

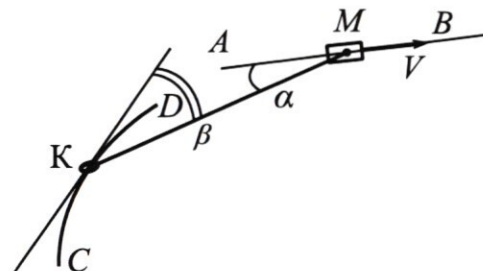
Олимпиада «Физтех» по физике, 11 класс

Вариант 11-04

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без бланка не принимаются.

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 2$ м/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,4$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 4/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



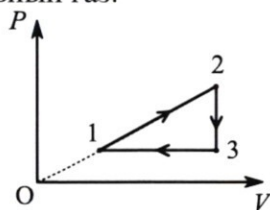
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

2. Тепловая машина работает по циклу, состоящему из изохоры, изобары и участка прямо пропорциональной зависимости давления P от объема V (см. рис.). Рабочее вещество – одноатомный идеальный газ.

1) Найти отношение молярных теплоемкостей на тех участках цикла, где происходило понижение температуры газа.

2) Найти для процесса 1-2 отношение изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Напряжение на конденсаторе U . Отрицательно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается на расстоянии $0,2d$ от отрицательно заряженной обкладки.

1) Найдите удельный заряд частицы $\gamma = \frac{|q|}{m}$.

2) Через какое время T после влета в конденсатор частица вылетит из него?

3) Найдите скорость V_0 частицы на бесконечно большом расстоянии от конденсатора.

При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

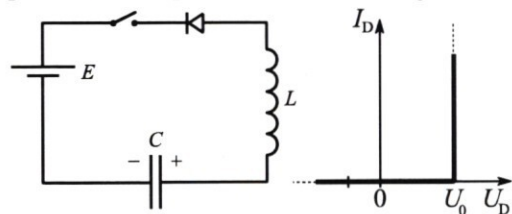
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 10$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 9$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,4$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В.

Ключ замыкают.

1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.

2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.

3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

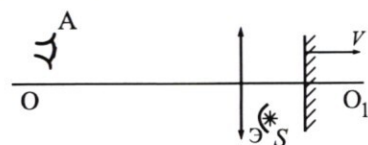


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $8F/15$ от оси OO_1 и на расстоянии $3F/5$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $6F/5$ от линзы.

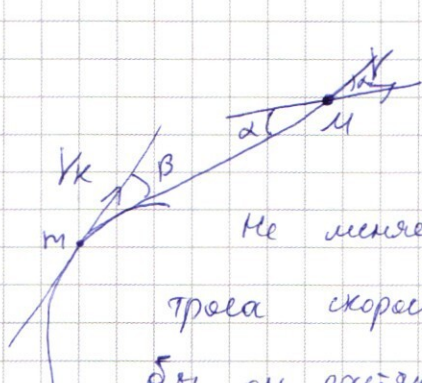
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

2) Под каким углом α к оси OO_1 движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)

3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№ 1

- 1) Т.к. трес нарастающий, то его длина не меняется, значит по оси, совпад. с положением треса скорость течения не должна меняться (иначе бы он растягивался), значит скорость течения по этой оси

в данный момент времени одинакова, и скорости концев равны

$$V_k \cos \beta = V \cos \alpha \Rightarrow V_k = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} = 1,7 V = \boxed{3,4 \text{ м/с}}$$

