

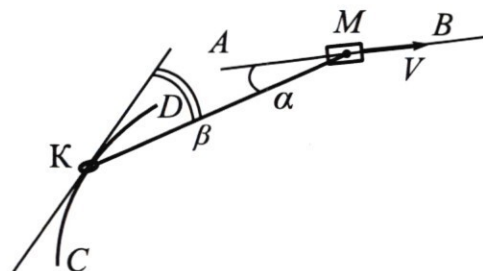
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Вариант 11-03

Класс 11

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 34$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,3$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 0,53$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/4$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент нить составляет угол α ($\cos \alpha = 15/17$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 3/5$) с направлением движения кольца.



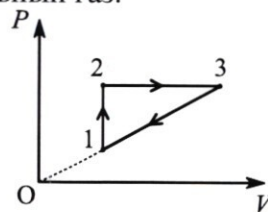
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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 изменения внутренней энергии газа к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.



3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки, радиус обкладок намного больше расстояния d между обкладками. Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,3d$ от отрицательно заряженной обкладки стартует с нулевой начальной скоростью отрицательно заряженная частица и вылетает из конденсатора перпендикулярно обкладкам со

скоростью V_1 . Удельный заряд частицы $\frac{|q|}{m} = \gamma$.

С

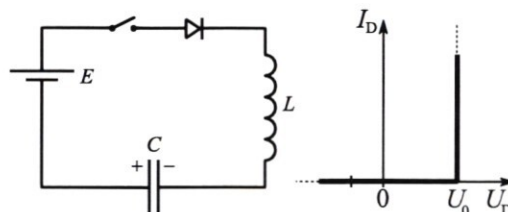
- 1) Через какое время T частица будет находиться на одинаковых расстояниях от обкладок?
- 2) Найдите величину Q заряда обкладок конденсатора.
- 3) С какой скоростью V_2 будет двигаться частица на бесконечно большом расстоянии от конденсатора?

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 $E = 6$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 2$ 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 $F/4$ от линзы. Линза и источник неподвижны, а зеркало движется со скоростью V вдоль оси OO_1 . В некоторый момент зеркало оказалось на расстоянии $3F/4$ 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

$\vec{V}_k$ - скорость кольца от-но земли

Проекции скоростей точек М и К
на нить равны:

$$V_k \cdot \cos \beta = V \cos \alpha$$

$$V_k = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 34 \text{ м/с} \cdot \frac{\frac{15}{17}}{\frac{3}{5}} = 34 \cdot \frac{15}{17} \cdot \frac{5}{3} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 5}{3} = 2 \cdot 5 \cdot 5$$

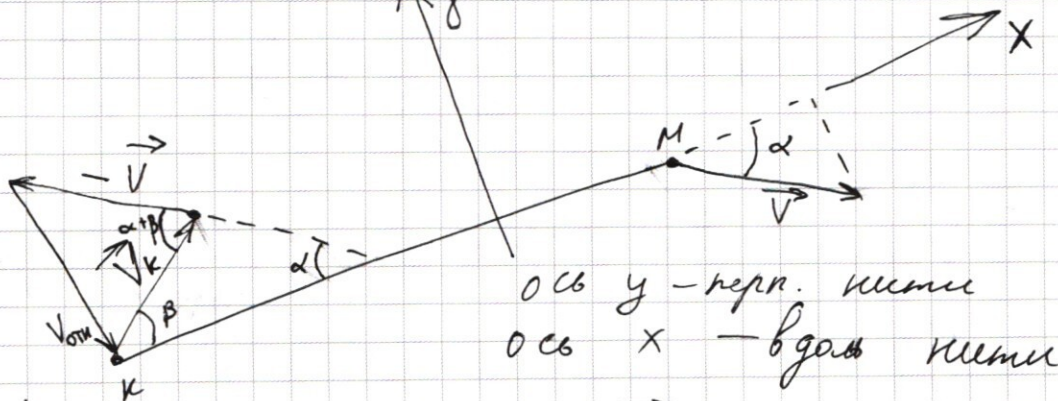
= 49 м/с

$$V_k = 50 \text{ м/с} = 100 \text{ км/ч}$$

$\vec{V}_{отн}$ - скорость кольца относительно лудры

$$\vec{V}_k = \vec{V} + \vec{V}_{отн}$$

$$\vec{V}_{отн} = \vec{V}_k - \vec{V}$$



ось y - перп. нити
ось x - вдоль нити

П.к. проекции $\vec{V}$ и $\vec{V}_k$ на ось x равны,
то проекция $\vec{V}_{отн} = \vec{V}_k - \vec{V}$ на ось x равна
нулю $\Rightarrow \vec{V}_{отн}$ перпендикулярно нити (и осч x)

Проекция скорости $\vec{V}$ и $\vec{V}_k$ на ось y ;

$$V_y = -V \sin \alpha$$

$$V_{ky} = V_k \sin \beta$$

Проекция $V_{отн}$ на y ;

$$V_{отн y} = V_{ky} - V_y = V_k \sin \beta + V \sin \alpha = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \sin \beta + V \sin \alpha$$

$$V_{отн} = V_{отн y} = V \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \cdot \sin \beta + \sin \alpha \right)$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \cos^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{9}{16}} = \frac{4}{5}$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \frac{225}{289}} = \sqrt{\frac{64}{289}} = \frac{8}{17}$$

$$V_{отн} = 34 \left(\frac{\frac{15}{17}}{\frac{3}{5}} \cdot \frac{4}{5} + \frac{8}{17} \right) \text{ см/с} =$$

$$= 34 \left(\frac{15 \cdot 5}{17 \cdot 3} \cdot \frac{4}{5} + \frac{8}{17} \right) = 34 \left(\frac{20}{17} + \frac{8}{17} \right) = 2 \cdot 28 = 56 \text{ см/с}$$

