

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

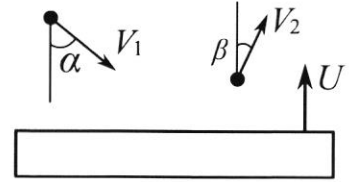
Класс 11

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.

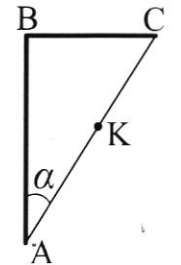
2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве $\nu = 6/7$ моль. Начальная температура водорода $T_1 = 350$ 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?

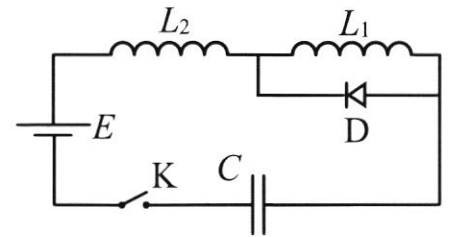
3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



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 .

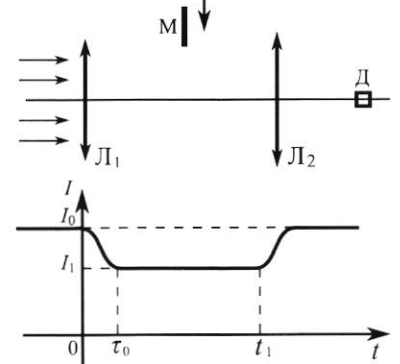


1) Найти период T этих колебаний.

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). $I_1 = 5I_0/9$.



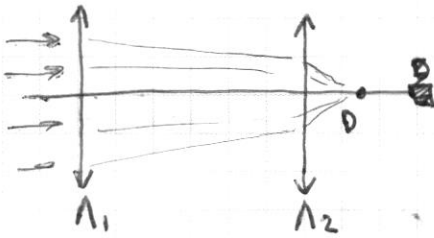
1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.

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

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача № 5

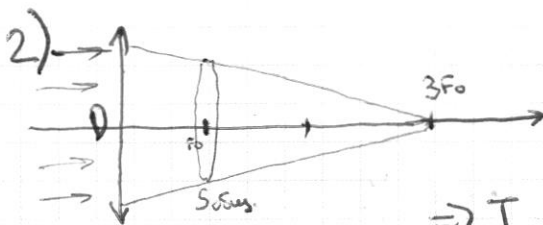


1) Найдем расстояние до детектора.
Параллельные лучи, входящие в L_1 , соберутся $S_{\text{ф}}$ в точке фокуса, т.е. на расстоянии $3F_0$ от L_1 . Используем эту точку как источник

для линзы L_2 .

$$\frac{1}{F_0} = -\frac{1}{F_0} + \frac{1}{d}, \text{ где } d - \text{расстояние от } L_2 \text{ до детектора вправо.}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{2}{F_0} \Rightarrow d = \frac{F_0}{2}$$



$$I \sim P \Rightarrow I \sim S$$

$$I_1 = \frac{5}{9} I_0 \Rightarrow \frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{обл}}} I_0 \Rightarrow S_{\text{м}} \propto S_{\text{обл}}$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{S_{\text{обл}} - S_{\text{м}}}{S_{\text{обл}}} I_0 \Rightarrow \frac{S_{\text{обл}} - S_{\text{м}}}{S_{\text{обл}}} = \frac{5}{9} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{S_{\text{м}}}{S_{\text{обл}}} = \frac{4}{9} = \frac{D_{\text{линзы}}^2}{D_{\text{обл}}^2} \Rightarrow D_{\text{линзы}} = D_{\text{обл}} \cdot \frac{2}{3}. \quad D_{\text{обл}} = \frac{2}{3} D \text{ (т.к.}$$

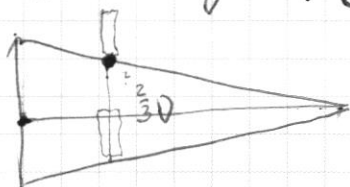
линзы вдвигают на $\frac{1}{3}$ фокусного расстояния L_1)

$$\Rightarrow D_{\text{линзы}} = \frac{4}{9} D$$

Время τ_0 выражается не показом вост, за сколько линзы полностью "выскочит" в область лучей.

