

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

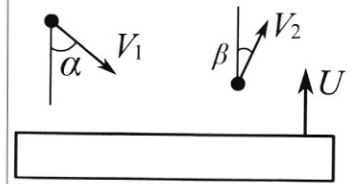
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарем)

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 α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) 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.

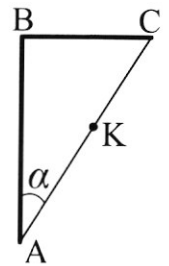


1) Найти скорость V_2 .
2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе. Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится 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).

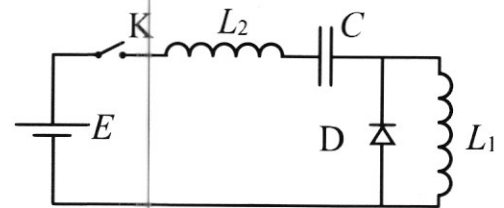
- 1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

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.



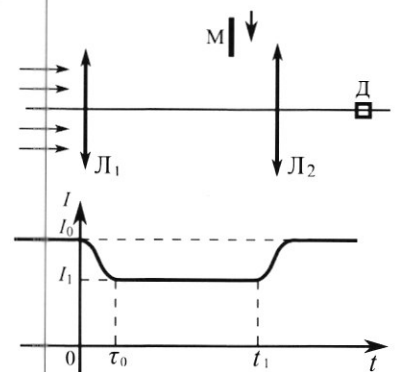
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно 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 K 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 L_1 и L_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 L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.

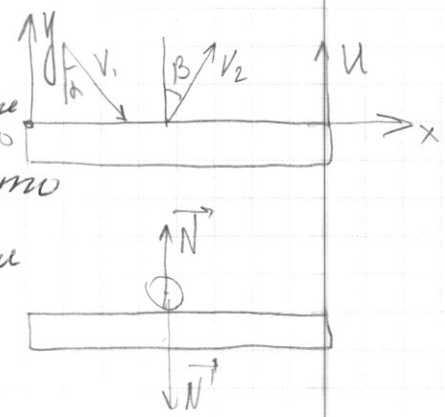


- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1
1) П.к. сила реакции действует на шарик направлена вертикально, то на ось OX ширина шарика считается неизменной, тогда:



$$v_1 \cdot \sin \alpha = v_2 \cdot \sin \beta;$$

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

2) Проверим в СО связанной с шариком, тогда:

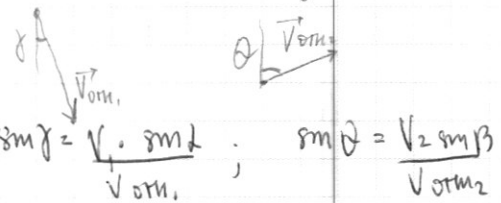


$$v_{0x1} = v_1^2 + u^2 - 2v_1 u \cos(180^\circ - \alpha) = v_1^2 + u^2 + 2v_1 u \cos \alpha$$

$$v_{0x2} = v_2^2 + u^2 - 2v_2 u \cos \beta;$$

П.к. в этой СО масса груза сократилась

скорость шарика по оси x



ЗСМ груза оси y:

$$m v_{0x1} \cdot \cos \gamma - N \Delta t = -m v_{0x2} \cdot \cos \theta;$$

$$m v_1 \cdot \cos \alpha - N \Delta t = -m v_2 \cos \beta;$$

$$N \Delta t = m(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)$$

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

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$$

$$\frac{m v_1^2}{2} + A_{упр} = \frac{m v_2^2}{2}$$

$$A_{упр} = \frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} = \frac{m u^2}{2}; \quad A_{упр} = m u \Delta l;$$

$$\Delta l = \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2u}$$

При сжатии упруге:

$$\Delta p = 2m u \quad \text{или} \quad \Delta p = -2m u;$$

$$2m u = N \Delta t = m(v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta)$$

$$u = \frac{v_1 \cos \alpha + v_2 \cos \beta}{2};$$

$$u = \frac{6 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{\sqrt{5}}{3} + 12 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3}}{2} = (\sqrt{5} + 4\sqrt{2}) \text{ м/с}$$

