

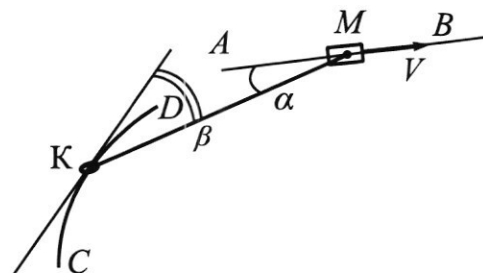
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

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

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.



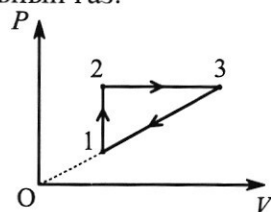
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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?

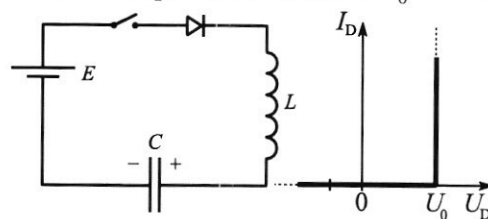
При движении частицы электрическое поле, созданное зарядами конденсатора, считать неизменным, а электрическое поле внутри конденсатора вблизи оси симметрии считать однородным.

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.

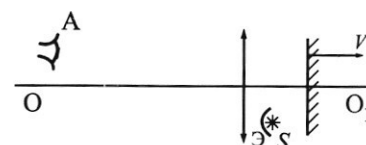


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник 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.

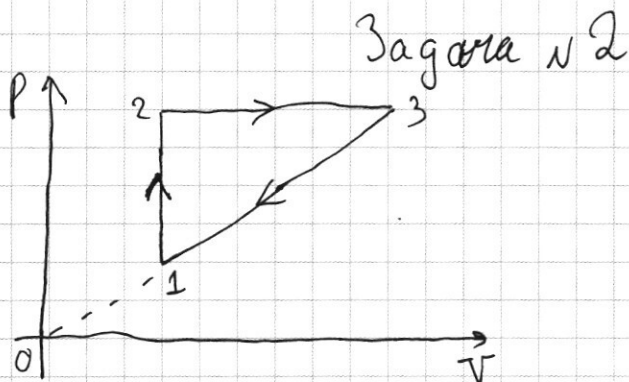
1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?

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

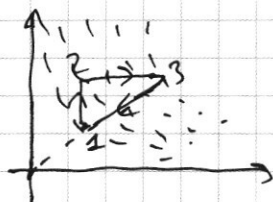
3) Найти скорость изображения в этот момент.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- 1) Повышение температуры происходило на участках
1 → 2 (изохора) и 2 → 3 (изобара):



(это следует из соотношения изохоры)
на известности $p \cdot V$

Молярная теплоемкость: $C_{1 \rightarrow 2} = C_V = \frac{i}{2} R = \frac{3}{2} R$
(одноатомный газ)

$$C_{2 \rightarrow 3} = C_P = C_V + R = \frac{5}{2} R$$

$$\frac{C_{2 \rightarrow 3}}{C_{1 \rightarrow 2}} = \frac{C_P}{C_V} = \frac{5/2}{3/2} = \boxed{\frac{5}{3}}$$

- 2) Рассмотрим изобарный процесс 2 → 3:

Запишем для него 1-е начало термодинамики:

$$Q_{2 \rightarrow 3} = A_{2 \rightarrow 3} + \Delta U_{2 \rightarrow 3}$$

$$A_{2 \rightarrow 3} = p_2 \Delta V_{2 \rightarrow 3}$$

$$\Delta U_{2 \rightarrow 3} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{2 \rightarrow 3} \stackrel{\text{по } \uparrow}{=} \frac{3}{2} \nu R \Delta \left(\frac{pV}{\nu R} \right)_{2 \rightarrow 3} =$$

закону Клапейрона - Менделеева

$$= \frac{3}{2} p_2 \Delta V_{2 \rightarrow 3}$$

$$\text{Значит, } \Delta U_{2 \rightarrow 3} = \frac{3}{2} A_{2 \rightarrow 3}$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = A_{2 \rightarrow 3} + \frac{3}{2} A_{2 \rightarrow 3}$$

$$Q_{2 \rightarrow 3} = \frac{5}{2} A_{2 \rightarrow 3}$$

$$\frac{Q_{2 \rightarrow 3}}{A_{2 \rightarrow 3}} = \frac{5}{2} = \boxed{2,5}$$

3б) Пусть в порках 1, 2 объем был V_1 , в порке 1 - давление p_1 , в порке 3 - объем V_3 .