- 2) перейдем в СО муфта. Тогда $\vec{V}_{отн} = \vec{V}_k - \vec{V} \Rightarrow$

$$\Rightarrow V_{отн}^2 = (V_k)^2 + V^2 - 2(\vec{V}_k; \vec{V}) = V_k^2 + V^2 - 2V_k V \cos(\alpha + \beta) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{отн} = \sqrt{V_k^2 + V^2 - 2V_k V \cos(\alpha + \beta)}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \cos \alpha \cos \beta - \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} \sqrt{1 - \cos^2 \beta} =$$

$$= \frac{4}{5} \cdot \frac{3}{17} - \frac{\sqrt{5^2 - 4^2} \sqrt{17^2 - 8^2}}{5 \cdot 17} = \frac{32 - \sqrt{25} \cdot 3}{5 \cdot 17} = \frac{32 - 15}{85} = \frac{17}{85} \approx 0,2$$

$$V_{отн} \approx 1,94 \text{ м/с}$$

$$V_{отн} \approx 3,65 \text{ м/с}$$

$$V_{отн} \approx 3,4 \text{ м/с}$$

- 3) Рассмотрим кильцу: в данный момент времени ее коромысло



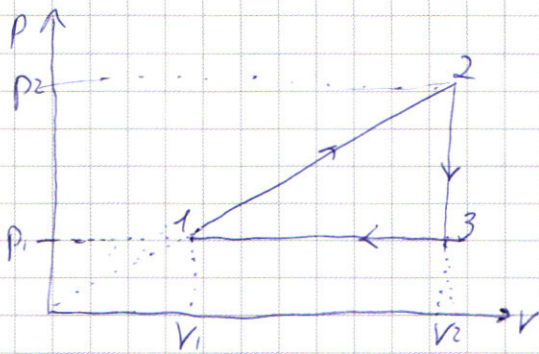
упреждение $a_n = a_y = \frac{V_k^2}{R}$ - центростремительная

Тогда 2 зак. Ньютона по осм, перп. скорости кильцы:

$$\frac{m V_k^2}{R} = T \sin \beta \Rightarrow T = \frac{m V_k^2}{R \sin \beta} = \frac{m V_k^2}{R \sqrt{1 - \cos^2 \beta}} = \frac{0,4 \cdot 3,4^2 \cdot 17}{1,9 \cdot 15} \text{ Н} \approx \boxed{2,48 \text{ Н} = T}$$

Ответ: 1) $V_k = 3,4 \text{ м/с}$ 2) $V_{отн} = 3,4 \text{ м/с}$ 3) $T = 2,48 \text{ Н}$

N°2



1) $pV = \nu RT$ — уравнение Менделеева-Клапейрона; на 12 $p \uparrow, V \uparrow$, то $T \uparrow$
 на 23 $V = \text{const}, p \downarrow$, тогда $T \downarrow$, на
 31 $p = \text{const}, V \downarrow$, тогда $T \downarrow$, итак: 23 и 31

иногда участки; на 23 $V = \text{const}$, на 31 $p = \text{const}$, зная на
 них теплоемкости (мольные) C_V и C_p соответственно, а отношение:

$$\frac{C_p}{C_V} = \gamma = \frac{5}{3} \text{ — коэффициент Пуассона}$$

2) На 12 $p \sim 1/V$, поэтому $p = k/V$ тогда: $p_1 = k/V_1, p_2 = k/V_2$;
 $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} p_1 V_1 (k^2 - 1)$
 $= \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1) = \frac{1}{2} p_1 k (k - 1)^2 = 5$
 $\frac{\Delta U_{12}}{A} = 3 \frac{k^2 - 1}{k - 1} = 3 \frac{k + 1}{k - 1}$

$$\frac{\Delta U_{12}}{A} = 3 \frac{k + 1}{k - 1}$$

3) $\eta = \frac{A_{\text{полн}}}{Q_{\text{н}}}$, где $A_{\text{полн}} = A$ (умножим), $Q_{\text{н}} = Q_{12}$ на
 23 и 31 T — значит температура на 12 задается
 $Q_{12} = \nu C_V (T_2 - T_1) = \frac{\nu R}{2} (T_2 - T_1) = \frac{\nu R}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} p_1 V_1 (k^2 - 1) + \frac{p_1 V_1}{2} (k + 1)(k - 1) =$
 $= \frac{p_1 V_1}{2} (3(k^2 - 1) + (k^2 - 1)) = 2 p_1 V_1 (k^2 - 1)$
 $\eta = \frac{A}{Q_{12}} = \frac{\frac{1}{2} p_1 V_1 (k - 1)^2}{2 p_1 V_1 (k^2 - 1)} = \frac{k - 1}{4(k + 1)}$, оно очевидно, растет при
 возрастании k и достигает максимального значения при $k \rightarrow \infty$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{1}{4}$$