$$m u \Delta l = \frac{m v_1^2}{2} - \frac{m v_2^2}{2};$$

Ответ: 1) $v_2 = 12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

N2

He		Ne
$T_1 = 330\text{K}$		$T_2 = 440\text{K}$
ν		ν

1) Внимательно, когда температура газов не изменяется
 процесс изохорический, тогда

$$p_{He} = p_{Ne};$$

$$pV = \nu RT;$$

$$p = \frac{\nu RT}{V};$$

$$\frac{\nu_{He} R T_{He}}{V_{He}} = \frac{\nu_{Ne} R T_{Ne}}{V_{Ne}};$$

$$\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{T_{He}}{T_{Ne}} = \frac{330\text{K}}{440\text{K}} = \frac{3}{4};$$

$$\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{3}{4}.$$

2) Если сосуд теплоизолирован и перемешивание без трения и процесса перемешивания происходит мгновенно, то:

$$\Delta Q_{He} = \Delta Q_{Ne}; \quad \text{т.к. количество газов одинаково и температура}$$

при установившемся состоянии равна, то процесс будет изохорическим по середине сосуда; т.к. в любой момент времени процесс уравновешен давлением

газов, и $|\Delta V_{He}| = |\Delta V_{Ne}|$, то суммарная работа за весь процесс $A = \int p_{He} dV_{He} + \int p_{Ne} dV_{Ne}$

$A = A_{He} - A_{Ne}$. Если в любой момент времени $p_{He}(V) dV_{He} = p_{Ne}(V) dV_{Ne}$, то и

$|A_{He}| = |A_{Ne}|$, значит $A = 0$; также можно заметить $\Delta U_{He} = \Delta U_{Ne}$;

$c_v \nu (T_x - T_1) = c_v \nu (T_2 - T_x)$; Если оба газа одноатомные и $\nu_{He} = \nu_{Ne}$, то

$$T_x - T_1 = T_2 - T_x; \quad 2T_x = T_2 + T_1; \quad T_x = \frac{T_2 + T_1}{2} = \frac{330\text{K} + 440\text{K}}{2} = 385\text{K}$$

$$3) \Delta Q = H + \nu U; \quad \Delta Q_{Ne} = A_{Ne} + \Delta U_{Ne};$$

~~или~~

$$\Delta U_{Ne} = c_v \nu (T_x - T_2)$$

$$\Delta U_{Ne} = c_v \nu (T_x - T_2) = \frac{3}{2} \cdot \frac{6}{28} \cdot (385 - 440) \text{ Дж} = \int_{V_2}^{V_x} p(V) dV$$

$$\Delta U_{Ne} = \frac{3R}{2} \cdot \frac{6}{28} \text{ моль} \cdot (385\text{K} - 440\text{K}) = \frac{3R}{2} \cdot \frac{6}{28} \text{ моль} \cdot 55\text{K} = \nu_1$$

$$= -9R \cdot \frac{11}{5} = -\frac{99}{5} R = \frac{99 \cdot 8,31 \text{ Дж}}{5} = \frac{(831 - 8131)}{5} = \frac{822,60}{5} = \frac{1645,38}{10} = 164,538 \text{ Дж}$$

$$\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{T_{He}}{T_{Ne}}; \quad T_{Ne} = T_{He} \cdot \frac{V_{Ne}}{V_{He}}$$

Ответ: 1) $\frac{V_{He}}{V_{Ne}} = \frac{3}{4}$; 2) $T = 385\text{K}$ 3) $\Delta U = 164,538 \text{ Дж}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3
1) Две бесконечные плоскости $E = \frac{\rho}{2\epsilon_0}$;

еще две — AM и BC — бесконечны, толщ.

