

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

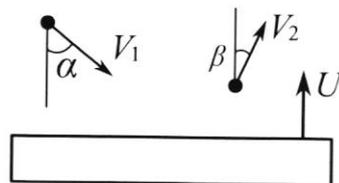
Класс 11

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

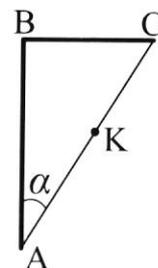


1) Найти скорость V_2 .
 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
 Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

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).

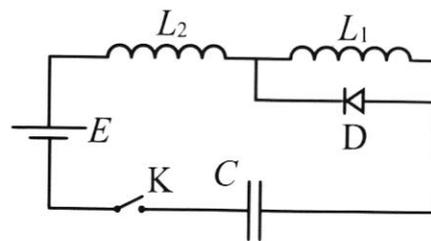
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

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



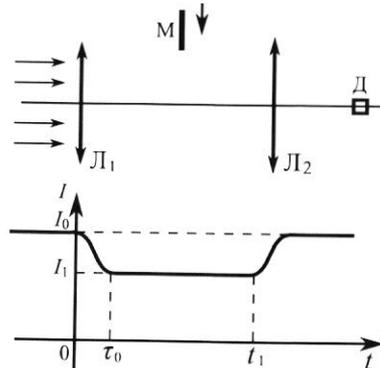
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 3\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, 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 .

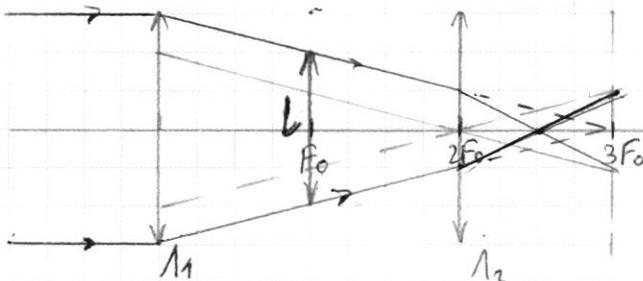
5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями $3F_0$ и F_0 , соответственно. Расстояние между линзами $2F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой 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 F_0 от L_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 L_2 и фотодетектором.
 - 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .
- Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 5



1) Исходя из геом. построений хода луча, можно утверждать, что расстояние между L_2 и L_1 равно $\frac{F_0}{2}$.

2) Заметим, что $\frac{I_0}{I_1} = \frac{P_0}{P_1} = \frac{S_0}{S_1}$, где P_1 и S_1 - мощность потока и площадь щели соотв. Φ . Рассмотрим промежуток времени от 0 до t_0 . За это время щель полностью пересекает границу света, т.е. в $t=0$ она не мешает прохождению света, а в $t=t_0$ она полностью освещена. Значит, за время t_0 она ~~на~~ перемещается на d_{μ} (диаметр щели), тогда $v = \frac{d_{\mu}}{t_0}$.

Из соотношения $\frac{I_0}{I_1} = \frac{S_0}{S_1} = \frac{9}{5}$: на расстоянии F_0 от L_1 диаметр окружности, через которую проходят краевые лучи (см. ~~на~~ рисунок), равен $L = \frac{2}{3}D$, т.к. $\frac{D}{3F_0} = \frac{L}{3F_0 - 2F_0}$, тогда $S_0 = \frac{\pi L^2}{4} = \frac{\pi D^2}{9}$, $S_1 = \frac{\pi D_{\mu}^2}{4}$, значит, $\frac{9D_{\mu}^2}{4D^2} = \frac{5}{9}$, $D_{\mu} = \frac{2D}{3}\sqrt{5}$, тогда $v = \frac{2D}{3t_0} \cdot \sqrt{5}$

3) За $t=t_1$ нижний край щели проходит L (т.к. в $t=0$ так ~~и~~ касается убавать, а в $t=t_1$ - касается возрастать), тогда $t_1 = \frac{L}{v} = \frac{\frac{2D}{3}}{\frac{2D}{3t_0}\sqrt{5}} = \frac{3D t_0}{3D\sqrt{5}} \cdot \sqrt{5} \approx 1,32 t_0$