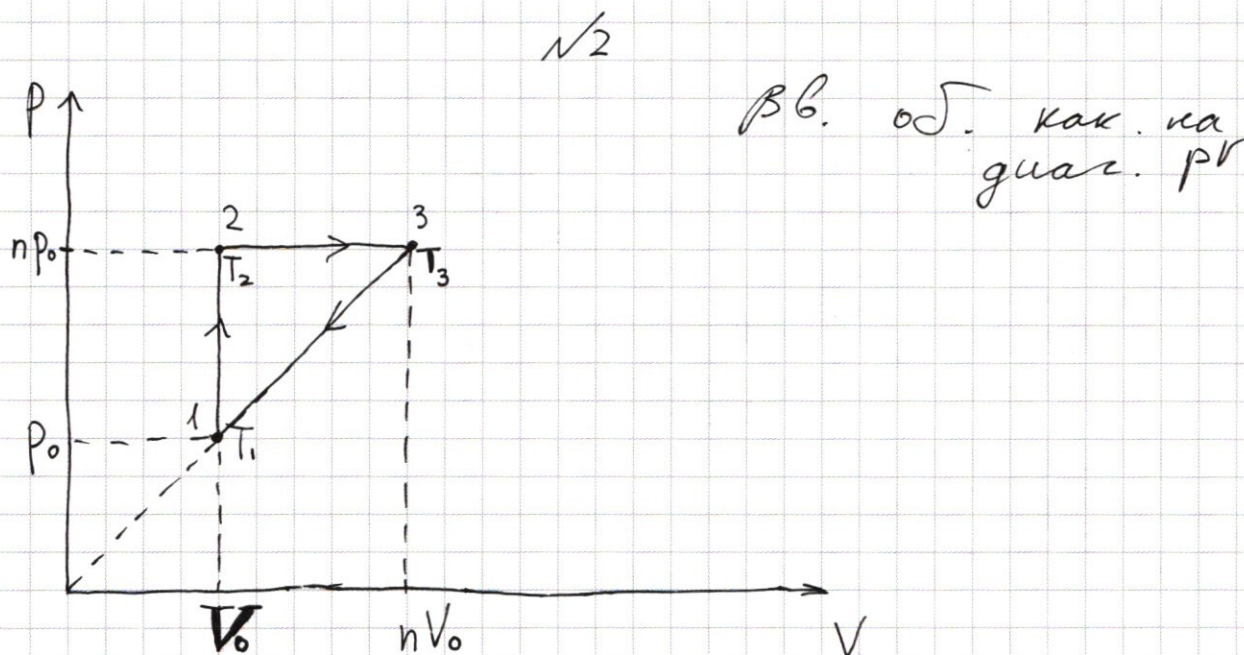
$$V_{отн} = 56 \text{ см/с}$$

Ответ: $V_k = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

$$V_{отн} = 56 \text{ см/с} = V \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \sin \beta + \sin \alpha \right)$$

~~Х/с~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Уравнение Менд. - Клап:

$$① \quad p_0 V_0 = \nu R T_1$$

$$② \quad np_0 \cdot V_0 = \nu R T_2 \quad \Rightarrow \quad T_2 = n T_1 > T_1$$

$$③ \quad np_0 \cdot n V_0 = \nu R T_3 \quad \Rightarrow \quad T_3 = n^2 T_1 > T_2$$

$$T_3 > T_2 > T_1 \Rightarrow$$

$\Rightarrow$ В процессах $(1-2)$ и $(2-3)$

температура повышалась, а в процессе

$(3-1)$ — уменьшалась.

В процессе $(1-2)$ газ не совершает работы.

$$Q_{12} = \Delta U_{12} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1) \quad [\text{Подведённое}$$

кол-во тепла равно изм. внутр. энергии газа]

Молярная теплоёмкость в (1-2):

$$C_{12} = \frac{Q_{12}}{\nu(T_2 - T_1)} = \frac{\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)}{T_2 - T_1} = \frac{3}{2} R$$

Q_{23} - кол-во т. подв. к газу в (2-3) | ΔU_{23} - измен. вн. энергии газа в (2-3)

Процесс (2-3): | A_{23} - работа, сов. газом, в проц (2-3)

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + A_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + n p_0 (n V_0 - V_0)$$

$$Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + n p_0 \cdot n V_0 - n p_0 \cdot V_0 =$$
$$= \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + \nu R T_3 - \nu R T_2 = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

Моляр. мен. в (2-3)

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

$$\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5}$$

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{3}{2} (\nu R T_3 - \nu R T_2) = \frac{3}{2} (n p_0 \cdot n V_0 - n p_0 \cdot V_0)$$
$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} n p_0 (n V_0 - V_0) = \frac{3}{2} n p_0 V_0 (n-1)$$
$$A_{23} = n p_0 (n V_0 - V_0) = n p_0 V_0 (n-1) = n(n-1) p_0 V_0$$

$$\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{\frac{3}{2} n(n-1) p_0 V_0}{n(n-1) p_0 V_0} = \frac{3}{2}$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} (\nu R T_3 - \nu R T_2) = \frac{5}{2} (n p_0 \cdot n V_0 - n p_0 \cdot V_0)$$

$$Q_{23} = \frac{5}{2} n p_0 V_0 (n-1) = \frac{5}{2} n(n-1) p_0 V_0$$

$$Q_{12} = \frac{3}{2} (\nu R T_2 - \nu R T_1) = \frac{3}{2} (n p_0 \cdot V_0 - p_0 V_0) = \frac{3}{2} p_0 V_0 (n-1)$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Количество теплоты, полученное газом от нагревателя за весь цикл равно:

$$Q_H = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} p_0 V_0 (n-1) + \frac{5}{2} n(n-1) p_0 V_0 =$$

$$Q_H = p_0 V_0 (n-1) \left(\frac{3}{2} + \frac{5}{2} (n-1) \right)$$

Работу газа за весь цикл считаем, как площадь фигуры 123:

$$A = \frac{p_0 (n-1) \cdot V_0 (n-1)}{2} = \frac{p_0 V_0 (n-1)^2}{2}$$

КПД:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{\frac{p_0 V_0 (n-1)^2}{2}}{p_0 V_0 (n-1) \left(\frac{3}{2} + \frac{5}{2} (n-1) \right)} = \frac{\frac{n-1}{2}}{\frac{3}{2} + \frac{5}{2} (n-1)}$$

