо, чтобы она находилась на расстоянии $2F_0$ от L_2 справа

(попадают другие лучи $\Rightarrow I > 0$, по рисунку видно, что у мишени есть тень, поэтому объектив находится в том же пересечении всех лучей)

2) определим среднюю часть



лучи, не попавшие во вторую линзу.

~~лучи, которые проходят между экраном и линзой~~

$$L = \frac{1}{2} 2D = D \quad (\text{по подобию } \Delta)$$

$$I_0 \sim D \sim \frac{L}{L_2} \quad \text{— кол-во лучей света}$$

$$L \text{ — ширина мишени} \quad \varrho = v \cdot \tau_0$$

$$I_0 \sim \varrho$$

$D \sim L_2$ — часть L , не закрытая мишенью

при том же L , закрыта $\frac{1}{4}L$ мишенью,

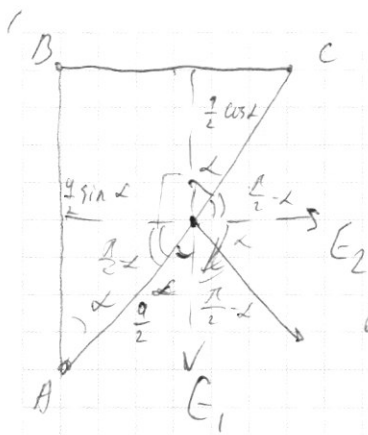
$$I_1 = \frac{3}{4} I_0 \sim \frac{3}{4} \varrho_0 \sim \frac{3}{4} L$$

$$\text{но мишень вышла полностью} \Rightarrow v \cdot \tau_0 = \frac{L}{4} \Rightarrow v = \frac{L_0}{4\tau_0} = \frac{D}{4\tau_0}$$

t_1 — время до касания выходы мишени, т.е. за t_1 мишень прошла

$$\text{расстояние } L \Rightarrow t_1 = \frac{L}{v} = \frac{D}{\frac{D}{4\tau_0}} = \frac{D}{D} \cdot 4\tau_0 = 4\tau_0$$

$$\text{Ответ: } v = \frac{D}{4\tau_0}; \quad t_1 = 4\tau_0$$



Безл. поверхн. заряд. $\Rightarrow \vec{E} = \text{const}$

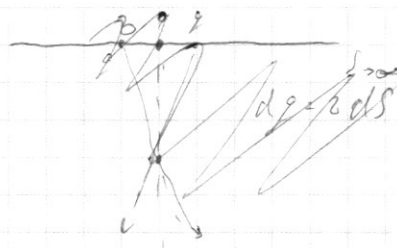
$$\int d\varphi = \frac{q}{\epsilon_0} = \int E ds$$

$$\Delta E = \frac{q}{2\epsilon_0 s} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

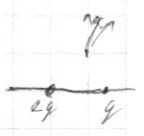
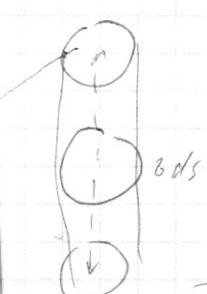
$$E_1 = E \cos \alpha \quad E_2 = E \sin \alpha$$

Сумма \vec{E}_1 равно $\vec{E} = E$

$$\text{Угол. } \sigma \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \sigma$$