Задача 4

- 1) При замыкании ключа ток пойдет через обе катушки до конденсатора. Когда конденсатор будет заряжен, то ток пойдет в обратном направлении через диод и катушку L_2 . Тогда период колебаний тока в катушке равен ~~периоду~~ периоду колебаний первого и второго случая.

$$T_1 = 2\pi\sqrt{L_1 C}; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{L_2 C}$$

$$L_{12} = L_1 + L_2 + 2\sqrt{L_1 L_2} = 4L + 3L + 2\sqrt{12L^2} = 7L + 4\sqrt{3}L \approx 14L$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = 2\pi\sqrt{C}(\sqrt{4L} + \sqrt{3L})$$

- 2) $W_m = \frac{C\varepsilon^2}{2}$ - максимальная энергия конденсатора.

$$\frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{L_{12} I_{\max}^2}{2} - \text{максимальная энергия катушек } L_1 \text{ и } L_2, \text{ что соотв. 1 случаю.}$$

$$I_{\max} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{L_{12}}} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{14L}}$$

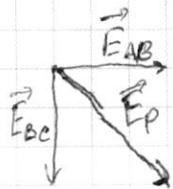
~~Видно~~

- 3) Максимальный ток через катушку 2 будет равен $I_{m2} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{L_2}}$, что соответствует максимальному току через диод и катушку L_2 , тогда $I_{m2} = \varepsilon \sqrt{\frac{C}{3L}}$.

Задача 3

- 1) Для бесконечной плоской пластины $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$. П.к. $\alpha = \frac{\pi}{4}$, то

$AB = BC$. Для т. К можно показать векторы напряжений:



Поскольку $\sigma_{BC} = \sigma_{AB}$, то $|\vec{E}_{AB}| = |\vec{E}_{BC}|$, а т.к. пластины бесконечны и перпендикулярны, то $\vec{E}_{AB} \perp \vec{E}_{BC}$, тогда $\frac{|\vec{E}_P|}{E_{BC}} = \sqrt{2}$, то есть напряженность увеличится

в $\sqrt{2} \approx 1,4$ раза.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 3 (продолжение)

2) Для бесконечной плоской пластины $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, тогда
 $E_{BC} = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} = \frac{3\sigma}{2\epsilon_0}$; $E_{AB} = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$, т.е. $\frac{E_{BC}}{E_{AB}} = 3$. Аналогично п.1,
 в т.к. $E_p = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = E_{AB} \cdot \sqrt{10} = \frac{5\sqrt{10}}{2\epsilon_0}$

Задача 1

1) т.к. в системе нет горизонтальных сил, то шарик
 по горизонтали должен сократиться, тогда $v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$,
 $v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{12 \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 18 \frac{м}{с}$

2) Измерение скорости шарика по вертикали равно
 $\Delta v = v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta = v_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} + v_2 \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \frac{12\sqrt{3}}{2} + \frac{18 \cdot 2\sqrt{2}}{3} =$
 $= 12\sqrt{2} + 6\sqrt{3} = 6(2\sqrt{2} + \sqrt{3}) \frac{м}{с}$, ~~предмет~~ а скорость движения
 шара должна быть не меньше ~~вот~~ измерения
 вертикальной скорости шарика, тогда $U \geq 6(2\sqrt{2} + \sqrt{3}) \frac{м}{с}$

Задача 2:

1) До того, как температура газа выравняется,
 давление с обеих сторон поршня было равным, т.к. он был
 неподвижен, тогда: $p_0 V_k = \nu_k R T_k$ - для N_1

Значит $\frac{p_0 V_k}{p_0 V_n} = \frac{\nu_k R T_k}{\nu_n R T_n}$; $\frac{V_k}{V_n} = \frac{T_k}{T_n} = \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$

2) Т.к. температуры газов выравняются, и $\nu_k = \nu_n$,
 то установившаяся температура $T = \frac{T_k + T_n}{2} = 450 K$

Задача 2 (продолжение):

3) Так как система теплоизолирована, то азот передает водороду ровно столько энергии, сколько потерял сам, т.е.