$$\eta = \frac{n-1}{3+5(n-1)} = \frac{1}{\frac{3}{n-1} + 5}$$

$$n > 1 \Rightarrow n-1 > 0 \Rightarrow \frac{3}{n-1} > 0$$

$$\frac{3}{n-1} + 5 > 5$$

$\Downarrow$

$$\frac{1}{\frac{3}{n-1} + 5} < \frac{1}{5} \Rightarrow \eta < \frac{1}{5}$$

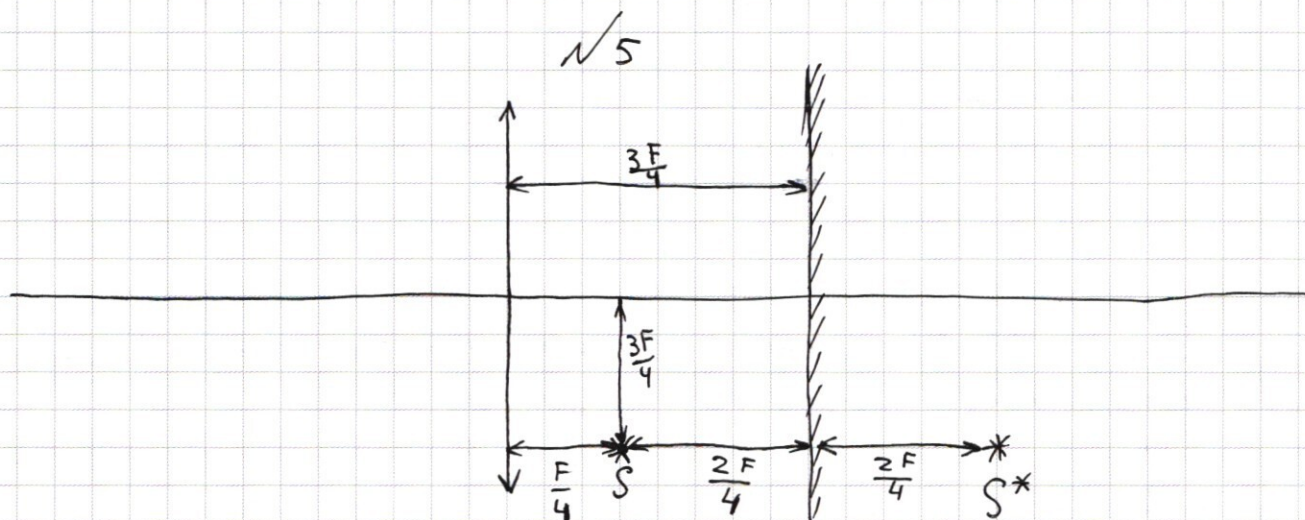
Значение $\eta = \frac{1}{5}$ достигается, если $n \rightarrow \infty$.
В этом случае $\frac{3}{n-1} \rightarrow 0 \Rightarrow \eta \rightarrow \frac{1}{5}$

ответ: ~~1)~~ 1) $\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5}$

2) $\frac{\Delta U_{23}}{A_{23}} = \frac{3}{2}$

3) $\eta_{\max} = \frac{1}{5}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Р-е от ист. до зеркала: $\frac{3F}{4} - \frac{F}{4} = \frac{2F}{4}$

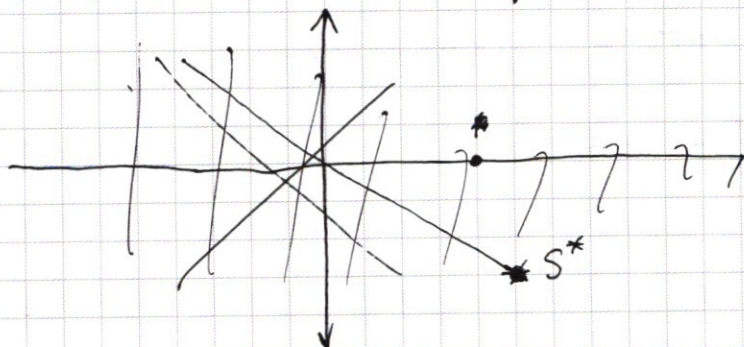
Изображение S^* в зеркале находится в точке, симметричной точке S относительно зеркала. на расстоянии $\frac{2F}{4}$ от него.

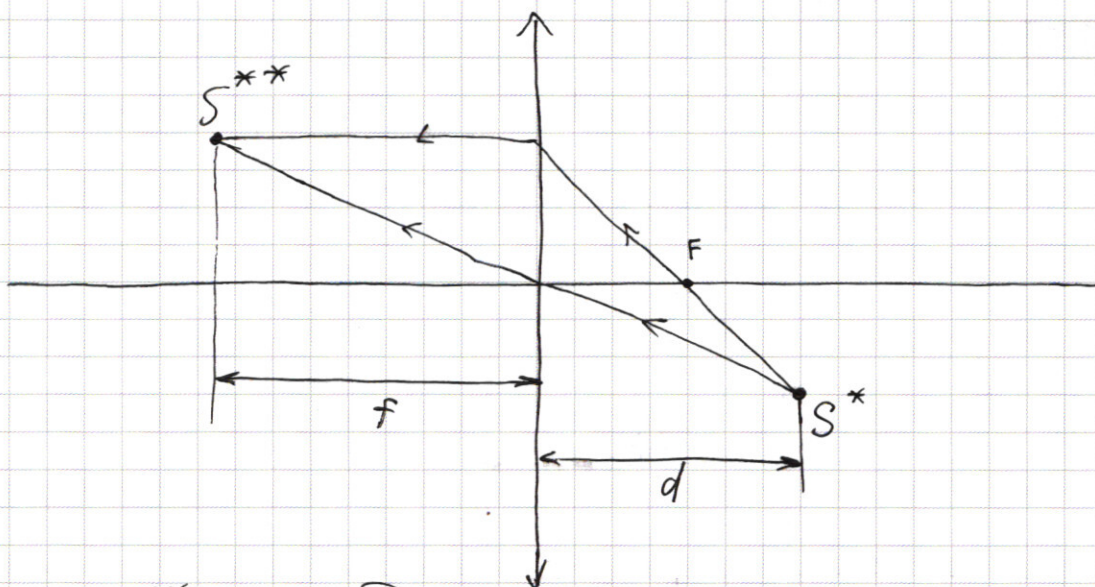
Р-е от S^* до линзы:

$$d = \frac{3F}{4} + \frac{2F}{4} = \frac{5F}{4}$$

После отражения от зеркала лучи пройдут через линзу.

$d = \frac{5F}{4} > F \Rightarrow$ изображение действительное.