$$\tau_0 = \frac{D_{\text{линзы}}}{V} \Rightarrow V = \frac{D_{\text{линзы}}}{\tau_0} = \frac{4}{9} \frac{D}{\tau_0}$$

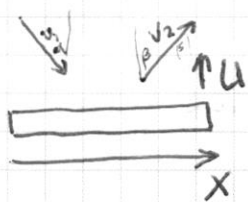
3) В момент времени t_1 кинит край лишины кошкам
вылезать за пределы хода лучей. Пере Нтх За это время



он прошел расстояние $\frac{2}{3}D$.

$$\Rightarrow t_1 = \frac{\frac{2}{3}D}{v} = \frac{\frac{2}{3}D}{\frac{g}{2} \frac{D}{c_0}} = \frac{3}{2} T_0$$

Задача №1



1) т.к. пята движется вертикально и ока гладкая,

$$v_x = \text{const} \Rightarrow v_1 \sin \alpha = v_2 \sin \beta$$

$$\Rightarrow v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \cdot \frac{\frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = \frac{3 \cdot 12}{2} = 18 \text{ м/с}$$

2) $F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$. Пусть Δt - малое время удара пята о шар.

$$A = F \Delta l = F U \Delta t \Rightarrow A = U \Delta p$$

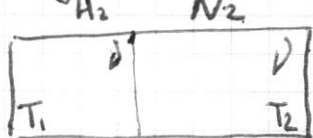
$$A = \Delta W_k = \frac{m}{2} (v_2^2 - v_1^2) = \frac{m}{2} (v_2 - v_1)(v_2 + v_1)$$

$$\Delta p = m(v_2 - v_1) \Rightarrow$$

$$A = \frac{m}{2} (v_2 - v_1)(v_2 + v_1) = m(v_2 - v_1)U \Rightarrow U = \frac{v_2 + v_1}{2}$$

$$\Rightarrow U = \frac{12 + 18}{2} \text{ м/с} = 15 \text{ м/с}$$

Задача №2

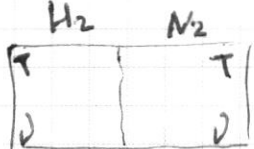


1) Т.к. поршень кашкает двигаться медленно,
можно считать, что разность давлений
почти отсутствует, $P_1 \approx P_2$.

$$\left. \begin{array}{l} P_1 V_1 = \nu R T_1 \\ P_2 V_2 = \nu R T_2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} \approx \frac{T_1}{T_2} \quad (\text{т.к. } P_1 \approx P_2)$$

$$\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} \approx \frac{350}{550} = \frac{7}{11}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2)  Так состояние установилось, поршень не движется и $P_1 = P_2$ $C_V = \frac{5}{2}R = \frac{i}{2}R \Rightarrow i = 5$

$\Delta Q = \Delta U + A \Rightarrow \Delta U = \Delta Q - A$ в системе. Но $A = 0$, т.к. поршень перемещается без трения ^{и $P_1 = P_2$ для H_2 и N_2 разных знаков, а $P_1 \neq P_2 \Rightarrow P_1 V - P_2 V \approx 0$.} и $\Delta Q = 0$, т.к. система теплоизолирована $\Rightarrow \Delta U = 0$

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{5}{2} \nu R T_1 + \frac{5}{2} \nu R T_2 \\ U_2 &= 2 \cdot \frac{5}{2} \nu R T \end{aligned} \right\} \Rightarrow T_1 + T_2 = 2T \Rightarrow T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{350 + 550}{2} = 450 \text{ K}$$

3) $P = \text{const}$

$$\Delta Q_{N \rightarrow H} = A_H + \Delta U_H$$

$$A_H = P \Delta V = \frac{900 \nu R}{V} \Delta V. \text{ В конце } P, \nu, T_i \text{ равны } \Rightarrow V_i \text{ равны}$$

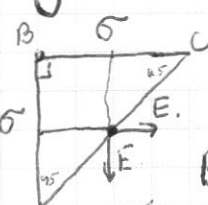
$$\Rightarrow \Delta V = \frac{1}{2} V - \frac{7}{18} V = \frac{2}{18} V = \frac{1}{9} V$$

