

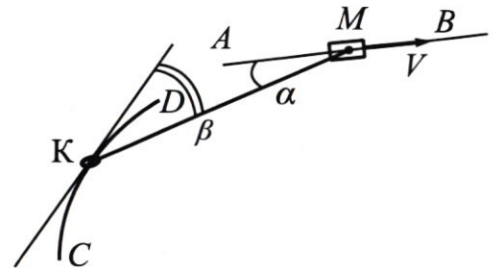
Олимпиада «Физтех» по физике, (

Вариант 11-01

Класс 11

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без в.

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 4/5$) с направлением движения кольца.



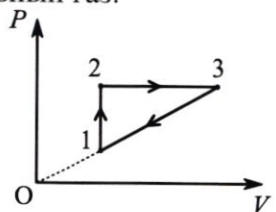
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 повышение температуры газа.

2) Найти в изобарном процессе отношение количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица и через время T вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

1) Найдите скорость V_1 частицы при вылете из конденсатора.

2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.

3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

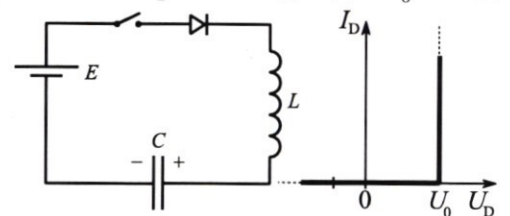
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ 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.

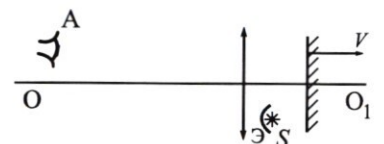


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник S находится на расстоянии $3F/4$ от оси OO_1 и на расстоянии $F/2$ от плоскости линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии F 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

N°1

$k = 1,9 \text{ м} ; m = 0,1 \text{ кг} ; v = 68 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$l = \frac{5R}{3}$

$\cos \alpha = \frac{15}{17}$

$\cos \beta = \frac{4}{5}$

$\sin \alpha = \frac{8}{17} ; \sin \beta = \frac{3}{5}$

1) Скорость кольца и направлена по касательной к окружности, по которой оно движется.

2) Кольцо не провисает и не рвется / растягивается $\Rightarrow$
 $v \cos \alpha = u \cos \beta$ (проекции скоростей муфты и кольца на ось
 цепи равны) $\Rightarrow u = v \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 68 \cdot \frac{\frac{15}{17}}{\frac{4}{5}} \text{ м/с} = \frac{68 \cdot 15 \cdot 5}{17 \cdot 4} \text{ м/с} =$
 $= 15 \cdot 5 \text{ м/с} = \boxed{75 \text{ м/с}}$

3) По правилу сложения скоростей: $\vec{u} = \vec{u}_{\text{кольца}} + \vec{v}_{\text{муфта}}$
 $u_{\text{кольца}}$ — скорость кольца относительно муфты.

3) По оси x расстояние между муфтой и кольцом не меняется $\Rightarrow u_{\text{кольца}x} = 0$.

$$u_{\text{кольца}y} = v_y + u_y = -v \sin \alpha + u \sin \beta = -68 \cdot \frac{8}{17} + 75 \cdot \frac{3}{5} =$$

$$= 15 \cdot 3 - 8 \cdot 4 = 45 - 32 = 13 \text{ м/с}.$$

$u_{\text{кольца}} = \sqrt{u_{\text{кольца}x}^2 + u_{\text{кольца}y}^2} = \boxed{13 \text{ м/с}}$ — скорость кольца относительно муфты в данный момент.

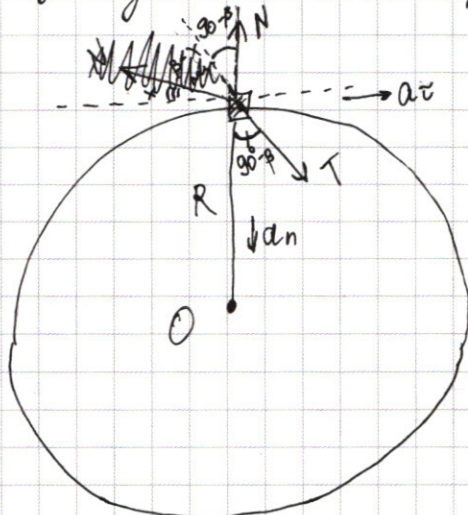
4)

Заметим, что $l = \frac{5}{3}R$, а

$\sin \beta = \frac{3}{5} \Rightarrow l \sin \beta = R$

O — центр окружности

5) В кольцо движется по окружности:



a_n - центростремительное ускорение.