Тогда, т.к. p прямо пропорционально V ,

$$p_2 = p_3 = p_1 \cdot \frac{V_3}{V_1}$$

$$\eta = \frac{A_{\Sigma}}{Q_{\text{н}}}$$

(кпд)

$$A_{\Sigma} = \frac{1}{2} (p_3 - p_1) (V_3 - V_1) = \frac{1}{2} (V_3 - V_1) p_1 \left(\frac{V_3}{V_1} - 1 \right) =$$

(найдем работу как площадь)

$$= \frac{1}{2} \frac{p_1}{V_1} (V_3 - V_1)^2$$

$$Q_{\text{н}} = Q_{1 \rightarrow 2} + Q_{2 \rightarrow 3} = C_V \cdot \Delta T_{1 \rightarrow 2} + C_P \cdot \Delta T_{2 \rightarrow 3} =$$

(участки, где температура повышается)

$$= \frac{3}{2} R \cdot \frac{(p_2 - p_1) V_1}{p R} + \frac{5}{2} R \cdot \frac{p_2 (V_3 - V_1)}{p R} = \frac{3}{2} V_1 p_1 \left(\frac{V_3}{V_1} - 1 \right) +$$

(используем закон Клапейрона-Менделеева)

$$+ \frac{5}{2} \cdot p_1 \frac{V_3}{V_1} (V_3 - V_1) = \frac{3}{2} \frac{V_1 p_1}{V_1} (V_3 - V_1) + \frac{5}{2} p_1 \frac{V_3}{V_1} (V_3 - V_1) =$$

$$= \frac{1}{2} p_1 (V_3 - V_1) \left(3 + 5 \frac{V_3}{V_1} \right)$$

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \frac{p_1}{V_1} (V_3 - V_1)^2}{\frac{1}{2} p_1 (V_3 - V_1) \left(3 + 5 \frac{V_3}{V_1} \right)} = \frac{\frac{V_3 - V_1}{V_1}}{3 + 5 \frac{V_3}{V_1}} = \frac{\frac{V_3}{V_1} - 1}{3 + 5 \frac{V_3}{V_1}}$$

Пусть $\frac{V_3}{V_1} = K$. $\eta = \frac{K-1}{3+5K} = \frac{1}{5} \left(\frac{5K+3-8}{5K+3} \right) = \frac{1}{5} \cdot \left(1 - \frac{8}{5K+3} \right)$

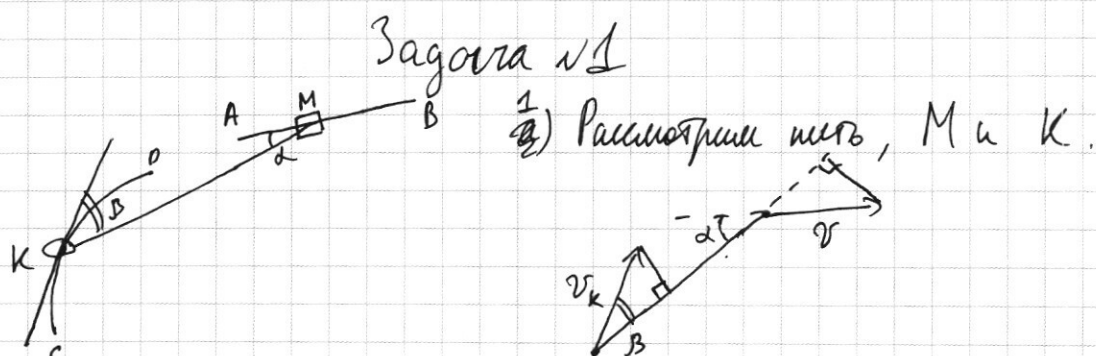
! при $K \rightarrow \infty$ $\eta \rightarrow \frac{1}{5}$ - это предельно возможное максимальное