S^{**} - изображение в линзе (оно же - изобр. в системе)
По формуле тонкой линзы:

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

$$\frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{F} - \frac{4}{5F} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{5}{5F} - \frac{4}{5F} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{5F} = \frac{1}{f}$$

$$f = 5F$$

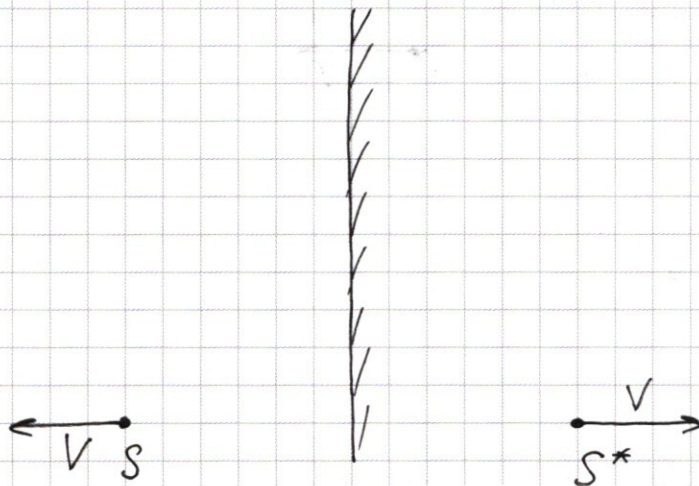
$$d = \frac{5F}{4}$$

Увеличение в данной линзе:

$$\Gamma = \frac{f}{d} = \frac{5F}{\frac{5F}{4}} = \frac{1}{\frac{1}{4}} = 4$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Перейдём в СО Зеркала.



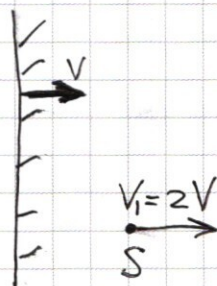
Скорость источника S от-но зеркала
равна V и направлена от зеркала.

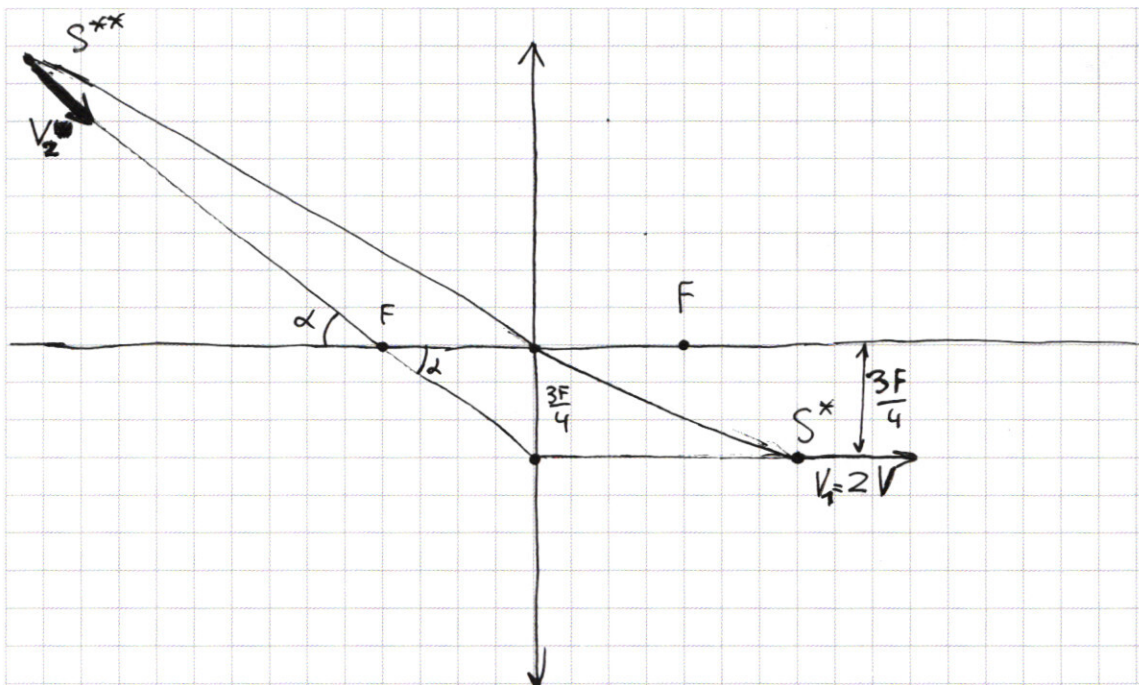
Скорость S^* симметрична S от-но зеркала.
и равна V и направлена от зеркала.

Перейдём в СО Земли:

Скорость ~~также~~ изображения S^* ~~по~~ (от-но земли)
равна векторной сумме скоростей зеркала
и скорости S^* от-но зеркала:

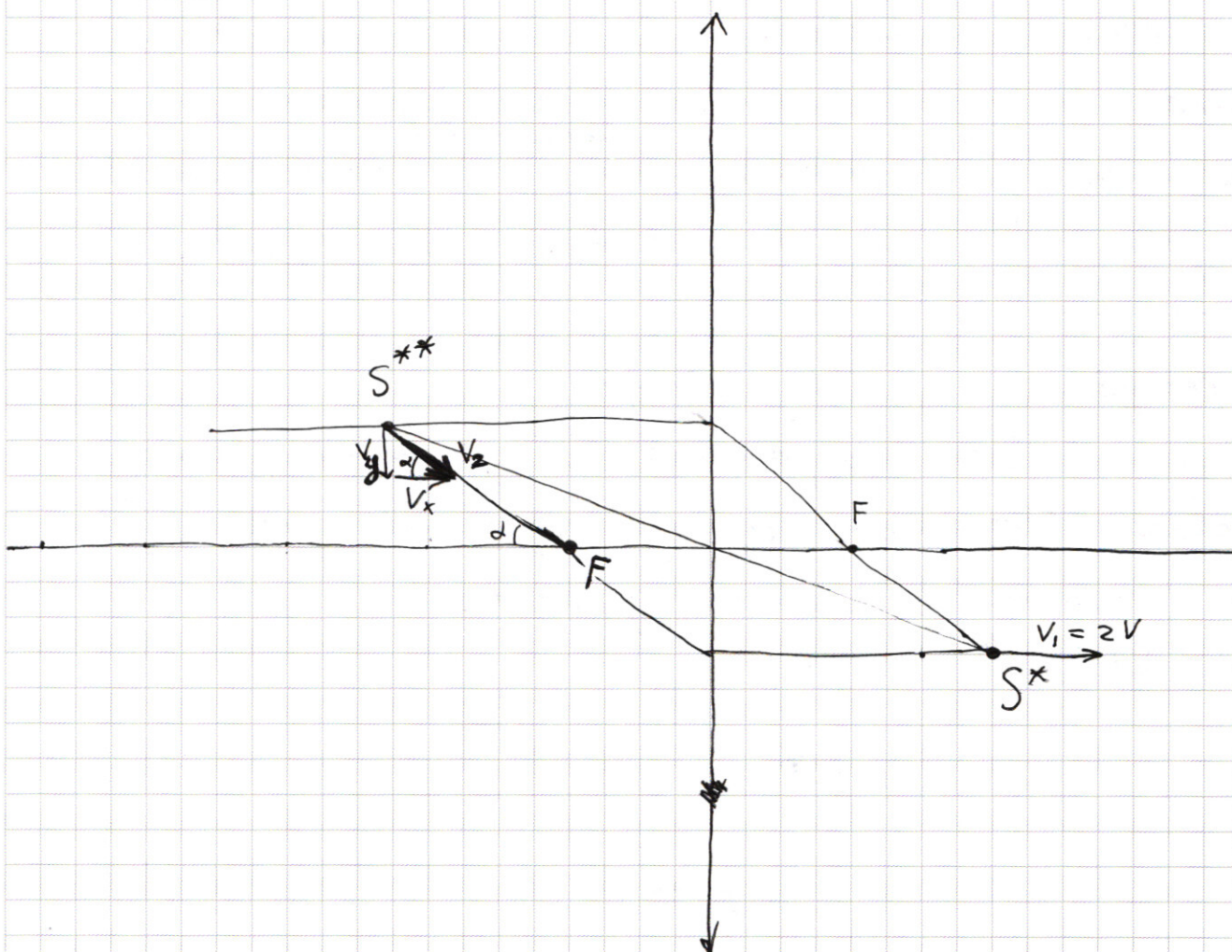
$$V_1 = V + V = 2V$$



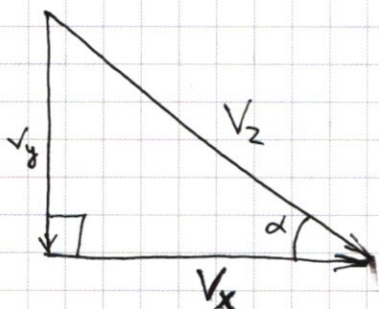


$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{3F}{4}}{F} = \frac{3}{4}$$

$$\left(\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{4} \right) \Rightarrow \sin \alpha = \frac{3}{5}, \cos \alpha = \frac{4}{5}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



Разложим V_2 на перпендикулярные составляющие V_y и V_x

V_x — продольная скорость S^{**}

V_1 — продольная скорость S^*

$$\frac{V_x}{V_1} = \Gamma^2 = 16$$

$$V_x = 16 V_1$$

$$V_2 = \frac{V_x}{\cos \alpha} = \frac{16 V_1}{\frac{4}{5}} = \frac{4 V_1}{\frac{1}{5}} = 20 V_1 = 40 V$$

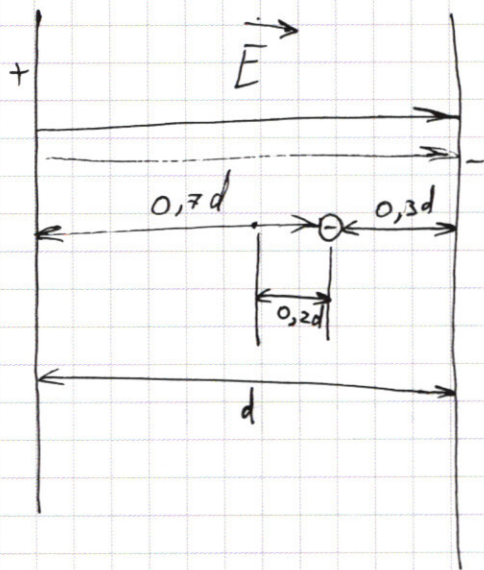
$$V_2 = 40 V$$

Ответ: 1) $f = 5 F$
2) $\tan \alpha = \frac{3}{4}$
3) $V_2 = 40 V$

№3

Емкость конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$



E - напр. поля внутри конд.

ЗЗЗ:

$$E \cdot 0,7d \cdot |q| = \frac{m V_1^2}{2}$$

$$E \cdot 0,7d \cdot \frac{|q|}{m} = \frac{V_1^2}{2}$$

$$E \cdot 0,7d = \gamma = \frac{V_1^2}{2}$$

$$E = \frac{V_1^2}{2 \cdot 0,7d \cdot \gamma}$$

Найдем? Ускорение частицы внутри конд:

ИЗЗ:

$$ma = |q|E$$

$$a = \frac{|q|}{m} E = \gamma \bar{E} = \frac{\gamma V_1^2}{2 \cdot 0,7d \gamma} = \frac{V_1^2}{2 \cdot 0,7d}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~0,2d~~ — расстояние

$$0,2d = \frac{dT^2}{2}$$

$$T^2 \frac{2 \cdot 0,2d}{d} = \frac{2 \cdot 0,2d \cdot 2 \cdot 0,7d}{V_1^2} = \frac{2^2 \cdot d^2 \cdot 0,2 \cdot 0,7}{V_1^2}$$

$$T = \frac{2d \sqrt{0,2 \cdot 0,7}}{V_1} = \frac{2d \sqrt{0,14}}{V_1}$$

~~Q = CU~~

Напряж. на конд.:

$$U = Ed = \frac{V_1^2 d}{2 \cdot 0,7 \cdot d \cdot \gamma} = \frac{V_1^2}{1,4 \gamma}$$

$$Q = CU = \frac{\epsilon_0 S}{d} \cdot \frac{V_1^2}{1,4 \gamma} = \frac{\epsilon_0 S V_1^2}{1,4 \gamma d}$$

Вне конденсатора поля нет $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ вне после вылета из конденсатора

скорость частицы не изменяется. $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ На бесконечно большом р-нии от конденсатора частица будет иметь скорость $V_2 = V_1$

Ответ: 1) $T = \frac{2d\sqrt{0,147}}{V_1}$

2) $Q = \frac{\epsilon_0 S V_1^2}{1,4 y d}$

3) $V_2 = V_1$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№4

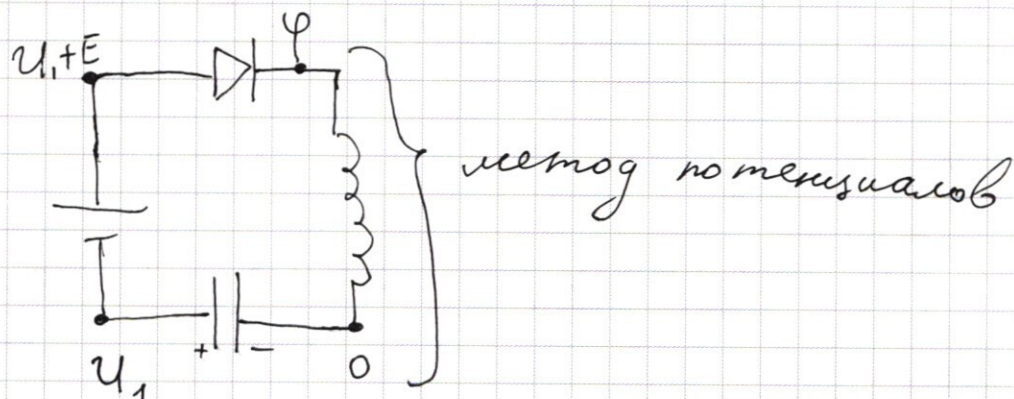
~~Напряжение на кон~~

I. Рассмотрим момент сразу после замыкания ключа.

Напряжение на конденсаторе скачком не меняется $\Rightarrow$ оно равно U_1 .