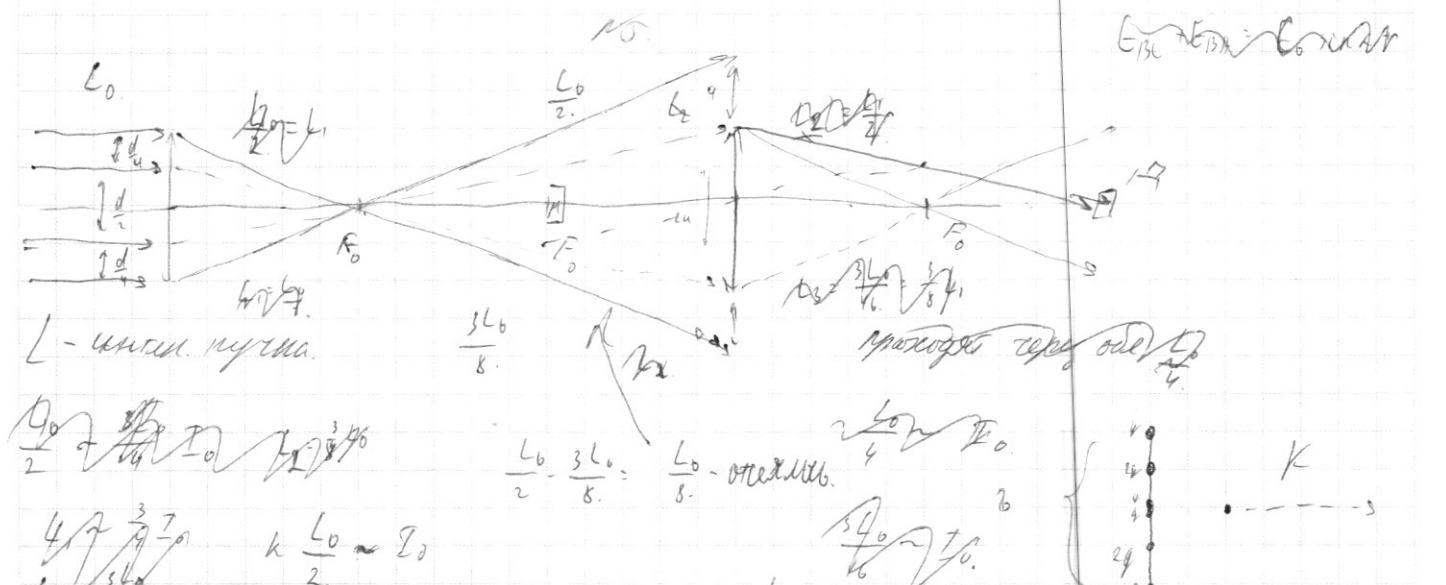
$$E ds = \int E ds \cos \alpha$$



$$E_{BC} = E_0 \sin \alpha$$

$$E_{BA} = E_0 \cos \alpha$$

$$E_{BC} + E_{BA} = E_0 \sqrt{2}$$



$$k \frac{L_0}{2} \sim I_0$$

$$k \frac{3L_0}{8} \sim \frac{3}{4} I_0$$

$$R = \frac{h}{\sin \alpha}$$

$$\frac{2\pi R \cdot \rho}{2} = \frac{2493}{2} = 1246,5$$

$$E_{BC} = 2k E_{AB} = 2k E_0 \sin \alpha$$

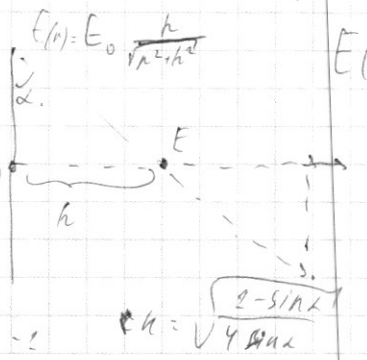
$$E_0 = (4k^2 + 1) E_0 \sin \alpha$$

$$\frac{2\pi R \cdot \rho}{R^2 \sin^2 \alpha} k$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{4k^2 + 1}$$

$$k^2 = \frac{1}{\sin^2 \alpha} - 1$$

$$k = \sqrt{4 \sin^2 \alpha}$$

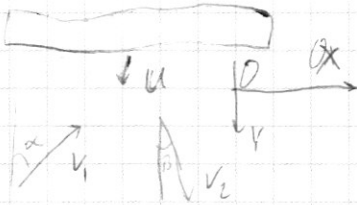


$$E(r) = E_0 \frac{h}{\sqrt{r^2 + h^2}}$$

$$E(0) = E_0 - \text{члб.}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1



~~по DX~~ $\Delta v = 0$.

$$v_{0x} = v_1 \sin \alpha$$

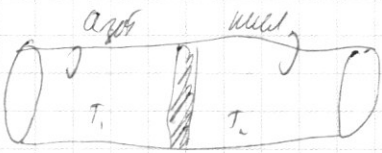
$$v_2 = \frac{v_{0x}}{\sin \beta} = 2 v_{0x} = 2 v_1 \sin \alpha = \frac{3}{2} v_1$$

$$F_{\text{пл}} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$\Delta p = F \Delta t$$

$$M U + m v_{1y} = M U + m v_{2y}$$

№2.