2) На 12 $p \sim 1/V$, тогда $p = k/V$, $\Delta U_{12} = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} k (V_2^2 - V_1^2)$
 $A_{12} = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (p_2 + p_1) = \frac{1}{2} k (V_2^2 - V_1^2) \Rightarrow \frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = \frac{3(V_2^2 - V_1^2)}{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)} = 3$
 Пусть $\frac{V_2}{V_1} = k$ тогда $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3$

3) $A_{\text{полн}} = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) (p_2 - p_1) = \frac{1}{2} (V_2 - V_1) k$; $Q_{\text{н}} = Q_{12}$ (полн.), $Q_{\text{н}} = \Delta U_{12} + A_{12} =$
 $= \Delta U_{12} + \frac{\Delta U_{12}}{3} = \frac{4}{3} \Delta U_{12} = 2 k (V_2^2 - V_1^2)$; $\eta = \frac{A_{\text{полн}}}{Q_{\text{н}}} = \frac{V_2 - V_1}{4(V_2 + V_1)} = \frac{\frac{V_2}{V_1} - 1}{4(\frac{V_2}{V_1} + 1)}$

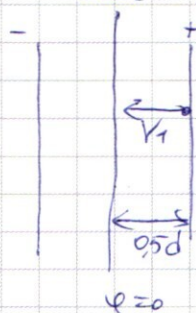
Очевидно, что при $\frac{V_2}{V_1} \rightarrow \infty$ $\eta \rightarrow \eta_{\text{max}} = \frac{1}{4}$

Ответ: 1) $\frac{C_p}{C_V} = \frac{5}{3}$ 2) $\frac{\Delta U_{12}}{A_{12}} = 3$ 3) $\eta_{\text{max}} = \frac{1}{4}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3

- 1) Заряд частицы отрицательный $\Rightarrow$ т.к. она ~~не~~ остается в покое, то поле направлено с ее скоростью, значит она движется (в начале движ. в конд.) от полож. зар. пластины к отрицат. заряд. пластине.



$$F = |q|E = \frac{|q|U}{d}, \text{ по 2-ому закону Ньютона:}$$

$$F = ma = \frac{|q|U}{d} \Rightarrow a = \frac{|q|U}{md} \quad (1)$$

$$\Delta r = 0.5d = \frac{v_1^2}{2a} = \frac{v_1^2 md}{2|q|U} \Rightarrow \frac{|q|}{m} = \frac{v_1^2}{1.6U}$$

- 2) $T = 2t_0$, где t_0 - время торможения, $at_0^2 = 0.5d \Rightarrow$
 $\Rightarrow t_0 = \sqrt{\frac{1.6d}{a}} = \sqrt{\frac{1.6d^2 m}{|q|U}} = d \sqrt{\frac{1.6}{U \cdot \frac{|q|}{m}}} = d \sqrt{\frac{1.6}{\frac{v_1^2}{1.6}}} = \frac{1.6d}{v_1}$
 тогда $T = 2t_0 = \frac{3.2d}{v_1}$