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№2 (продолжение) значение η (при этом $\eta < \frac{1}{5}$, т.е. оно не достигается)

Ответ: 1) $\frac{c_{2 \rightarrow 3}}{c_{1 \rightarrow 2}} = \frac{5}{3}$ 2) $\frac{Q_{2 \rightarrow 3}}{Q_{A_{2 \rightarrow 3}}} = 2,5$ 3) $\frac{1}{5}$ (предел,

к которому стремится η).



Пусть скорость колеса v_k .

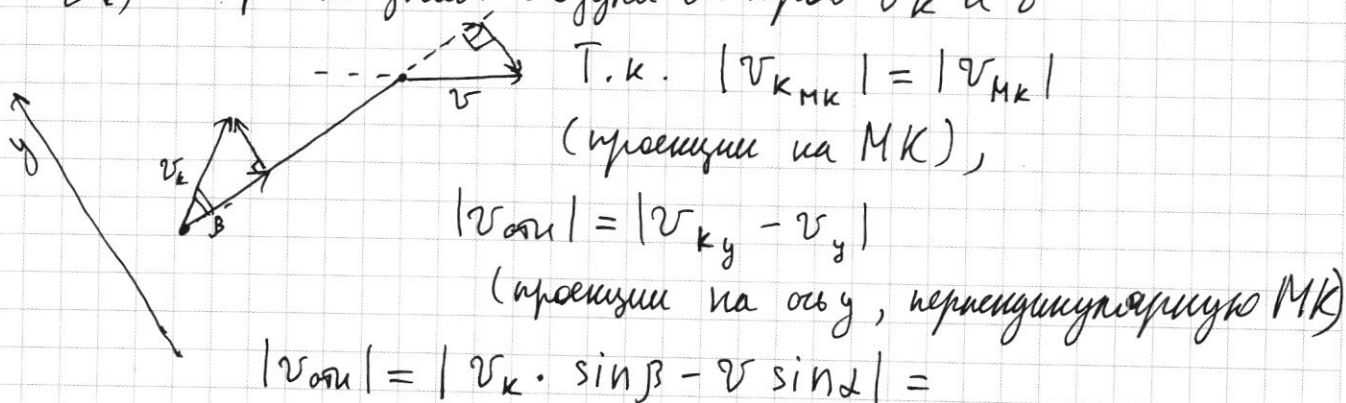
Т.к. длина нити постоянна, проекция v_k на нить KM равна по модулю проекции v на нить KM.

$$\Rightarrow v_k \cdot \cos \beta = v \cdot \cos \alpha \quad (\text{см. рис.})$$

$$\Rightarrow v_k = \frac{v \cdot \cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$v_k = 68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{\frac{17}{5}} = 68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{75}{68} = \boxed{75 \frac{\text{см}}{\text{с}}} - \text{ответ}$$

2) Теперь мы знаем модули векторов v_k и v

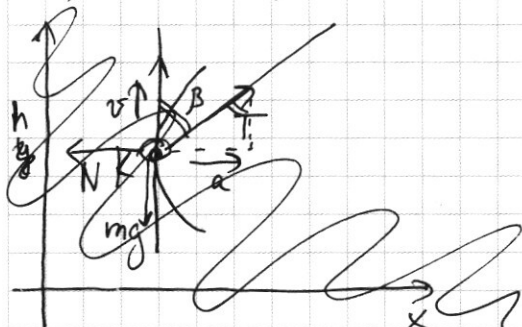


$$= |v_k \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \beta} - v \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \alpha}|$$

$$|v_{\text{отн}}| = \left| 75 \frac{\text{см}}{\text{с}} \sqrt{1 - \left(\frac{4}{5}\right)^2} - 68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \sqrt{1 - \left(\frac{15}{17}\right)^2} \right| =$$

$$= \left| 75 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{3}{5} - 68 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{8}{17} \right| = \left| 45 \frac{\text{см}}{\text{с}} - 32 \frac{\text{см}}{\text{с}} \right| = \boxed{13 \frac{\text{см}}{\text{с}}} - \text{ответ}$$