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

N - сила реакции опоры.

a_n - тангенциальное ускорение

Стремление кет $\Rightarrow N$ направлена вдоль радиуса

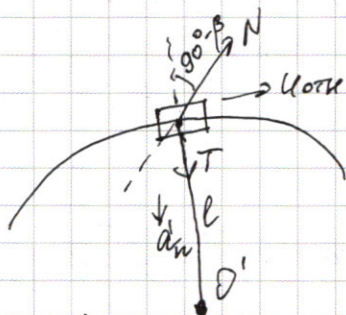
По 2-ому закону Ньютона

$$m a_n = T \cos \beta$$

$$m a_n = T \sin \beta - N \Rightarrow N = T \sin \beta - m a_n$$

Вдоль радиуса кольцо не ускоряется $\Rightarrow T = N \sin \beta \Rightarrow$

6) В с.о. муфты кольцо вращается по окружности радиуса $l = \frac{5}{3}R$:



$$a_n' = \frac{v_{\text{отн}}^2}{l}$$

По 2-ому закону Ньютона:

$$m a_n' = T - N \sin \beta$$

$$m a_n' = T - T \sin^2 \beta + m a_n \cdot \sin \beta \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T (1 - \sin^2 \beta) = m \left(\frac{v_{\text{отн}}^2}{l} - \frac{v^2}{R} \cdot \sin \beta \right)$$

$$T = \frac{m}{R(1 - \sin^2 \beta)} \left(\frac{v_{\text{отн}}^2}{\frac{5}{3}} - v^2 \sin \beta \right)$$

$$T = \frac{0,1}{1,9 \cdot (1 - \frac{9}{25})} \left(\frac{13^2}{\frac{5}{3}} - 75^2 \cdot \frac{3}{5} \right)$$

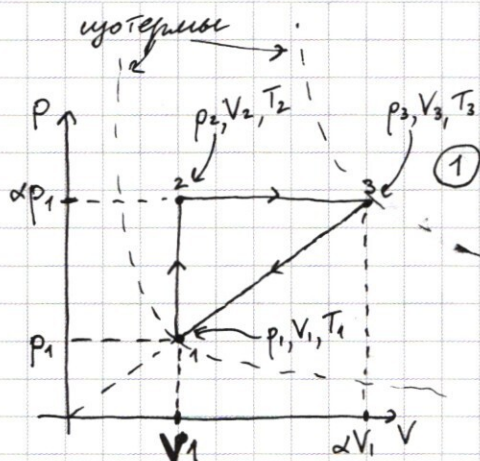
$$\hat{0} \Rightarrow T = 0$$

Ответ: $v = 75 \text{ м/с}$

$v_{\text{отн}} = 13 \text{ м/с}$

$T = 0$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



N°2

$i = 3$ (одноатомный газ)

1) Пусть α - угловой коэффициент наклона прямой $1 \rightarrow 3$. $\Rightarrow$ если в состоянии 1 у газа были объём V_1 и давление p_1 , то в состоянии 3 у него будут объём $V_3 = \alpha V_1$ и давление $p_3 = \alpha p_1 = p_2$.

2) $1 \rightarrow 2$ - изохора $\Rightarrow p \sim T \Rightarrow$ т.к. давление растёт, то и температура на этом участке растёт.

3) $2 \rightarrow 3$ - изобара $\Rightarrow V \sim T \Rightarrow$ т.к. объём растёт, то температура тоже растёт.

4) $3 \rightarrow 1$ - $p \sim V$. Если можно провести множество изотерм, пересекающих участок $3 \rightarrow 1$. Воображаемая изотерма проходит через точку 1 $\Rightarrow$ в этой точке температура наименьшая за процесс $3 \rightarrow 1$, т.е. температура в процессе $3 \rightarrow 1$ убывает.

Надо найти отношение молярных теплоёмкостей на участках $1 \rightarrow 2$ и $2 \rightarrow 3$. $C_{12} = C_V$ (т.к. $V = \text{const}$) $\Rightarrow C_{12} = \frac{i}{2}R = \frac{3}{2}R$
 $C_{23} = C_p$ (т.к. $p = \text{const}$) $\Rightarrow C_{23} = \frac{i+2}{2}R = \frac{5}{2}R \Rightarrow$

$$\Rightarrow C_{12} : C_{23} = \frac{3R}{2} : \frac{5R}{2} = \boxed{3 : 5} = 0,6$$

(2) 1) Рассмотрим изобарный процесс $2 \rightarrow 3$. Работу газа можно найти как площадь под графиком данного процесса и координатах $p(V)$: $A_{23} = (V_3 - V_2) \cdot p_2 = (\alpha V_1 - V_1) \cdot \alpha p_1 = \alpha(\alpha - 1)p_1 V_1$