Ток через катушку скачком не меняется $\Rightarrow$ он будет равен нулю.

Предположим, сразу после замыкания диод закрыт и ток через него не течёт. Тогда напряжение на диоде U_d меньше, чем U_0 .

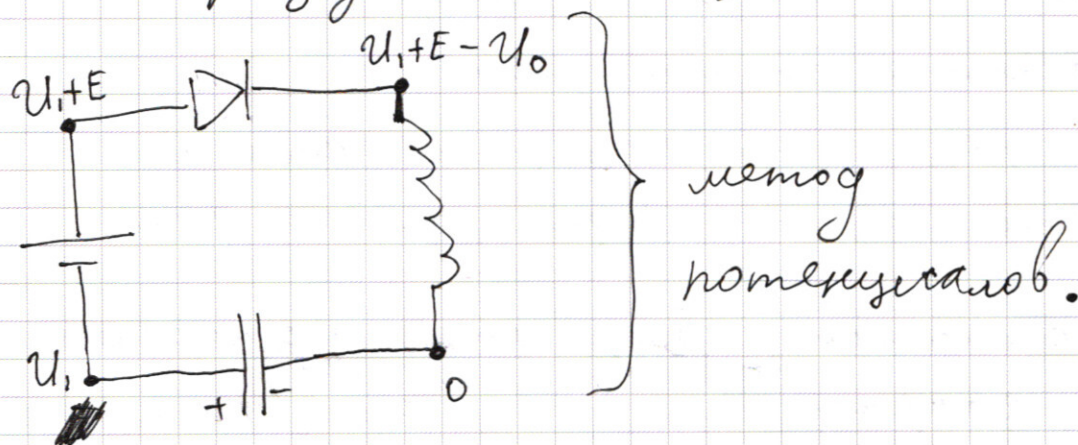


Тогда $\varphi = U_1 + E - U_d > U_1 + E - U_0 = (2 + 6 - 1) В > 0$
Напряжение на катушке $\varphi - 0$ отлично от нуля $\Rightarrow$ через катушку начинает

теперь ^{* бесконечно малый ток.} ток* (пусть и небольшой) $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ через всю цепь и через диод
начинает течь ток. $\Rightarrow$ на диоде
появляется напряжение U_0 .

Противоречие $\Rightarrow$ Ток через диод (бесконечно малый ток)
начинает течь сразу после ~~размыкания~~
замыкания. $\Rightarrow$ на диоде ~~на~~ напряжение
 U_0 сразу после замыкания.



Напряжение на катушке равно:
 $(U_1 + E - U_0) - 0 = U_1 + E - U_0$

$$U_1 + E - U_0 = L I'$$

$$I' = \frac{U_1 + E - U_0}{L} = \frac{2 + 6 - 1}{0,1} = \frac{8 - 1}{0,1} = \frac{7}{0,1} = 70 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

$$I' = 70 \frac{\text{А}}{\text{с}}$$

Заряд на конд:

$$q_1 = C U_1$$

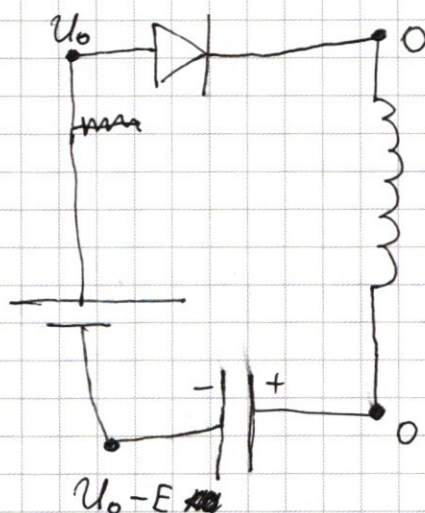
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~~В~~ ~~ка~~ сразу после замыкания
ключа Энергия цепи равна:

$$W_0 = \frac{C U_1^2}{2}$$

Рассмотрим момент, когда ток
в цепи максимален $\Rightarrow$ диод открыт.
Напряжение на диоде равно U_0 .

Ток максимален $\Rightarrow$ Производная тока
равна нулю $\Rightarrow$ Напряжение на катушке
равно нулю.



$U_0 - E < 0 \Rightarrow$ Правая обкладка
зарядна ^{контр}положительна.

Работа ист. за время от
~~разг. зам.~~, до момента максим.
тока:

$$A = E(I$$

Заряд на конден: когда ток макс.

$$q_2 = C(U_0 - E) \quad q_2 = C(E - U_0)$$

На левой обкладке заряд $-q_2 = -C(E - U_0)$

ВКЛЗ

Работа источника за время от зам.
до макс. тока.

$$A = E(q_1 - (-q_2)) = E(q_1 + q_2) =$$

$$A = E(CU_1 + C(E - U_0)) = EC(U_1 + E - U_0)$$

Энергия конден:

$$W_c = \frac{C(E - U_0)^2}{2}$$

Энергия цепи:

$$W_2 = \frac{C(E - U_0)^2}{2} + \frac{LI_{\max}^2}{2}$$

ЗСЭ:

$$A = W_2 - W_0$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$EC(u_1 + E - u_0) = \frac{C(E - u_0)^2}{2} + \frac{LI_{\max}^2}{2} - \frac{Cu_1^2}{2}$$

$$\frac{LI_{\max}^2}{2} = EC(u_1 + E - u_0) - \frac{C(E - u_0)^2}{2} + \frac{Cu_1^2}{2}$$

$$I_{\max}^2 = \frac{2}{L} \left(EC(u_1 + E - u_0) - \frac{C(E - u_0)^2}{2} + \frac{Cu_1^2}{2} \right)$$

$$I_{\max}^2 = \frac{2EC(u_1 + E - u_0) - C(E - u_0)^2 + Cu_1^2}{L}$$

$$I_{\max}^2 = 2 \cdot 6$$

$$I_{\max}^2 = \frac{C}{L} \left(2E(u_1 + E - u_0) - (E - u_0)^2 + u_1^2 \right)$$

$$I_{\max}^2 = \frac{40 \cdot 10^{-6}}{0,1} \left(2 \cdot 6(2 + 6 - 1) - (6 - 1)^2 + 4^2 \right)$$

$$= 400 \cdot 10^{-6} (12 \cdot 7 - 25 + 16) = 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 75$$