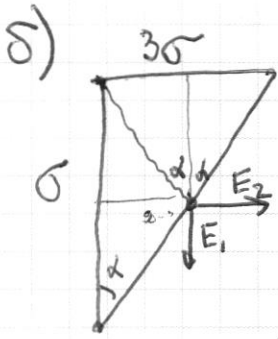
$$A_H = \frac{900 \nu R V}{V \cdot 9} = 100 \nu R \text{ Дж}$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \nu R \Delta T = \frac{5}{2} \nu R \cdot 100 = 250 \nu R \text{ Дж}$$

$$\Delta Q = A_H + \Delta U_H = 350 \nu R = \frac{350 \cdot 6 \cdot 8,31}{7} = 2493 \text{ Дж}$$

Задача №3

а)  т.к. точка K - середина AC, из соображений симметрии поле E будет направлено перпендикулярно плоскости. Вторая пластинка даёт ровно такое же по величине поле (т.к. ~~равна~~ ширина пластин и расстояние от них до K одинаковы), но $\vec{E}_2 \perp \vec{E}_1 \Rightarrow \vec{E} = \vec{E}_2 + \vec{E}_1 \Rightarrow |\vec{E}| = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{2} E_1 \Rightarrow$ увеличится в $\sqrt{2}$ раз.



$$E_1 = \Omega_1 k \cdot 3\sigma, \text{ где } \Omega_1 \text{ и } \Omega_2 - \text{ телесные}$$

$$E_2 = \Omega_2 k \cdot \sigma \text{ углы, под которыми}$$

выглядит пластинка

$$\frac{\Omega_1}{4\pi} = \frac{2\alpha}{2\pi} \Rightarrow \Omega_1 = 4\alpha = \frac{4}{5}\pi$$

$$\frac{\Omega_2}{4\pi} = \frac{180^\circ - 2\alpha}{2\pi} = \frac{\pi - 2\alpha}{2\pi} \Rightarrow \Omega_2 = 2\pi - 4\alpha = \left(2 - \frac{4}{5}\right)\pi = \frac{6}{5}\pi$$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \sqrt{\left(\frac{4}{5}\pi k \cdot 3\sigma\right)^2 + \left(\frac{6}{5}\pi k \sigma\right)^2}$$

$$= \pi k \sigma \sqrt{\frac{16 \cdot 9}{25} + \frac{36}{25}} = \sqrt{\frac{180}{25}} \pi k \sigma$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

только перпендикулярно. - т.к К-середине.

$E = k\sigma z$

$E_H = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$

$2\cos^2\alpha - 1 = \cos 2\alpha$

$\cos^2\alpha = \frac{\cos 2\alpha + 1}{2}$

1) $(\frac{1}{2} - \tau) \cdot 2\pi = \pi \frac{2z}{2l}$

Ответ: $\sqrt{2}$ раз $(\frac{2}{2l+1}) \cdot 2\pi = 2\pi$

$\frac{1}{2} - \tau = \frac{1}{2}$

$\frac{360}{5} = 72^\circ$

2) $\frac{\cos 2\alpha}{2} = \frac{\sin 2\alpha}{4}$

$\frac{1}{2} \cdot \frac{0.55}{0.55} = \frac{2\pi}{2\pi} = 1$

Полое от нити на расстоянии a .

$E = \frac{kq \cdot z \cdot dl}{\epsilon^2 l^2 + a^2}$

$E = \frac{kz}{a^2} \cos^2\alpha \cdot dl$

$dl = da \cdot \frac{a}{\cos\alpha}$

$E = \frac{kz}{a^2} \cdot \cos\alpha \cdot a \cdot da = \frac{kz}{a} \cos\alpha \cdot da$

$dE_H = E \cdot \cos\alpha = \frac{kz}{a} \cos^2\alpha \cdot da = \frac{kz}{a} (\frac{\cos 2\alpha + 1}{2}) \cdot da$

$\int E_H = \frac{kz}{a} (\frac{\sin 2\alpha}{4} + \frac{1}{2} \alpha) \Big|_{\frac{\pi}{2}}$