2) Количество теплоты, полученное газом в этом процессе:

$$Q_{23} = \nu C_p \Delta T_{23}, \text{ где } \nu - \text{кол-во газа; } \Delta T_{23} = T_3 - T_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{23} = \nu \cdot \frac{5}{2}R (T_3 - T_2)$$

3) Уравнение Менделеева - Клапейрона:

$$\text{состояние 2: } p_2 V_2 = \nu R T_2 \Rightarrow T_2 = \frac{p_2 V_2}{\nu R} = \frac{\alpha p_1 V_1}{\nu R}$$

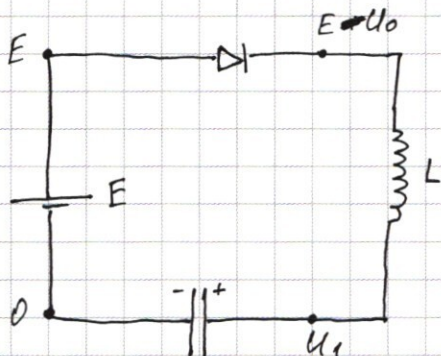
$$\text{состояние 3: } p_3 V_3 = \nu R T_3 \Rightarrow T_3 = \frac{p_3 V_3}{\nu R} = \frac{\alpha p_1 \cdot \alpha V_1}{\nu R} = \frac{\alpha^2 p_1 V_1}{\nu R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R \left(\frac{\alpha^2 p_1 V_1}{\nu R} - \frac{\alpha p_1 V_1}{\nu R} \right) = \frac{5}{2} \alpha (\alpha - 1) p_1 V_1$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$E = 9\text{В}$; $C = 40\text{мкФ}$; $U_1 = 5\text{В}$; $L = 0,1\text{Гн}$; $U_0 = 1\text{В}$

- ① 1) Рассмотрим цепь в момент сразу после замыкания ключа:



До замыкания ключа на конденсаторе было напряжение $U_1 = 5\text{В}$. Напряжение на конденсаторе скачком не меняется $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ сразу после замыкания оно будет равно $U_1 = 5\text{В}$.

2) Считаем, что ток потёк $\Rightarrow$ напряжение на диоде $\neq 0$

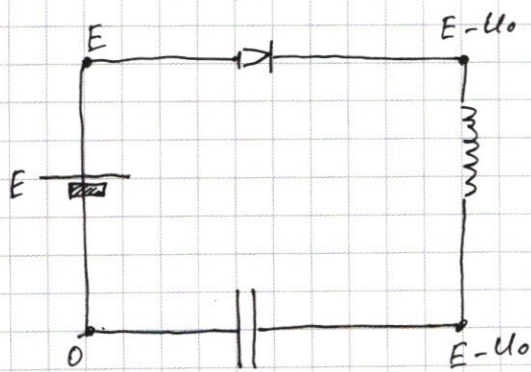
- 3) Напряжение на катушке $U_L = L \dot{I}$, $\dot{I}$ - это и есть скорость возрастания тока.

- 4) Воспользуемся методом расщепления показаний (см. рис.) :

$$U_L = E - U_0 - U_1 \Rightarrow L \dot{I} = E - U_0 - U_1 \Rightarrow \dot{I} = \frac{E - U_0 - U_1}{L} = \frac{9 - 1 - 5}{0,1} \frac{\text{В}}{\text{Гн}} =$$

$$= 30 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

②



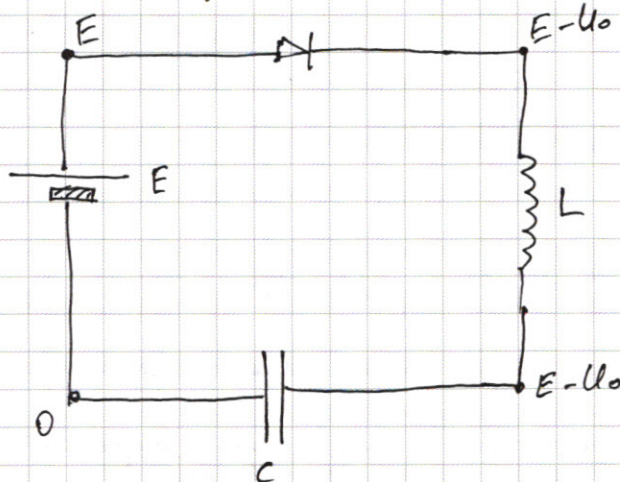
- 1) Ток в цепи максимальный $\Rightarrow$
 $\Rightarrow \dot{I} = 0 \Rightarrow U_L = 0$