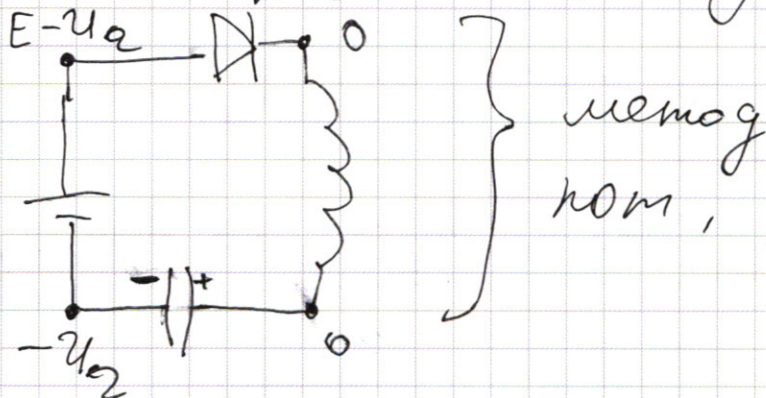
$$= 30 \cdot 10^{-3} \quad A^2 = 3 \cdot 10^{-2} \quad A^2$$

$$I_{\max} = 1,7 \cdot 10^{-1} \quad A = 0,17 \quad A$$

Рассмотрим установивш. рет.

Пток через катушку не мен. $\Rightarrow$
Напр. на конт равно нулю.

Пток через конт. не течёт
 $\Rightarrow$ Пток через катушку не течёт



U_2 - напр. на конт.

Энергия цепи

$$W_3 = \frac{C U_2^2}{2}$$

Рад. исп.

$$A_2 = E(C U_2 + C U_1) = CE(U_2 + U_1)$$

ЗСЭ

$$A_2 = W_3 - W_0 = CE(U_2 + U_1) -$$

$$CE(U_2 + U_1) = \frac{C U_2^2}{2} - \frac{C U_1^2}{2} =$$

$$E(U_2 + U_1) = \frac{(U_2 - U_1)(U_2 + U_1)}{2}$$

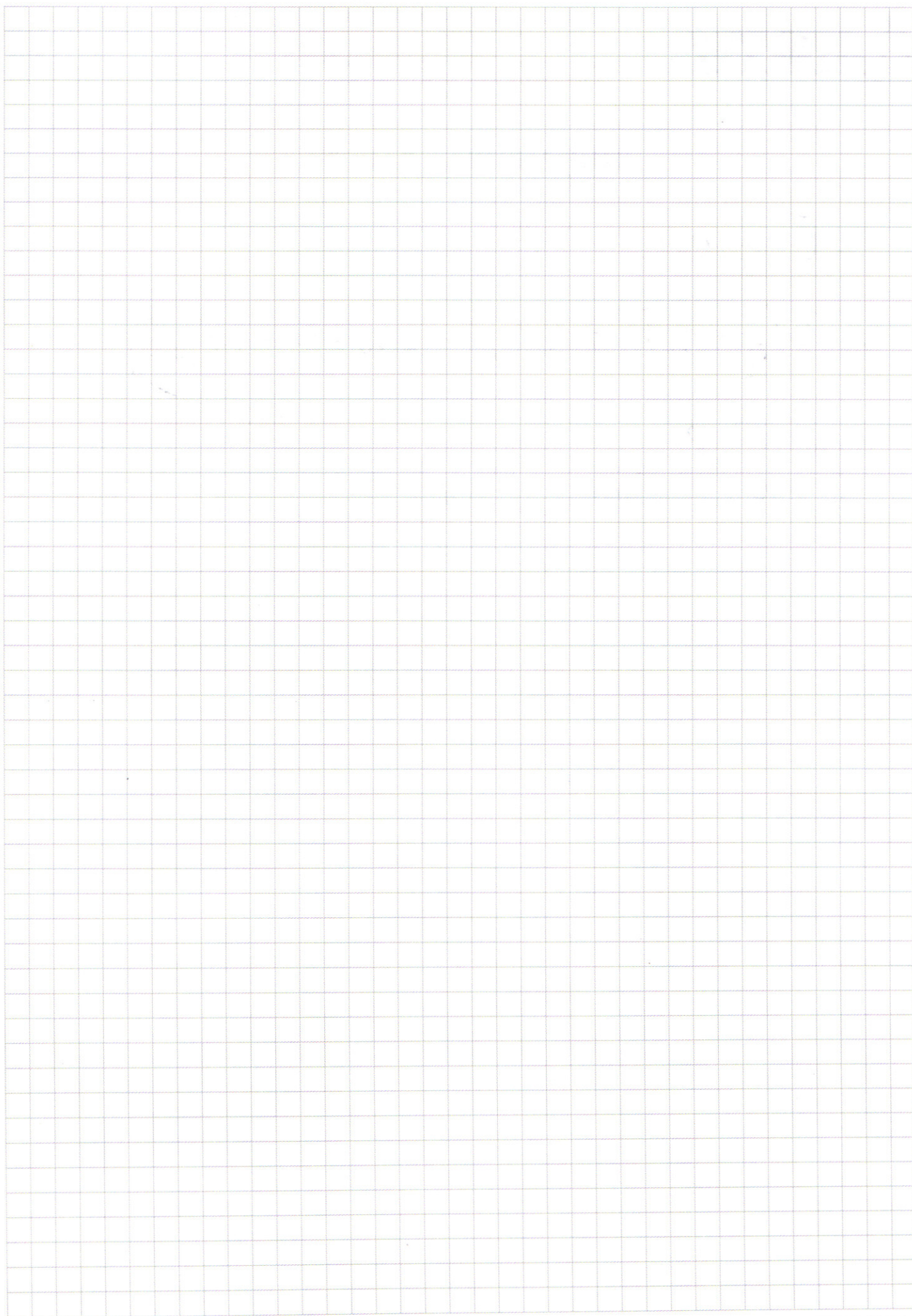
$$E = \frac{U_2 - U_1}{2}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