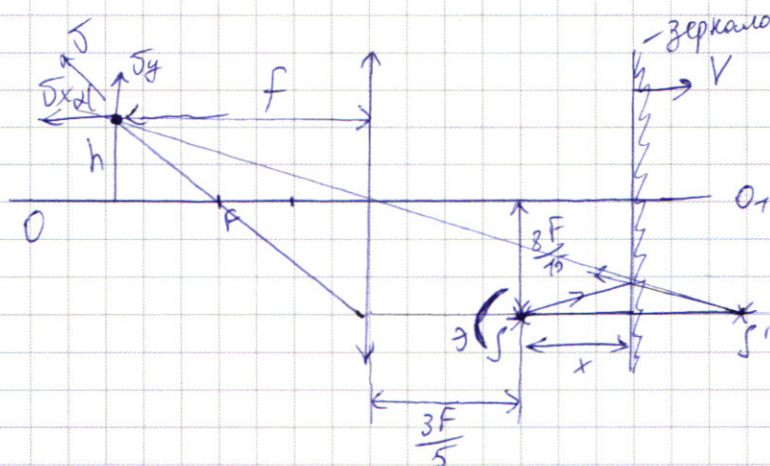
- 3) На бесконечности потенциал поля конденсатора $\varphi = 0$, но и на оси симметрии (или рис) конденсатора $\varphi = 0$, значит скорость на бесконечности равна скорости на оси симметрии (исходят из 3-ей):

$$0.5d = \frac{v_1^2 - v_\infty^2}{2a} = \frac{v_1^2 - v_\infty^2}{\frac{|q|U}{md}} \Rightarrow v_\infty^2 = v_1^2 - \frac{0.5d|q|U}{md} = v_1^2 - \frac{|q|U}{2m} = v_1^2 - \frac{v_1^2}{1.6} \cdot \frac{U}{2} = v_1^2 \left(1 - \frac{1}{3.2}\right) = \frac{2.2}{3.2} v_1^2 = \frac{11}{16} v_1^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_\infty = \frac{v_1 \sqrt{11}}{4}$$

Ответ: 1) $\frac{|q|}{m} = \frac{v_1^2}{1.6U}$ 2) $T = \frac{3.2d}{v_1}$ 3) $v_\infty = \frac{v_1 \sqrt{11}}{4}$

№ 5



Ответ: 1) $f = \frac{9}{4} F$
 2) $\alpha = \arctg\left(\frac{8}{15}\right)$
 3) $\beta = \frac{35}{24} V$

(Здесь будет с фиктивной источника)

- 1) Источник света испускает лучи, которые отражаются в зеркале, т.е. по сути источник S создаст некий фиктивный источник S' , который перемещается из-за движения зеркала. Пусть x - расстояние между S и зеркалом. В некоторый момент $\frac{3F}{5} + x = \frac{6F}{5} \Rightarrow x = \frac{3F}{5}$, значит S' находится на расстоянии $d = \frac{3F}{5} + 2x = \frac{9F}{5}$ от источника. По формуле тонкой линзы $\frac{1}{f} + \frac{1}{f} = \frac{1}{d} \Rightarrow f = \frac{F d}{d - F}$, т.к. $d > F$, $f = \frac{\frac{9}{5} F^2}{F(\frac{9}{5} - 1)} = \frac{9}{4} F$ $f = \frac{9}{4} F$
- 2) $\Gamma = \frac{h}{\frac{8F}{15}} = \frac{15h}{8F}$, при этом $\frac{h}{F} = \frac{\frac{8F}{15}}{\frac{9F}{5}} = \frac{8}{15} \cdot \frac{5}{9} = \frac{8}{27} \Rightarrow h = \frac{8}{27} f = \frac{8}{27} \cdot \frac{9}{4} F = \frac{2}{3} F$
 $\Gamma = \frac{15h}{8F} = \frac{15}{8} \cdot \frac{2}{3} = \frac{5}{4}$ - в данный момент времени;

Т.к. зеркало движется со скоростью V , то $x = Vt$; В общем случае

$$f = \frac{F d}{d - F} = \frac{F(\frac{3F}{5} + 2x)}{2x - \frac{2}{5}F} = \frac{F(\frac{3F}{5} + 2Vt)}{2Vt - \frac{2}{5}F} = \frac{F(3F + 10Vt)}{10Vt - 2F}$$

(см. рис.) $\frac{df}{dx} = F - \frac{10V(10Vt - 2F) - 10V(3F + 10Vt)}{(10Vt - 2F)^2} = \frac{-F - 10V \cdot 5F}{(10Vt - 2F)^2} = \frac{-50F^2V}{(10Vt - 2F)^2}$