2) Восставим потенциалы $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ напряжение на конденсаторе в этот момент $U = E - U_0 - 0 =$
 $= E - U_0 \Rightarrow$ заряд на нём

$$q = CU = C(E - U_0)$$

- 3) До замыкания цепи заряд на конденсаторе был $q_0 =$
 $= CU_1$

③ В установившемся режиме:



1) ^{постоянный} ток в цепи ~~не~~ течёт $\Rightarrow$
 $\Rightarrow I = 0 \Rightarrow U_L = 0$

2) Расставим потенциалы $\Rightarrow$

$$\Rightarrow U_R = E - U_0 - 0 = E - U_0 =$$

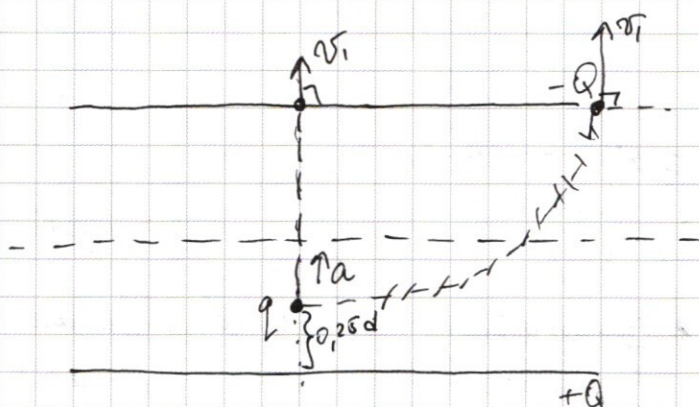
$$= 9\text{В} - 1\text{В} = 8\text{В} \Rightarrow \text{максималь-}$$

ный ток будет в установив-
 шемся режиме.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

$d \ll \sqrt{S} \Rightarrow$ краевыми эффектами можно пренебречь.



1) Это теорема об изменении кинетической энергии:

$$A_{пол} = \frac{mv_1^2}{2}$$

$$q \cdot E \cdot (d - 0,25d) = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_1^2 = \frac{2}{m} \cdot qE \cdot 0,25d =$$

$$= \frac{0,5qEd}{m}$$

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \Rightarrow v_1^2 = \frac{0,5q \cdot Qd}{\epsilon_0 Sm} \Rightarrow Q = \frac{\epsilon_0 Sm v_1^2}{0,5qd} =$$

$$= \frac{2\epsilon_0 Sm v_1^2}{qd} = \frac{2\epsilon_0 S v_1^2}{qd}$$

2) На заряд действует сила $F = Eq = \frac{Qq}{\epsilon_0 S}$

По 2-ому закону Ньютона $F = ma \Rightarrow a = \frac{Qq}{\epsilon_0 Sm}$

$$v_1 = at = \frac{QqT}{\epsilon_0 Sm} = \frac{QqT}{\epsilon_0 S}$$

$$v_1 = \frac{qT}{\epsilon_0 S} \cdot \frac{2\epsilon_0 S v_1^2}{qd} \Rightarrow v_1 = \frac{2T v_1^2}{d} \Rightarrow \boxed{v_1 = \frac{d}{2T}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = \frac{2\epsilon_0 S \frac{d^2}{2T^2}}{qd} = \boxed{\frac{\epsilon_0 S d}{2qT^2}}$$