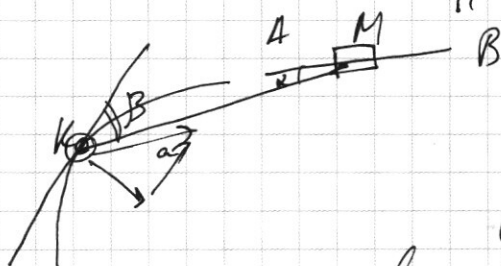
3) Рассмотрим кольцо



~~Введем оси x и y (см. рис.)~~

~~Если нет силы трения:~~

~~II закон Ньютона выполняется на АВ:~~



Т.к. кольцо движется по окружности, компонента

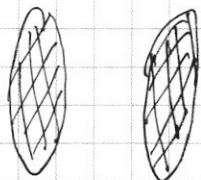
ускорения, направленная к центру,

равна $a_{\text{ц.с}} = \frac{v_k^2}{R}$

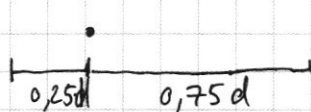
~~Поэтому $mg \sin \alpha = m \frac{v_k^2}{R}$~~

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №3



- 1) Поскольку внутри обкладок в каждой точке напряжённость E постоянна и одинакова, на заряд внутри всё время действует $F = \text{const} = Eq$, и ускорение $a = \frac{F}{m}$ постоянно



Значит, $\frac{aT^2}{2} = d(1 - 0,25)$
(пройденное к моменту вылета расстояние)

$$\frac{aT^2}{2} = \frac{3}{4}d$$

$$a = \frac{3}{2} \frac{d}{T^2}$$

$$v_1 = aT = \frac{3}{2} \frac{d}{T} = \boxed{\frac{3d}{2T}} - \text{ответ}$$

- 2) Найти напряжённость электрического поля внутри обкладок:

$$E = \frac{Q}{\epsilon_0 S} \quad (\epsilon = 1, \text{ т.к. всё в вакууме})$$

(электрическая проницаемость среды)

$$\Rightarrow F = \frac{qQ}{\epsilon_0 S}$$

на заряд

$$a = \frac{qQ}{\epsilon_0 S \cdot m} = \gamma \cdot \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

$$a = \frac{3}{2} \frac{d}{T^2} \Rightarrow \frac{3}{2} \frac{d}{T^2} = \gamma \cdot \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

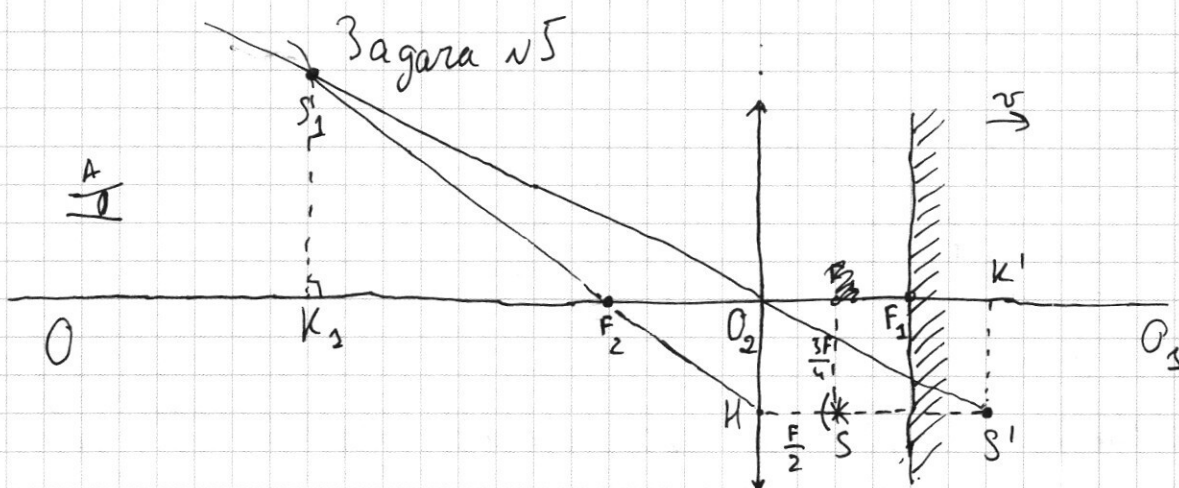
(из п. 1)