В данный момент $Vt = x = \frac{3F}{5}$ $\frac{df}{dx} = \frac{-50F^2V}{4^2F^2} = -\frac{25}{8} V$

$$\frac{h}{F} = \frac{8F}{15} \Rightarrow h = \frac{8F f}{9F + 30Vt} = \frac{8F^2(3F + 10Vt)}{(10Vt - 2F)(9F + 30Vt)} = \frac{8F^2}{3(10Vt - 2F)}$$

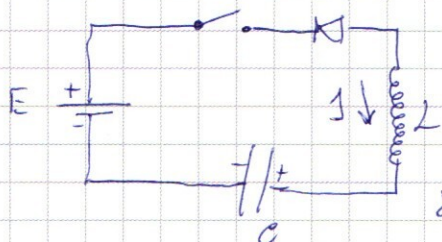
$$\frac{dh}{dt} = \beta_y = \frac{-8F^2 \cdot 10V}{3(10Vt - 2F)^2} = \frac{-8F^2 \cdot 10V}{3(10 \cdot \frac{3F}{5} - 2F)^2} = \frac{-8F^2 \cdot 10V}{3 \cdot 4^2 F^2} = -\frac{1}{6} \cdot 10V = \boxed{-\frac{5}{3} V = \beta_y}$$

$$\tan \alpha = \frac{\beta_y}{\beta_x} = \frac{5 \cdot 8}{3 \cdot 25} = \frac{8}{15} \quad \boxed{\alpha = \arctg\left(\frac{8}{15}\right)}$$

3) см. п. 2: $\beta = \sqrt{\beta_x^2 + \beta_y^2} = \sqrt{\frac{25}{9} + \frac{25}{3^2}} = \sqrt{\frac{25 \cdot 64 + 25 \cdot 9}{24}} V = \frac{5 \cdot 17}{24} V = \boxed{\frac{85}{24} V = \beta}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 4



1) На катушке $U_2 = -2 \frac{dI}{dt}$
по правилу Ленца в катушке возникает противо-
действие на катушке тока, а ток не течёт,
ка нет (передаётся соединением).

по ВАХ можно определить, что $U_0 = 0$ при $I_0 = I_D = 0$, значит

по 2-ой правую кривою $\mathcal{E} + \mathcal{E}_{ind} = \mathcal{E} - L \frac{dI}{dt} = U_c = U_r \Rightarrow$

$= \rightarrow \frac{dI}{dt} = \frac{E - U_1}{2} = -4,5 \frac{A}{C}$ (знак "-" означает, что ток идет в
 группу стержня, т.к. $U_1 > E$) показывает направление
 $\left| \frac{dI}{dt} = 4,5 \frac{A}{C} \right|$

2) После появления тель ток, кенд-ор роуражается, ток в катушке возрастает; $I_c = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU_c}{dt}$; $I_c = I_L \Rightarrow L \frac{dI}{dt} = LC \frac{d^2 U}{dt^2}$;

2-ое правило Кирхгофа: $\varepsilon - L \frac{dI}{dt} = \varepsilon - LC \frac{d^2 U_C}{dt^2} = U_C + U_0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow U_c + LC \frac{d^2 U_c}{dt^2} = \varepsilon - U_0 \quad \tilde{U}_c = U_c - \varepsilon + U_0 \Rightarrow \tilde{U}_c + LC \frac{d^2 \tilde{U}_c}{dt^2} = 0 \Rightarrow \left[\omega^2 = \frac{1}{LC} \right]$$

$$\Rightarrow \tilde{U}_c = U_{c0} \cos \omega t \Rightarrow U_c = U_{c0} \cos \omega t + E \cdot U_{c0} \text{ npu } t=0 \quad U_c = U_{c0}, \text{ тогда:}$$

$$U_{Co} + \overset{(\text{unmex})}{\varepsilon} \rightarrow U_i \Rightarrow U_{Co} = U_i - \overset{(\text{unmex})}{\varepsilon} + U_{Co}; \quad U_e = (U_i + U_{Co} - \overset{(\text{unmex})}{\varepsilon}) \cos \omega t + \overset{(\text{unmex})}{\varepsilon} \rightarrow U_{Co}$$

$$I_0 = I_c = C \frac{dU}{dt} = -C (U_1 + U_2 - E) \omega \sin \omega t \quad (" - " - \text{направление тока})$$