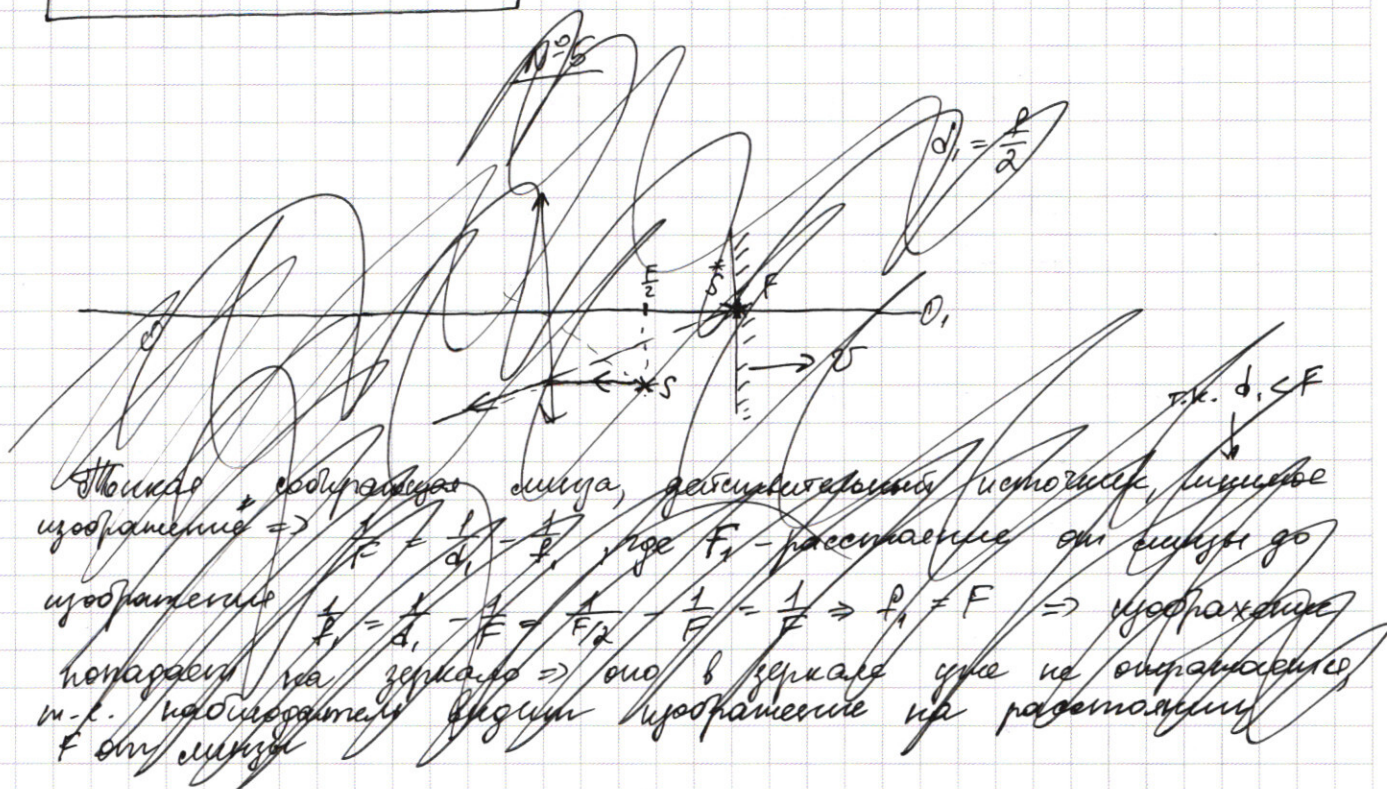
3) На бесконечно большом расстоянии от конденсатора конденсатор можно считать точечным. Пластина - Q

будет притягивать заряд q , что больше, чем пластина +Q будет его отталкивать $\Rightarrow \boxed{v_2 = 0}$