$\Delta Q = Q_0 - Q_1$. В начальном состоянии и в состоянии равновесия температуры соответственно равны $Q_0 = C_V \cdot \nu_n \cdot T_n$,

$Q_1 = C_V \cdot \nu_n \cdot T$ (т.к. в эти молекулы объем газа постоянен).

$$\text{тогда } \Delta Q = C_V \cdot \nu_n \cdot (T_n - T) = \frac{5}{2} R \cdot \frac{6}{7} \cdot (550 - 450) = \\ = \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot \frac{6}{7} \cdot 100 = \frac{24930}{14} = 1781 \text{ (Дж)}.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

N1
1) $MU - m v_1$

на 2. ось: $m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$; $v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{12 \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = \frac{12}{2} \cdot 3 = 18 \frac{m}{c}$

2) По б: $MU - m v_1 \cos \alpha = MU + m v_2 \cos \beta$
 ~~$m v_2 \cos \beta = m$~~

N2

$PV = \nu RT$

~~$P_0 V_1 = \nu RT_1$~~ ~~$V_2 = \nu RT_1$~~

$P_0 V_H = \nu RT_1$

$P_0 V_N = \nu RT_2$

$\frac{V_H}{V_N} = \frac{T_1}{T_2}$

$\frac{350}{550} = \frac{35}{55} = \frac{7}{11}$; $V_H = \frac{7}{18} V$

$V_N = \frac{11}{18} V$

~~$Q_1 + Q_2 = \Delta U_1 + \Delta U_2$~~

~~$Q_1 + Q_2 = Q_1 + Q_2 = 2Q$~~

~~$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{5}{2} \nu RT$~~

~~$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{5}{2} \nu RT$~~

учет. ~~полн~~ мен:

$T_H = T_N = T$

$P_H = P_N = P$

$V_H = V_N = V_1 = \frac{9}{18} V$

$T_{\text{учет}} = 450K ?$

~~$\Delta Q_H = A_1 + \frac{5}{2} R \nu \Delta T_H$~~
 ~~$\Delta Q_N = -A_2 + \frac{5}{2} R \nu \Delta T_N$~~ } $A_1 \neq$

до учт:

~~$P_0 V_H = \nu RT_H = \frac{7}{18} P_0 V$~~ После учт:

~~$P_0 V_N = \nu RT_N = \frac{11}{18} P_0 V$~~

~~$P_0 = \frac{18 \nu RT_N}{11 V}$~~

$P_1 V_1 = \nu RT = \frac{9 P_1 V}{18}$

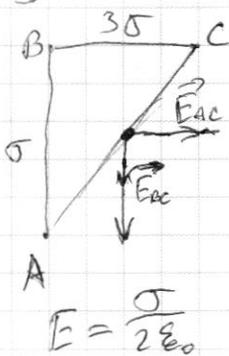
$P_2 V_1 = \nu RT$

~~$P_1 = \frac{2 \nu RT}{9 V}$~~

$\Delta T = 100 K$

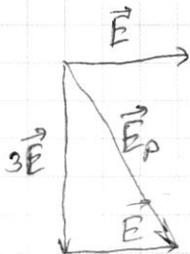
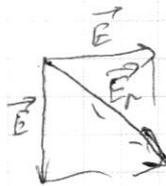
$\Delta Q = A_1 + \Delta U$

N3



$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

1) 682 раз:



$$E_p = E \cdot \sqrt{10} = \frac{5\sqrt{10}}{2\epsilon_0}$$

$$q = CU = \frac{UES}{d} = E\epsilon_0 S$$

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 S} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$kx^2 + \frac{mx^2}{2}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{K}{m}}$$

$\omega = \omega_1 + \omega_2$

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{Lq^2}{2} = E ; \omega = \sqrt{\frac{\frac{1}{2C}}{\frac{1}{2}}} = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\frac{T_1}{2} = 2\pi \sqrt{LC_1} ; T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = 2\pi \sqrt{C} (\sqrt{L_1} + \sqrt{L_2})$$

$$\frac{T_2}{2} = 2\pi \sqrt{L_2 C}$$

$$W_m = \frac{CE^2}{2} = \frac{L_{12} I_m^2}{2} ; I_{m1} = E \sqrt{\frac{C}{L_{12}}}$$