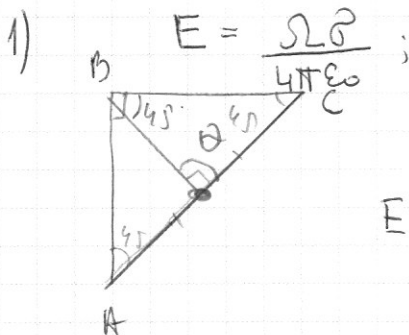
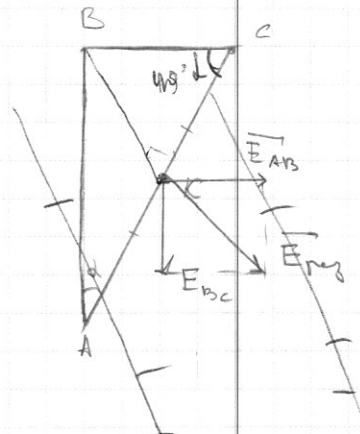
$$E_{BC} = \frac{\rho}{2\epsilon_0}; \quad E_{AB} = \frac{\rho}{2\epsilon_0};$$

Толщ., или $\angle B = 90^\circ$, то

$$E_{рез} = \frac{\rho}{2\epsilon_0} \cdot \sqrt{2}; \quad \frac{E_{рез}}{E_{BC}} = \frac{\sqrt{2}}{1}$$

2) $E_{BC} = \frac{4\rho}{2\epsilon_0} = \frac{2\rho}{\epsilon_0}; \quad E_{AB} = \frac{\rho}{2\epsilon_0};$

$$E_{рез} = \sqrt{\left(\frac{2\rho}{\epsilon_0}\right)^2 + \left(\frac{\rho}{2\epsilon_0}\right)^2} = \sqrt{\frac{4\rho^2}{\epsilon_0^2} + \frac{\rho^2}{4\epsilon_0^2}} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \sqrt{\frac{17}{4}} = \frac{\rho}{2\epsilon_0} \sqrt{17}$$

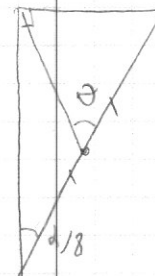


$$\Omega = 2\pi(1 - \cos\theta)$$

$$E_{BC} = \frac{2\pi \cdot \rho \cdot (1 - \cos\theta)}{4\pi\epsilon_0} = \frac{\rho}{2\epsilon_0};$$

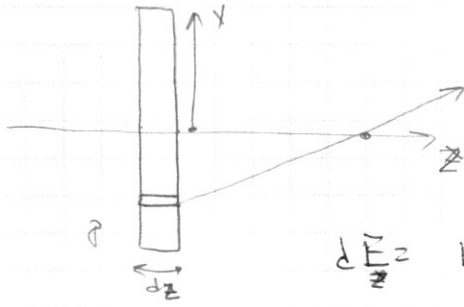
$$E_{AB} = \frac{\rho}{2\epsilon_0}; \quad \frac{E_{рез}}{E_{BC}} = \frac{\sqrt{2}}{1}$$

2) $E_{BC} = \frac{2\pi \cdot 4\rho \cdot (1 - \cos\theta)}{4\pi\epsilon_0} = \frac{2\rho}{\epsilon_0} (1 - \cos\theta)$



Ответ: 1) $\frac{E_{рез}}{E_{BC}} = \frac{\sqrt{2}}{1}$

2) $E_{рез} = \frac{\rho}{2\epsilon_0} \sqrt{17}$



$$dV = \rho \cdot dx \cdot dz$$

$$dE_z = k \cdot \rho \cdot dx \cdot dz \cdot \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}}$$

$$dE_z = k \rho dz \cdot z \cdot \frac{dx}{(x^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$dE_z = k \rho dz \cdot z \cdot \frac{dx}{(x^2 + z^2)^{3/2}}$$

$$I_{2 \max} = \sqrt{\frac{E^2 C}{2L}} = E \sqrt{\frac{C}{2L}};$$

Две первой энергии ток будет минимален при замыкании, $\Delta \varphi = \varepsilon C$
 тогда

$$E \Delta \varphi = \frac{CU^2}{2} + \frac{(L_1 \dot{\varphi} + L_2 \dot{\varphi})^2}{2}; \quad E^2 C = \frac{C_0 E^2}{2} + \frac{5L I^2}{2}$$