Дана: $V_1 = \frac{d}{2T}$

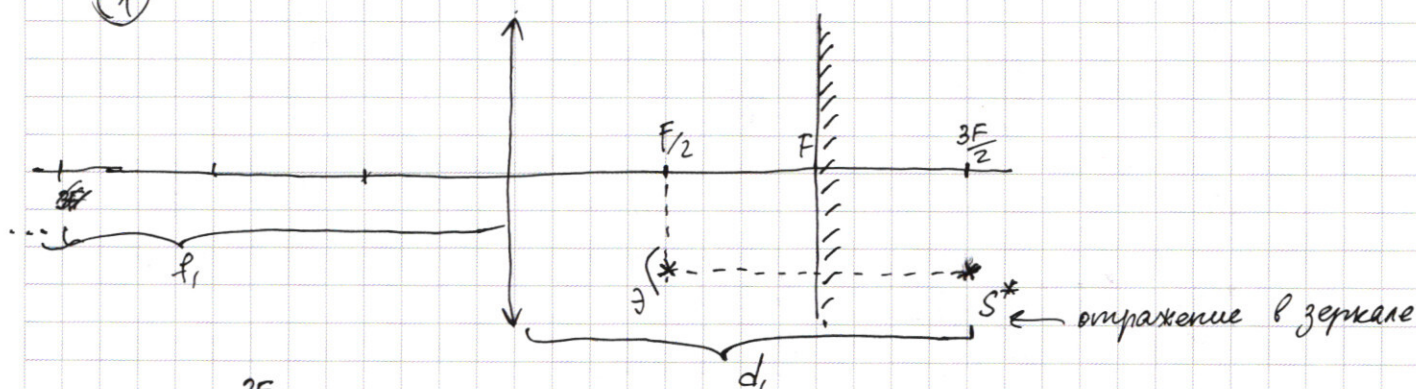
$Q = \frac{\epsilon_0 S d}{2\pi T_2}$

$V_2 = 0$



N°5

①

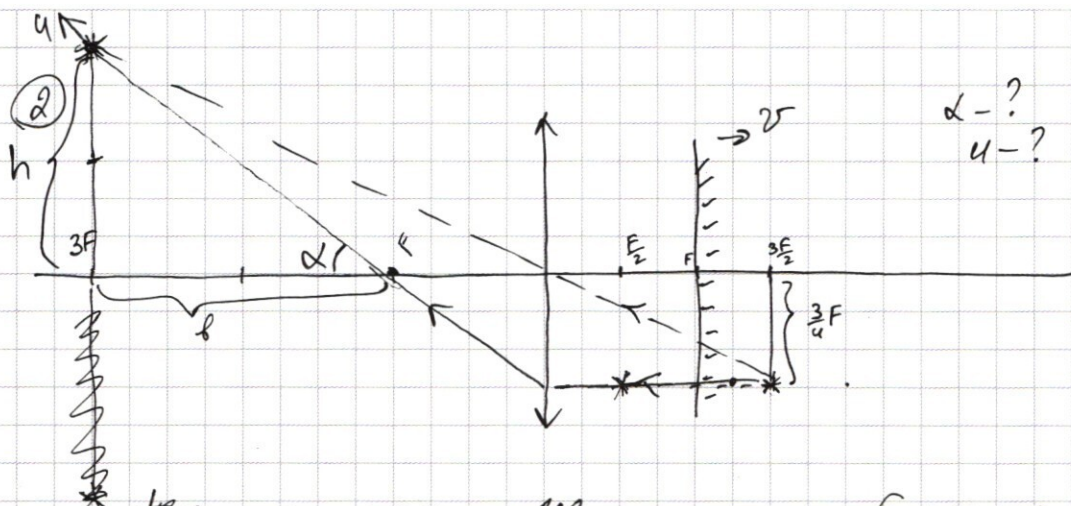


$d_1 = \frac{3F}{2} \Rightarrow \frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{F_1}$, где F_1 - расстояние до изображения, полученного в линзе.

$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{F} - \frac{1}{\frac{3F}{2}} = \frac{1}{F} - \frac{2}{3F} = \frac{1}{3F} \Rightarrow F_1 = 3F \Rightarrow$ наблюдатель

в этот момент увидит изображение на расстоянии $3F$ от линзы

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Предположим, что увеличение изображения:

$$\Gamma = \frac{F_1}{d_1} = \frac{3F}{\frac{3F}{2}} = 2 \Rightarrow \text{Изображение в 2 раза больше}$$

на 2 раза больше высоте относительно DO , и с другой от нее стороны.

Зеркало движется со скоростью $U \Rightarrow$ изображение в зеркале движется со скоростью $2U$ относительно зеркала $\Rightarrow$ со скоростью $3U$ относительно неподвижной мишени.