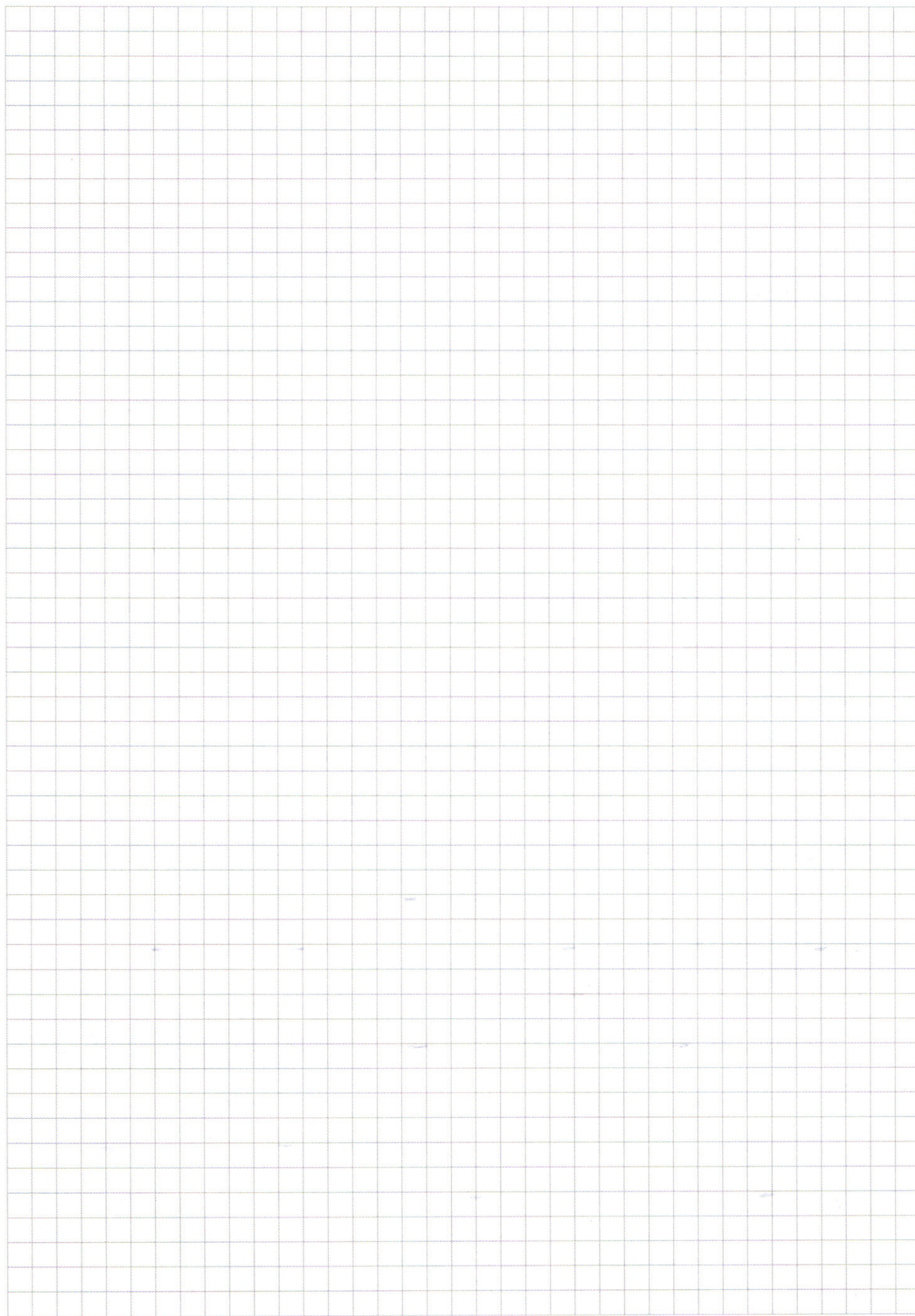
$$|I_{\max}| = C (U_1 + U_0 - E) \sqrt{\frac{1}{2C}} = \sqrt{\frac{C}{2}} (U_1 + U_0 - E) = \boxed{7 \cdot 10^{-8} \text{ A}} + I_{\max} \boxed{2 \cdot 10^{-2} \text{ A}} = I_{\max}$$