$\frac{2\pi}{0.55} = 2\pi \cdot \frac{0.55}{0.55} = \frac{2\pi}{0.55}$

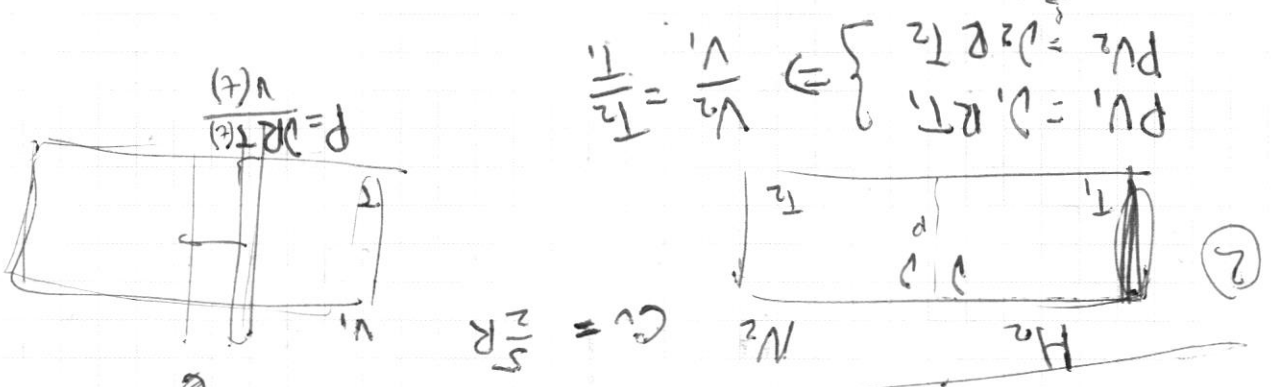
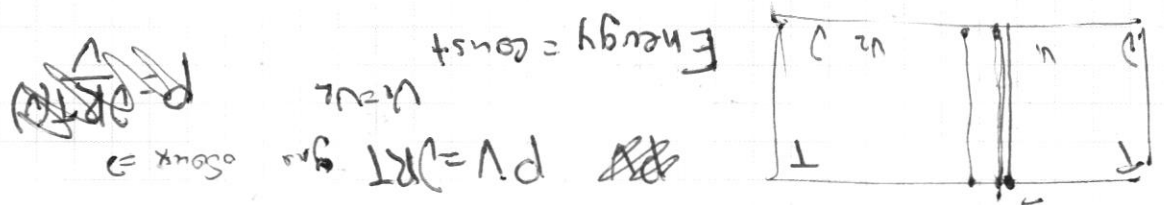
$\frac{2\pi}{1} = \frac{2\pi}{1} = \frac{1}{1}$

$7\pi \cos = \frac{1}{1}$

$2\pi = \pi$

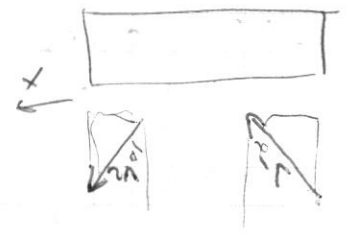
$2\pi = \pi$

$A = P \Delta V = A = P \Delta V$
 $T_1 + T_2 = 2T \Rightarrow T = \frac{T_1 + T_2}{2}$
 $\frac{2}{5} DRT_1 + \frac{2}{5} DRT_2 = 2 \cdot \frac{2}{5} DRT$
 $\frac{dQ}{dT} \approx C_V = V$
 удельная газовая \Rightarrow на процесс ΔT



$P V_1 = D_1 D R T_1$
 $P V_2 = D_2 D R T_2$
 $\Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$
 $C_V = \frac{2}{5} R$
 $P V = \text{const}$
 $P V^{5/3} = \text{const}$
 $C_V T = \Delta Q$