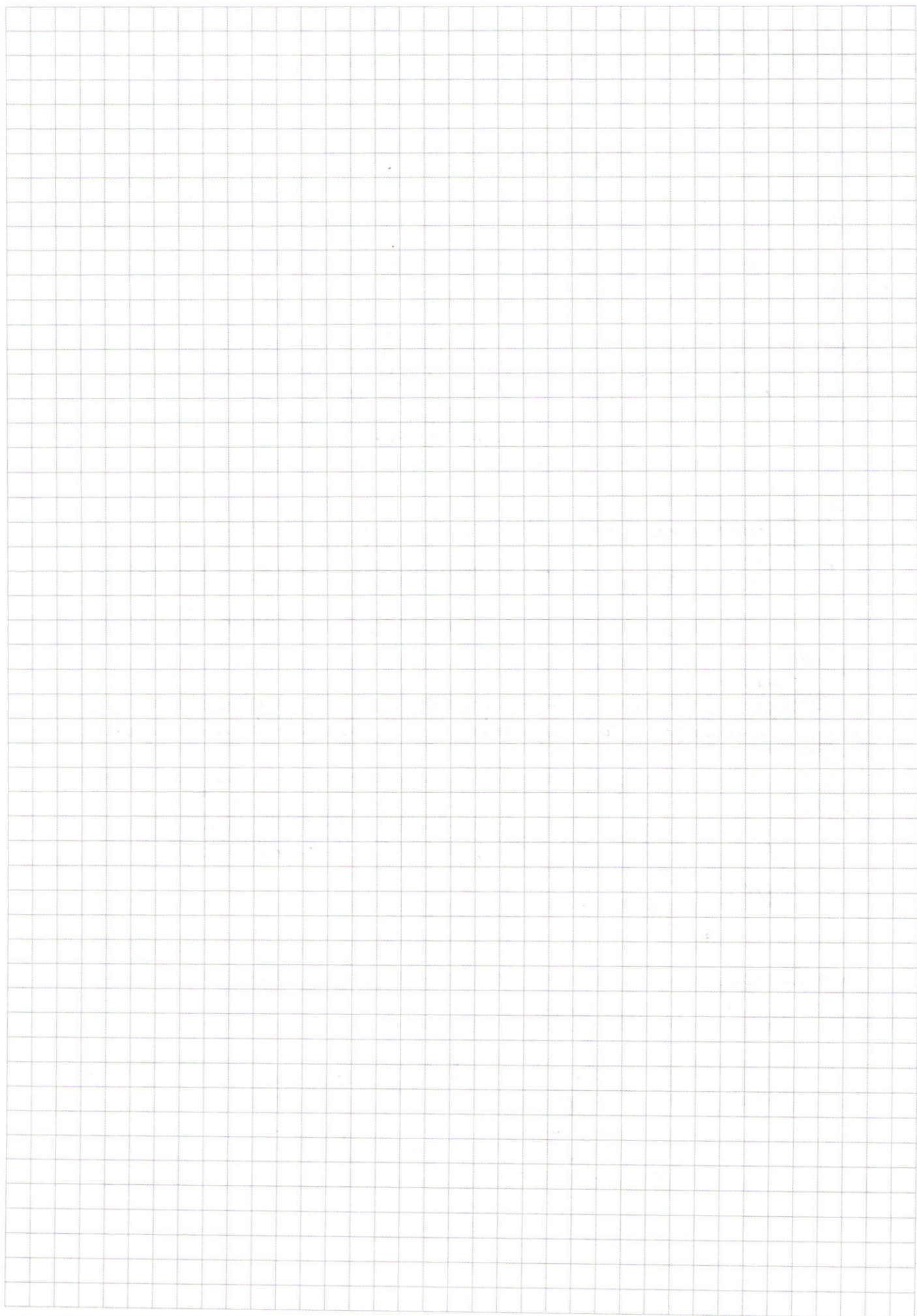
~~$$\frac{1}{d} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \Rightarrow \frac{1}{d} = \frac{1}{\frac{3F}{2}} + \frac{1}{\frac{3F}{2}} = \frac{2}{3F} + \frac{2}{3F} = \frac{4}{3F} \Rightarrow d = \frac{3F}{4}$$~~

$\Rightarrow$

изображение в мишени движется со скоростью $u = \Gamma^2 \cdot 3U = 4 \cdot 3U = 12U$.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{b} = \frac{2 \cdot \frac{3F}{4}}{2F} = \frac{3}{4} \Rightarrow \alpha = \operatorname{arctg} \frac{3}{4}$$

Ответ: 1) $\alpha = \operatorname{arctg} \frac{3}{4}$
2) $u = 12U$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\eta = \frac{\alpha - 1}{3 + 5\alpha} = \frac{\alpha - 1}{\frac{3}{5} + \alpha} \cdot \frac{1}{5} = \frac{1}{5} \quad +144$$

$$\frac{\alpha - 1}{\frac{3}{5} + \alpha}$$



$$\frac{\alpha - 1}{\alpha + \frac{3}{5}} = \frac{\alpha + \frac{3}{5} - 1\frac{3}{5}}{\alpha + \frac{3}{5}} = 1 - \frac{\frac{2}{5}}{\alpha + \frac{3}{5}}$$

Работа батарейки

qE

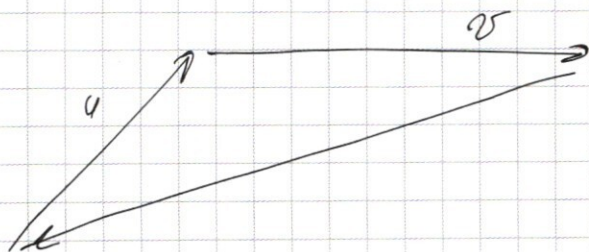
кн. В

$$\mathcal{U} = \mathcal{U}_{\text{вн}} + \mathcal{U}_{\text{вср}}$$

$$\begin{array}{r} 2 \\ \times 15 \\ \hline 25 \\ 4 \\ \times 17 \\ \hline 119 \\ 17 \end{array}$$