1) $\frac{v_1}{v_2}$ вычислить?

$$\begin{cases} p_1 v_1 = \nu R T_1 \\ p_2 v_2 = \nu R T_2 \\ p_2 = p_1 = p \end{cases} \quad R \quad p = \frac{\nu R T_1}{v_1} = \frac{\nu R T_2}{v_2} \Rightarrow \frac{T_1}{v_1} = \frac{T_2}{v_2}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

2) T_H ? $Q_{\text{ог}} = Q_{\text{мел}}$

$$C_v = \frac{5}{2} R \text{ при } v = \text{const}$$

$$\nu C_v \Delta T_1 = \nu C_v \Delta T_2$$

$$\begin{cases} p v_1 = \nu R T_H \\ p v_2 = \nu R T_H \end{cases} \Rightarrow \frac{v_1}{v_2} = 1 \Rightarrow \Delta U_H = \Delta U_{\text{ог}} = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \nu C_v \Delta T_1 = \nu C_v \Delta T_2$$

$$\nu C_v (T_H - T_1) = \nu C_v (T_2 - T_H)$$

$$T_H - T_1 = T_2 - T_H$$

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

3) $\Delta \theta = \nu C_v (T_2 - T_1)$

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



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

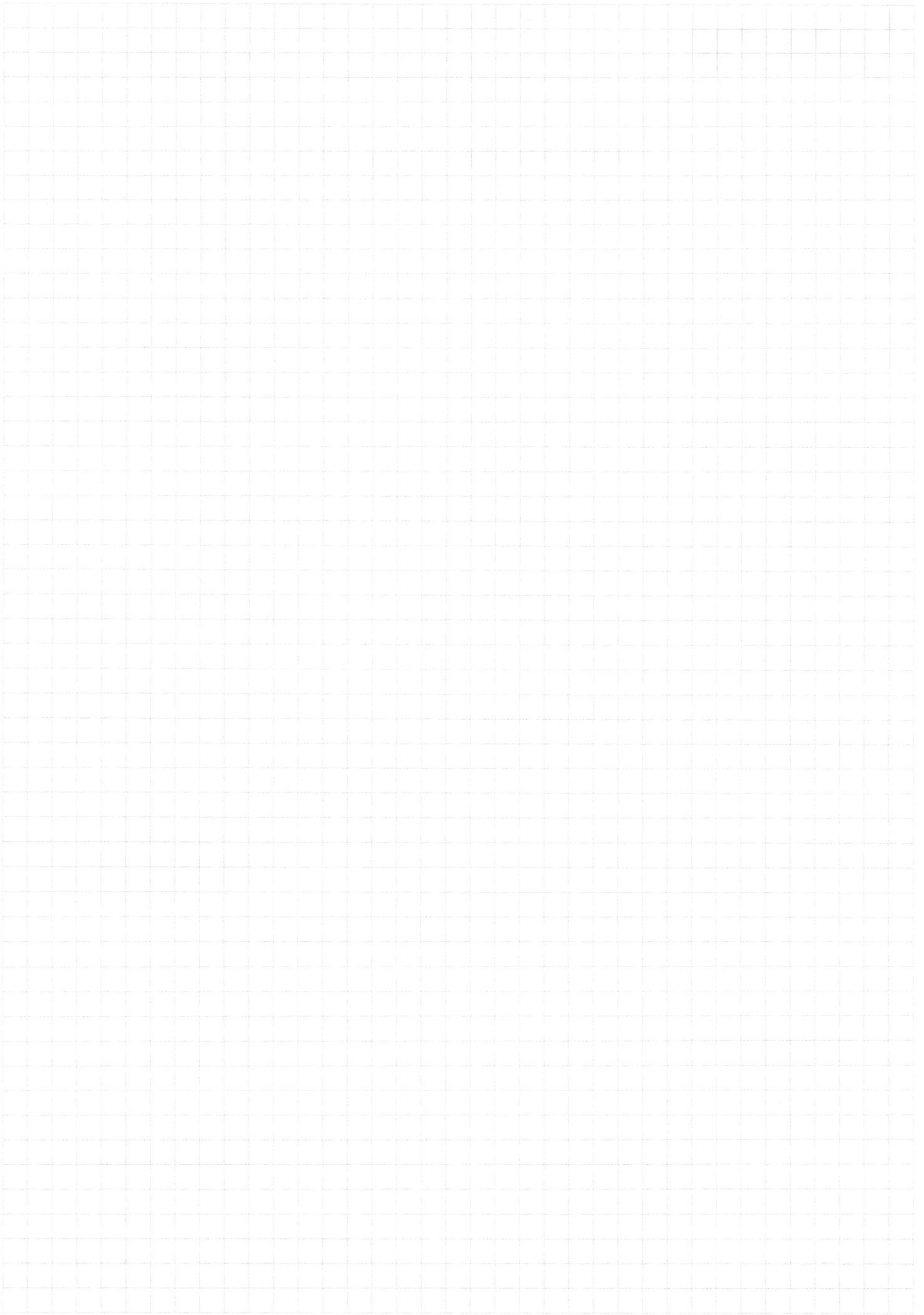
ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)



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

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)