$\frac{dP}{dT} = F$
 $A = F dx = F U dt = dP U = \Delta P U$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$E \cdot 2\pi a l = 4\pi k \tau e$$

$$E = \frac{4\pi k \tau e}{2\pi a l} = \frac{2k\tau}{a}$$

$$PV = \nu RT$$

$$P = \frac{\nu RT}{35V} = \frac{\nu R}{V} 900$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{350}{550}$$

$$V_1 = \frac{350 \cdot 35}{90} U$$

$$E_H = E_n \cos \alpha$$

$$E_H = \frac{2k\tau}{\frac{h}{\cos \alpha}} = \frac{2k\tau \cos \alpha}{h}$$

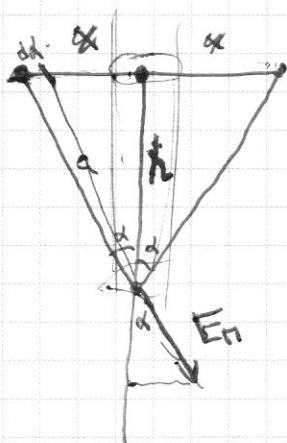
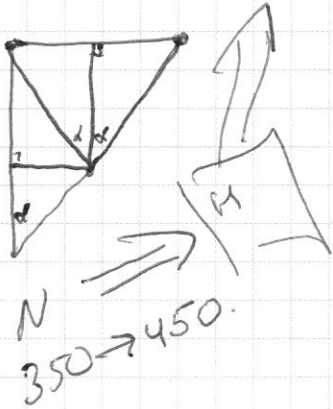
$$E_H = \frac{2k\tau \cos^2 \alpha}{h}$$

$$E_H = \frac{2k\tau}{h} \cos^2 \alpha$$

$$900 \frac{\nu R}{V}$$

$$\frac{V_H}{V_N} = \frac{37}{11}$$

$$450, V_H = \frac{7}{18}$$

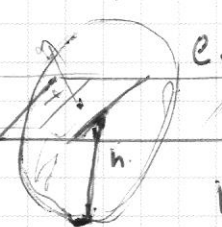
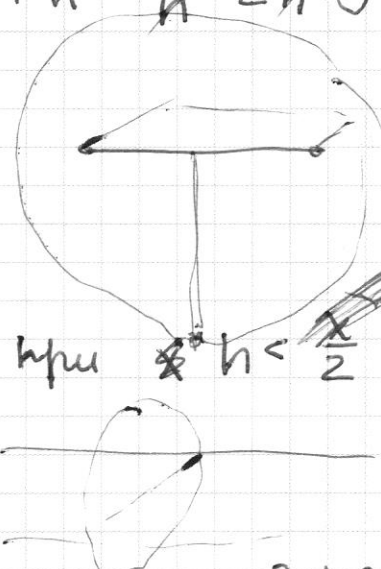


$$q = \sigma \cdot 2\pi r = \tau \cdot 2\pi r \cdot \tan \alpha \Rightarrow \tau = \frac{q}{2 \tan \alpha}$$

$$q = \sigma \cdot 2\pi r = \tau \Rightarrow \tau = \sigma \cdot 2 \cdot \tan \alpha \cdot h$$

$$300 \cdot 8,31 = 3 \cdot 831 = 2400 + 90 + 3 = 2493$$

$$E_H = \frac{2k}{h} \cdot 2k \cdot \sigma \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \cdot \cos^2 \alpha = 2k\sigma \sin 2\alpha$$

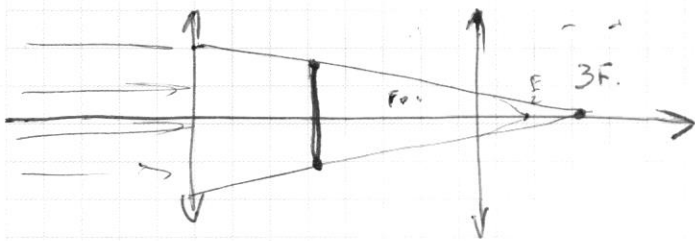


$$\text{при } h > \frac{x}{2}$$

$$E \cdot 2\pi h l = 4\pi k q_{in} = 4\pi k \sigma l x$$

$$E = \frac{4\pi k \sigma l x}{2\pi h l} = 2k\sigma \frac{x}{h}$$

$$E \cdot 2\pi h l = 4\pi k \sigma l h \cdot 2$$



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



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)