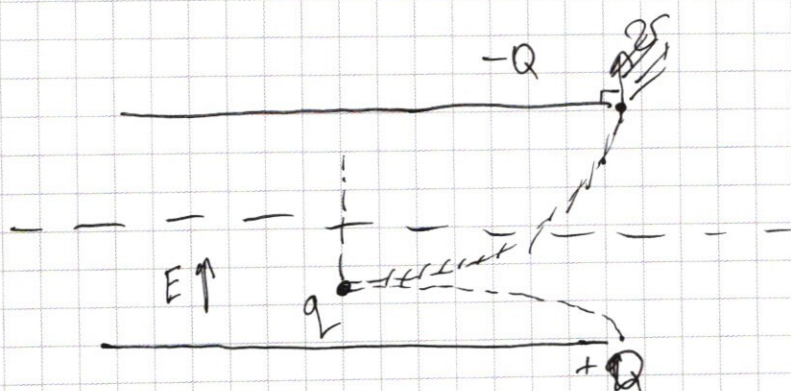
289

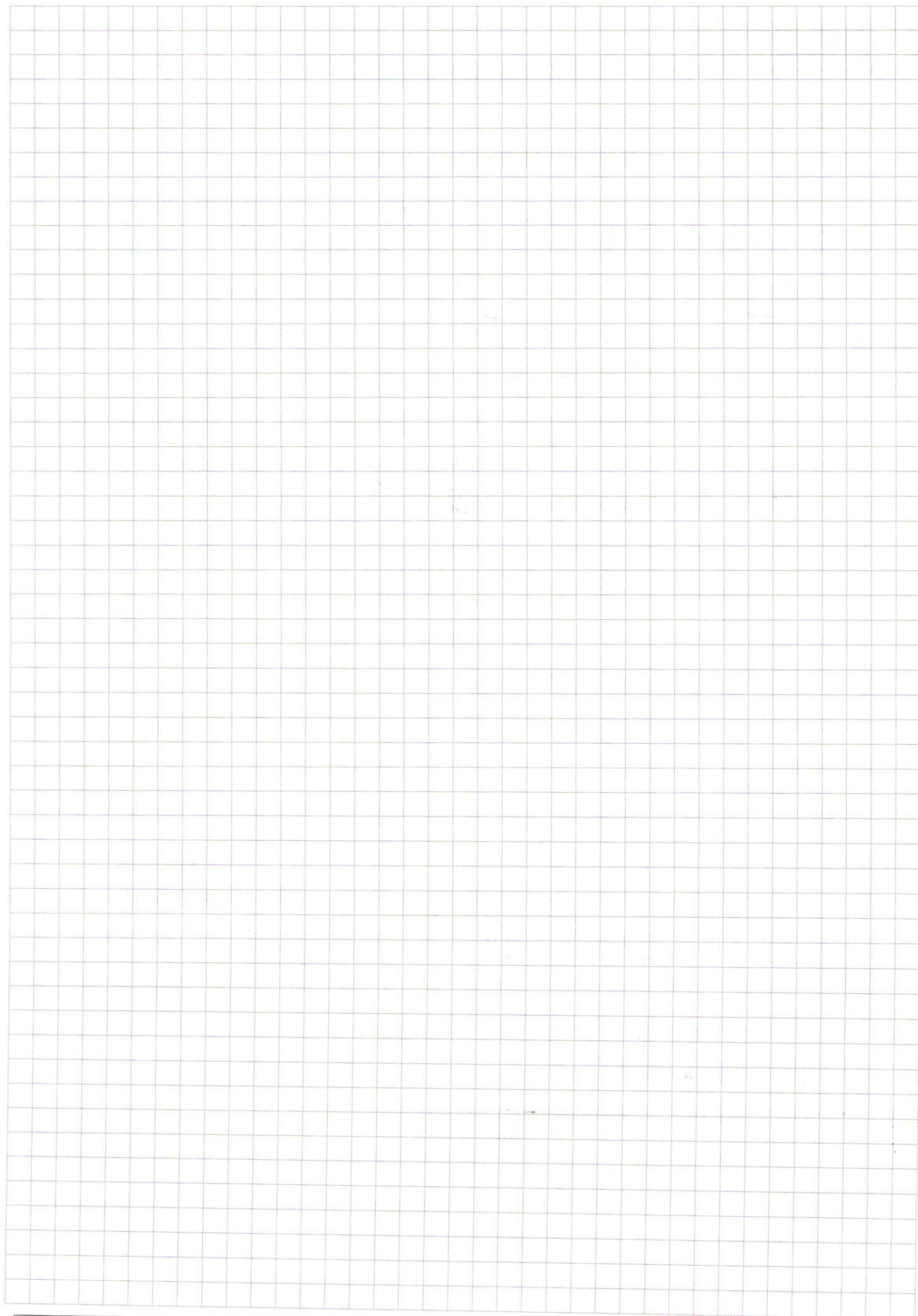
$$\begin{array}{r} 289 \\ - 225 \\ \hline 64 \end{array}$$



$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

E.





☒ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)