3) После полупериода колебаний ток меняет направление, но диод не "пропускает ток". Значит $U_2 = U(\frac{T}{2}) = (U_1 + U_0 \cdot \pi) \cos(\frac{\omega T}{2}) + \varepsilon \leftarrow U_0 =$

протягается так". Значит $U_z = U(\frac{I}{2}) = (U_1 + U_0 \tau \epsilon) \cos(\frac{\omega I}{2}) + \epsilon U_0 =$
 $= (U_1 + U_0 \tau \epsilon) \cos(\pi) - \epsilon + U_0 = -U_1 - U_0 + \epsilon - \epsilon + U_0 = -U_1$, что и следовало

опуска (3л); $U_2 = -U_1 = -gB$

Orbei: 1) $\frac{dI}{dt} = 4,5 \frac{A}{C}$ 2) $I_{max} = 2 \cdot 10^{-2} A$ 3) $U_2 = -9 B$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

2) a) p_1, V_1, T_1 ; $V = \cos \alpha$; $\frac{C_p}{C_v} = \gamma = \frac{5}{3}$

b) $p_1 V_1 = \nu R T_1$
 $p_2 V_2 = \nu R T_2$

$3,4^2 = 10,96$

$\Delta U = C_v \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{3}{2} k (V_2 - V_1) (V_1 + V_2)$

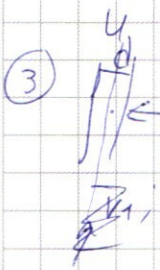
$p = kV$; $p_1 = kV_1$; $p_2 = kV_2$

$p_2 V_2 = k^2 p_1 V_1$
 $T_2 = k^2 T_1$

$\Delta U = \frac{3}{2} T_1 (k^2 - 1) \nu R$

$A = (p_2 - p_1) (V_2 - V_1) = \frac{k(V_2 - V_1)^2}{2}$

$\frac{\Delta U}{A} = \frac{3(V_2 + V_1)}{V_2 - V_1} = \frac{3V_1(k+1)}{V_1(k-1)} = 3 \frac{k+1}{k-1}$

3) 

$E = \frac{U}{d}$

$qE \cdot 0,2d = \frac{m \Delta v^2}{2} \Rightarrow \frac{q}{m} = \frac{\Delta v^2}{0,4dE} = \frac{\Delta v^2}{0,4U}$

$T = 2t_0$; $0,2d = \frac{a t_0^2}{2}$; $a = \frac{qE}{m} = \frac{\Delta v^2}{0,4d}$

$\Phi_0 \Phi = 0$ по Беккерелю.

$14,96 + 2,72 = 17,68$

$3,4^2 = 10,96$

$10,96 + 4 = 14,96$

$2 \cdot 3,4 \cdot 2 \cdot \frac{1}{5} = \frac{13,6}{5} = 2,72$

$3,5^2 = 12,25$

$42^2 = 1600 + 4 + 2 \cdot 40 \cdot 2 = 1764$

$\frac{ds}{dt} = -2 \frac{ds}{dt}$

$\varepsilon + \varepsilon_{ind} = U_c - U_d$

$\varepsilon - \frac{L ds}{dt} = U_c - U_d$

$U_c = A \cos \omega t +$

$V_{\cos \alpha} = V_k \cos \beta \Rightarrow V_k = \frac{V_{\cos \alpha}}{\cos \beta}$