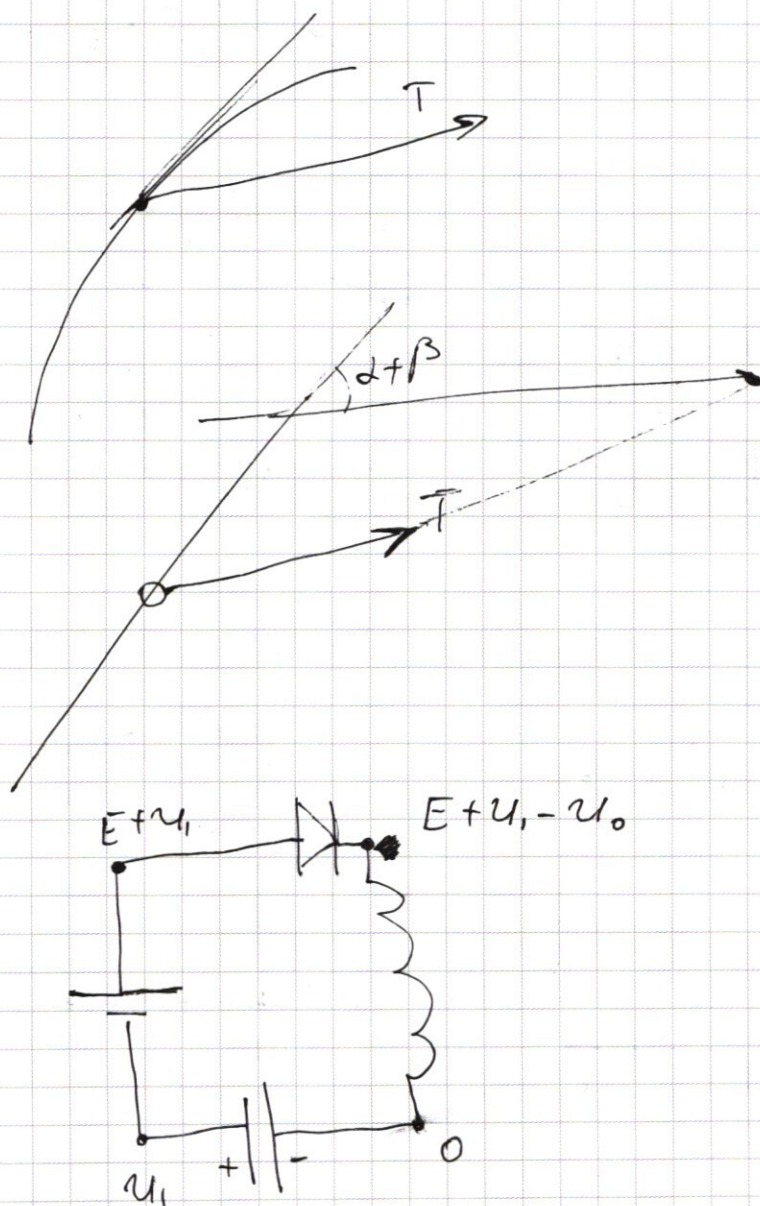
$$2E = U_c - U_1$$

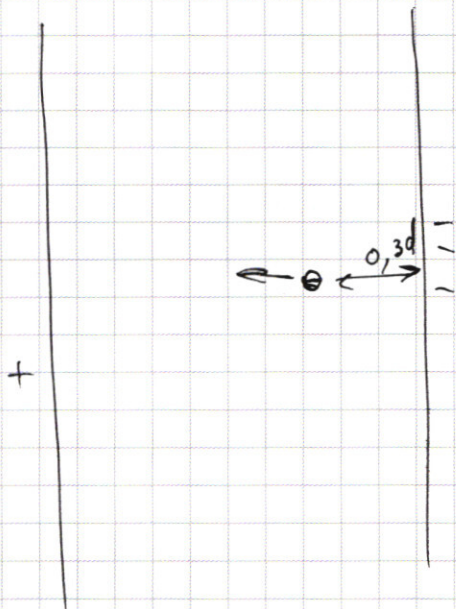
$$U_2 = 2E + U_1 = 2 \cdot 6 + 2 = 14 \text{ В}$$

Ответ: 1)



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

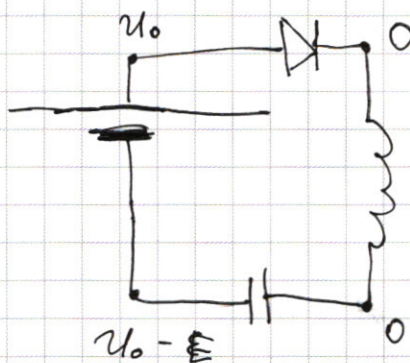




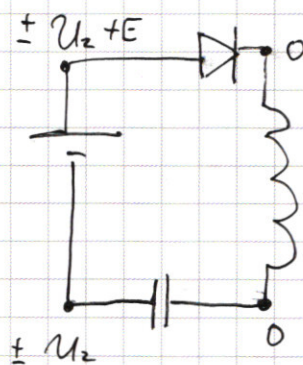
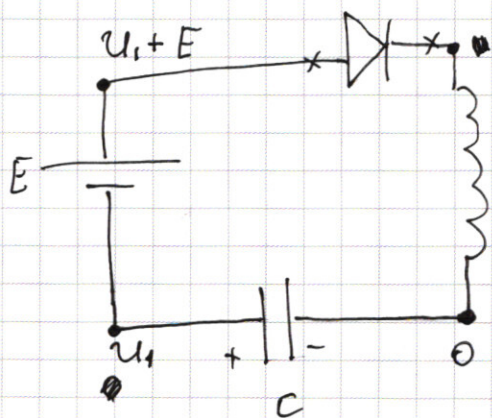
$$234 \cdot \frac{185}{17} \cdot \frac{5}{8} = 50$$

$$E \cdot 0,7d \cdot |q| = \frac{m V_1^2}{2}$$

$$\frac{E \cdot 0,7d |q|}{m} = \frac{V_1^2}{2}$$



a



$$\begin{array}{r} \times 12 \\ 7 \\ \hline 84 \\ - 9 \\ \hline 75 \\ \times 0,4 \\ \hline 30 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 150 \\ 300 \\ \hline \end{array}$$