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

$$L_{12} = L_1 + L_2 + 2\sqrt{L_1 L_2} = 4L + 3L + 4\sqrt{L^3} = L(7 + 4\sqrt{3})$$

$$173 \cdot 4 = 7$$

$$F_1 - F_2 = 2F_0$$

$$\frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} = \frac{1}{F} \quad \frac{1}{d} + \frac{2}{F_0} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{3F_0} + \frac{3}{3F_0} = \frac{1}{F} = \frac{4}{3F_0} \quad \frac{1}{2F_0} + \frac{2}{F_0} = \frac{5}{2F_0}$$

$$F = \frac{3F_0}{4} \quad F_0 = \frac{2F_0}{5}$$

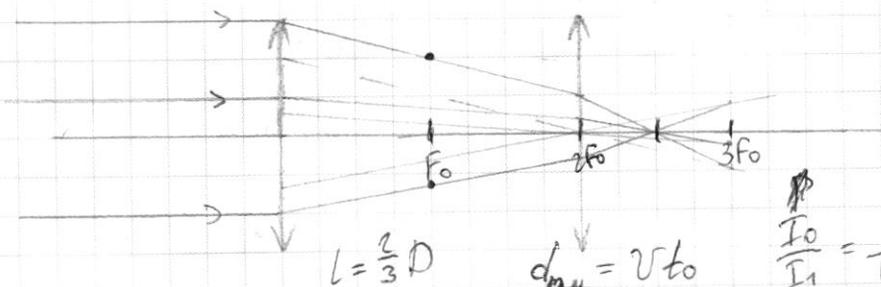
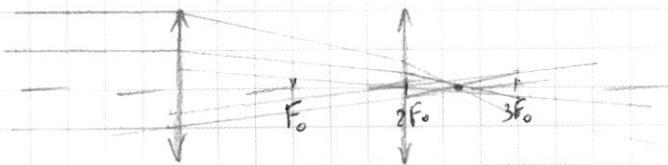
$$\frac{1}{F} + \frac{1}{d} = \frac{4}{3F_0} ; \frac{1}{2F_0} + \frac{1}{2F_0} = \frac{4}{3F_0}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{4}{3F_0} - \frac{1}{2F_0}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{8-3}{6F_0}$$

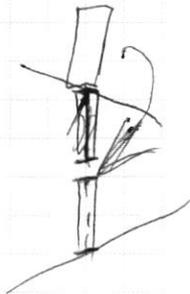
$$F = \frac{6F_0}{5}$$

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{P_0}{P_1} = \frac{S_0}{S_1} = \frac{\pi L^2}{\pi d_m^2} = \frac{9}{5}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{L^2}{dm^2} = \frac{9}{5}; \quad \frac{4D^2}{9} = \frac{9}{5}; \quad \frac{4D^2}{9} \cdot 5 = 9d_{\text{ср}}^2; \quad d_{\text{ср}}^2 = \frac{20D^2}{91}$$



$$v = \frac{2D\sqrt{5}}{9t_0}$$

$$t_1 = \frac{\frac{2D}{3}}{v} = \frac{\frac{2D}{3}}{\frac{2D\sqrt{5}}{9t_0}} = \frac{3t_0}{\sqrt{5}} = 0,6\sqrt{5}$$

ii) по верт:

~~по верт~~

$$Mu - mv_1 \cos \alpha = Mu + mv_2 \cos \beta$$

$$\Delta Q = C_v \nu \Delta T = \frac{5R}{2} \cdot \frac{6}{7} \cdot 100 = \frac{3000R}{14} = \frac{24930}{14}$$

$$\begin{array}{r} 24930 \mid 14 \\ -14 \\ \hline 109 \\ -98 \\ \hline 113 \\ -112 \\ \hline 10 \end{array}$$