$\frac{m V_k^2}{R} = \sin^2 \beta$



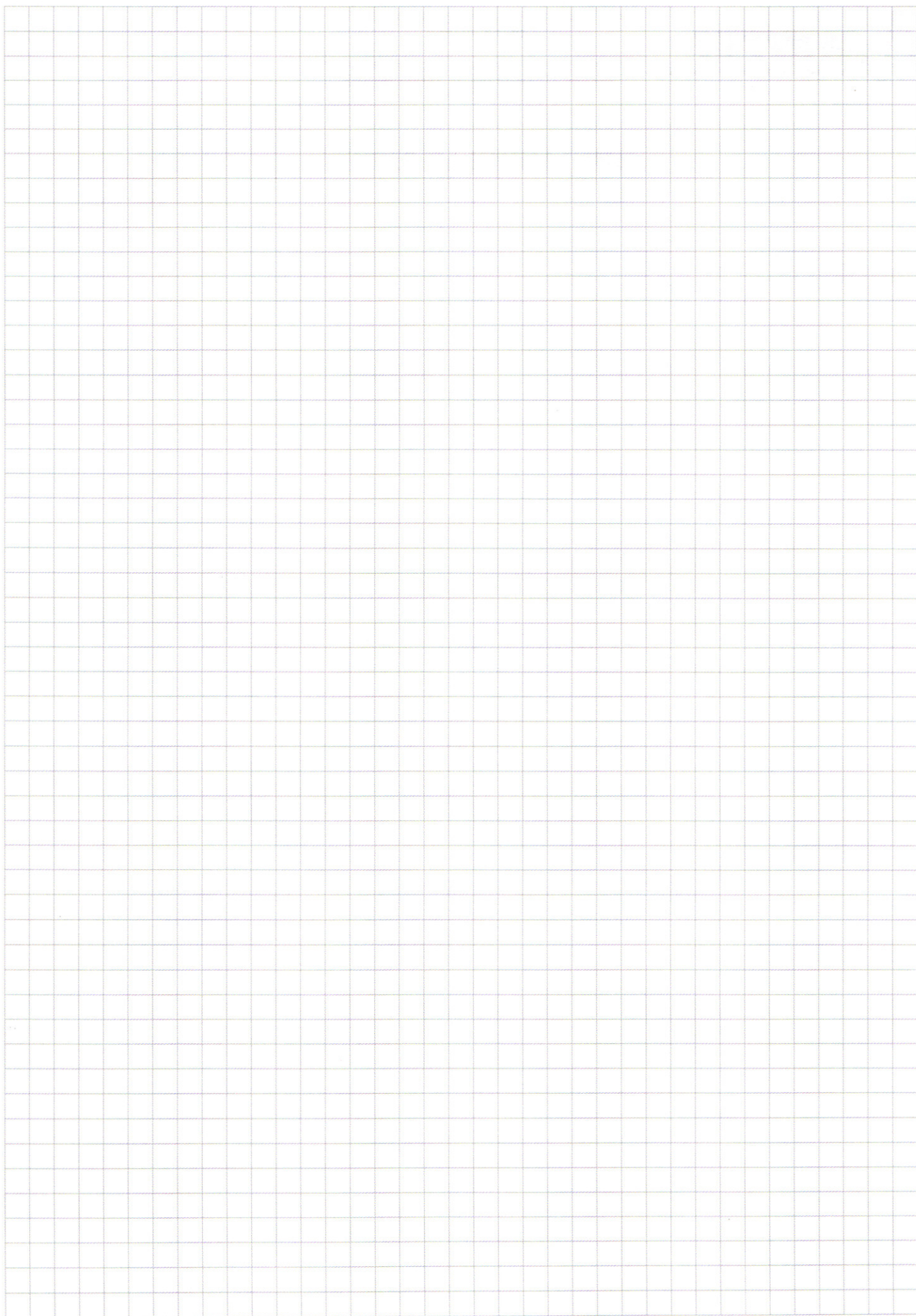
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)