$$E^2 C = 5L I_{\min}^2;$$

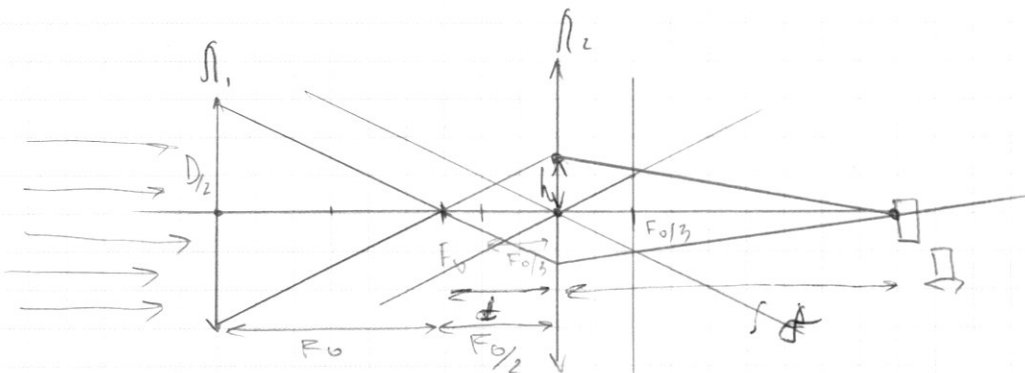
$$I_{\min} = E \sqrt{\frac{C}{5L}};$$

Ответ: 1) $\mathcal{T} = \pi \sqrt{LC} (\sqrt{2} + \sqrt{5})$

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

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

N5



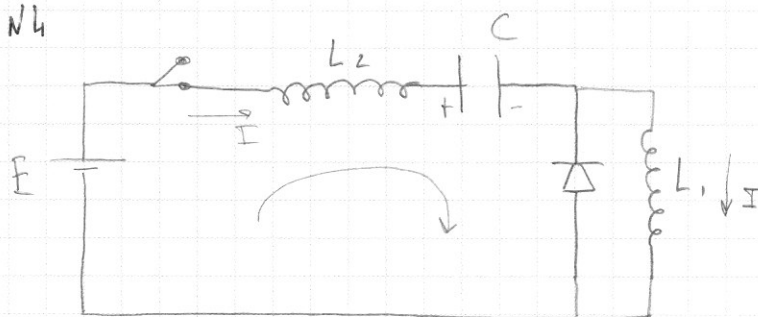
1) $\frac{D}{F_0} = \frac{2h}{F_0/2}; \quad D = 4h; \quad \Pi \text{ и } \Pi_1 \text{ охватывают весь пучок}$

В точке F_0 , то можно сказать, что в точке F_0 все сходится,

тогда $\frac{1}{F_2} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}; \quad \frac{3}{F_0} = \frac{1}{f} + \frac{2}{F_0}; \quad \frac{3}{F_0} - \frac{2}{F_0} = \frac{1}{f};$
 $d = F_0; \quad \frac{1}{F_0} = \frac{1}{f}; \quad f = F_0;$

2) Если $I \sim P$, а $P \sim I^2 S$, где I - интенсивность падающего света, то
 $P = I^2 S; \quad I = d I^2 S; \quad \text{Тогда } I = I_1 - \text{минимум}$
 часть пучка. ~~минимум~~ закрывает

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\sum \varepsilon_{si2} + U_c + \varepsilon_{si1} = \varepsilon$$

$$(L_2 + L_1) \frac{dI}{dt} + U_c = \varepsilon$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\varepsilon - U_c}{L_2 + L_1};$$

две зарядки конденсатора:

1) $E \psi = \frac{L_2 I^2}{2} + \frac{U_c^2}{2C} + \frac{L_1 I^2}{2};$ — ЗСЭ уже есть

$$E \psi = \frac{L_2}{2} \dot{\psi}^2 + \frac{L_1}{2} \dot{\psi}^2 + \frac{U_c^2}{2C} - \text{продифференцируем}$$

$$E \dot{\psi} = \frac{(L_2 + L_1)}{2} \cdot 2 \dot{\psi} \ddot{\psi} + \frac{2 U_c \dot{U}_c}{2C}$$

$$E - \frac{2 U_c}{C} = \frac{L_2 + L_1}{2} \ddot{\psi}; \quad \left(E - \frac{U_c}{C} \right) \cdot \frac{1}{(L_2 + L_1)} = \ddot{\psi}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{(L_1 + L_2)C}}; \quad T_3 = 2\pi \sqrt{(L_1 + L_2)C}; \quad \frac{E}{L_1 + L_2} - \frac{U_c}{C(L_1 + L_2)} = \ddot{\psi}$$