$$\Rightarrow \cancel{Q = \frac{3d}{2T^2 \epsilon_0 S}}$$

$$\boxed{Q = \frac{3d \epsilon_0 S}{2T^2 \gamma}} - \text{ответ}$$

3) Т.к. вне конденсатора ~~и~~ напряженность
 электрического поля, создаваемая облаками, равна 0
 (положительно заряженная и отрицательно заряженная
 облака компенсируют друг друга, т.к. поверхностная
 плотность заряда на них σ и $-\sigma$), на частицу
 после вылета ~~не будет~~ ~~действовать~~ поле
 действует суммарная сила, равная 0 $\Rightarrow a = 0 \Rightarrow$
 скорость не меняется $\Rightarrow v_2 = v_1 = \frac{3d}{2T}$ - ответ

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- 1) Построим изображение источника, создаваемое зеркалом.

По пути S' : $SS' \perp$ зеркалу, расстояние от S' до зеркала равно расстоянию от S до зеркала = $F - \frac{F}{2} = \frac{F}{2}$

(S' симетрична S отн. зеркала)

Построим теперь изображение S' — точку S'' —

это перекисные $S'O_2$ (см. рис.) и HF_2 (см. рис.)

Конусная точка S_1 .

(F_2 - грохот, через него
прокачивают после выгрузки
перевалочные вагоны)

Найдём расстояние от S_1 до линзы — L :

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{L} + \frac{1}{S'H} \quad (S'H - \text{расст. от } S' \text{ до линзы})$$

$$S'K = \underline{3F}$$

$$L = \frac{1}{\frac{1}{F} - \frac{1}{\frac{3F}{2}}} = F \frac{1 \cdot \frac{3}{2}}{\frac{3}{2} - 1} = \boxed{3F}^2 \quad (\text{можно и посчитать по Кирхгофу})$$

- 2) Заметим, что, т.к. S_1 - пересечение $S'O_2$ и HF_2 , а HF_2 - постоянная прямая, S_1 движется по HF_2 , и скорость изображения направлена вдоль HF_2 .

Найдём теперь угол между $K_1 F_2$ и $O_2 O_1$. — α
 Выходим из S_1^* на O_2 перпендикуляр $S_1 K_1$, из
 R_2 $S' - S' K'$.

Т.к. $\triangle K_1 S_1 O_2 \sim \triangle K' S' O_2$, а $K' S' = \frac{3F}{4}$
 $S_1 K_1 = S' K' \cdot \frac{O_2 K_1}{O_2 K'} = \frac{3F}{4} \cdot \frac{3F}{\frac{3F}{2}} = \frac{3F}{2}$