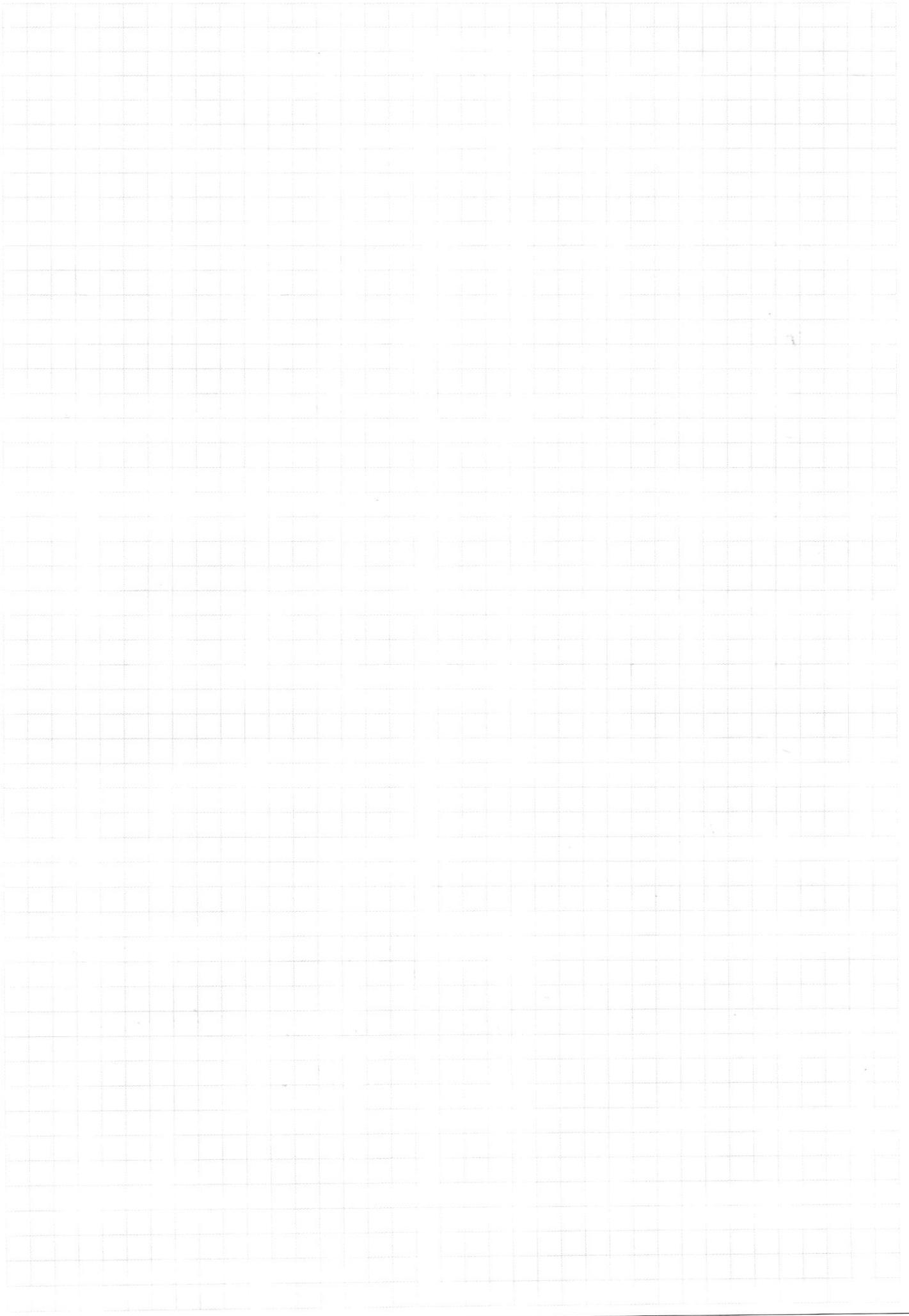
$$\frac{1}{d} + \frac{1}{F} = \frac{1}{F_0}$$

$$\frac{1}{d} + \frac{2}{F_0} = \frac{1}{F}$$

$$L_{12}I = \varphi_1 L_1 + \varphi_2 L_2 + \varphi_{12} L_1 + \varphi_{21} L_2 = L_1 I + L_2 I +$$

$$\text{По верт } \Delta v = v_1 \cos \beta + v_2 \cos \alpha = \frac{18 \cdot 2\sqrt{2}}{3} + \frac{12\sqrt{3}}{2} = 12\sqrt{2} + 6\sqrt{3} = 6(2\sqrt{2} + \sqrt{3})$$

$$\Delta E = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = \frac{m}{2} (18^2 - 12^2) = \frac{m}{2} (324 - 144) = 90m$$



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)