Видно, Г.И. в цепи стоит диод, то процесс зарядки будет происходить через катушку L_1 , и процесс разрядки — через диод; тогда уже разрядки

$$T_{\mu} = 2\pi \sqrt{L_2 C};$$

$$T_{\text{полн}} = \frac{T_3}{2} + \frac{T_{\mu}}{2} = \pi \sqrt{2LC} + \pi \sqrt{5LC} =$$

$$= \pi \sqrt{LC} \cdot (\sqrt{2} + \sqrt{5}) = \pi \sqrt{LC} \cdot (1,3 + 2,2) = 3,5 \pi \sqrt{LC}$$

2) две зарядки:

$$(L_2 + L_1) \frac{dI}{dt} + U_c = \varepsilon; \quad \frac{dI}{dt} = \frac{\varepsilon - U_c}{L_2 + L_1} = \frac{\varepsilon - U_c}{5L}$$

две разрядки:

$$L_2 \frac{dI}{dt} = \varepsilon - U_c; \quad \frac{dI}{dt} = \frac{\varepsilon - U_c}{2L};$$

тогда уже 2-ой катушкой ток будет максимум при разрядке и $U_c = \varepsilon$;

$$E \Delta \psi = \frac{L_2 I^2}{2} + \frac{U_c^2}{2}; \quad E^2 C = \frac{L_2 I^2}{2} + \frac{C \cdot \varepsilon^2}{2}; \quad 2LI^2 = \varepsilon^2 C; \quad I_{\text{max}}^2 = \frac{\varepsilon^2 C}{2L}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

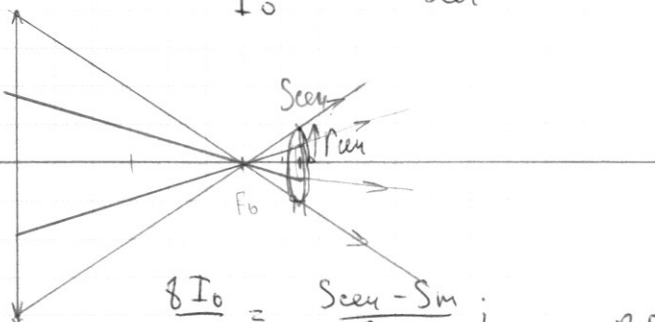
Масса

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{S_{\text{сеч}} - S_m}{S_{\text{сеч}}}$$

$$\frac{D}{2r_0} = \frac{4r_{\text{сеч}}}{F_0};$$

$$r_{\text{сеч}} = \frac{D}{8};$$

$$S_{\text{сеч}} = \frac{\pi D^2}{64};$$



$$\frac{8I_0}{9I_0} = \frac{S_{\text{сеч}} - S_m}{S_{\text{сеч}}};$$

$$8S_{\text{сеч}} = 9S_{\text{сеч}} - 9S_m$$

$$S_{\text{сеч}} = 9S_m; \quad S_m = \frac{S_{\text{сеч}}}{9}; \quad \pi r_m^2 = \frac{\pi D^2}{64 \cdot 9}$$

$$r_m = \frac{D}{8 \cdot 3} = \frac{D}{24};$$

За время T_0 - ищем массу m в области трубки, масса

$$2r_m = v_m \cdot T_0; \quad v_m = \frac{2r_m}{T_0} = \frac{D}{12T_0};$$

$$v = \frac{D}{12T_0}$$

3)

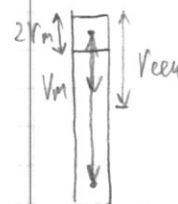
$$\Delta t_1 = \frac{2r_{\text{сеч}} - 2r_m}{v_m} = \frac{2(r_{\text{сеч}} - r_m)}{v_m}$$

$$= \frac{2}{v_m} \left(\frac{D}{8} - \frac{D}{24} \right) = \frac{2D}{v_m} \left(\frac{2}{24} \right) = \frac{D}{12v_m} =$$

$$= \frac{D \cdot 12T_0}{12 \cdot D} = T_0$$

$$\Delta t_1 = t_1 - T_0;$$

$$t_1 = 2T_0$$



Ответ: 1) $f = 20$

2) $v = \frac{D}{12T_0}$

3) $t_1 = 2T_0$



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)