$$K_1 F_2 = 3F - F = 2F$$

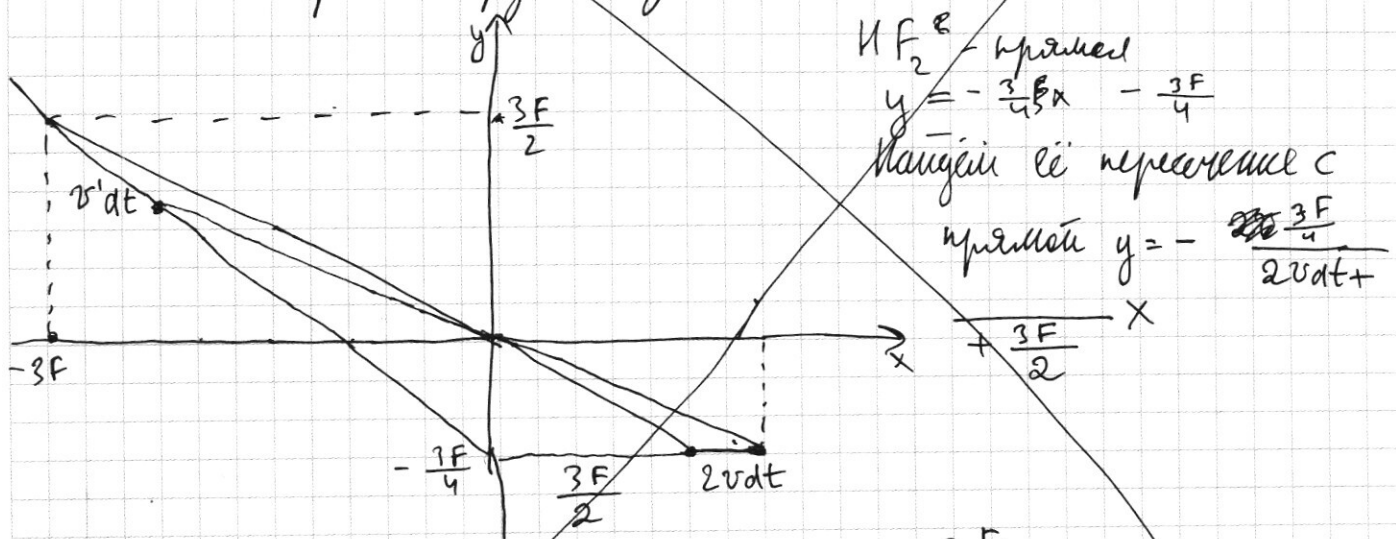
$$\Rightarrow \operatorname{tg} \angle S_1 F_2 K_1 = \frac{S_1 K_1}{K_1 F_2} = \frac{\frac{3F}{2}}{2F} = \frac{3}{4}$$

Откуда $\alpha = \arctg \frac{3}{4}$

3) Рассмотрим ситуацию после малого времени dt после
 этого момента

S' (изображение в зеркале) движется вверх
 на $2v dt$.

Рассмотрим координатную плоскость:



$$\begin{aligned}
 -\frac{3F}{4}x - \frac{3F}{4} &= -\frac{3F}{2vdt + \frac{3F}{2}}x + \frac{3F}{4} & x &= \frac{\frac{3F}{4}}{\frac{3F}{4} - \frac{3F}{2vdt + \frac{3F}{2}}} \\
 &= \frac{1}{\frac{1}{2vdt + \frac{3F}{2}} - \frac{1}{F}} = \frac{F(2vdt + \frac{3F}{2})}{-\frac{F}{2} - 2vdt} \\
 \text{субст. по оси } x & 3F - \frac{F(2vdt + \frac{3F}{2})}{\frac{F}{2} + 2vdt}
 \end{aligned}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№5 (продолжение)

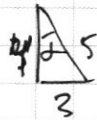
3) S' (изображение в зеркале) движется вправо со скоростью $2v$ параллельно OO_1 .

Значит, горизонтальная компонента скорости S_1 равна $2v \cdot \frac{O_2K}{O_2K_1} = 2v \cdot \frac{3F}{\frac{3F}{2}} = 4v$

Т.к. S_1 движется по прямой HF_2 ,

$$v_{S_1} = 4v \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{4v}{\frac{4}{5}} = 5v$$

$$(\cos \alpha = \frac{4}{5}, \text{ т.к. } \operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{4}) \text{ и } \alpha = 36.9^\circ$$

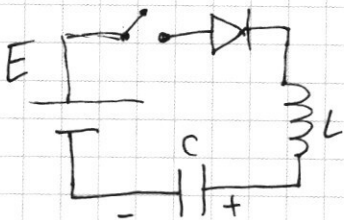


Ответ: 1) $L = 3F$

2) $\operatorname{tg} \alpha = \frac{3}{4}$

5) $v_{\text{изобр.}} = 5v$

Задача №4



1) Сразу после замыкания ключа:

Запишем сумму разностей потенциалов

для контура: $E - U_0 - U_L - U_C = 0$

$$U_L = E - U_C - U_0 \quad I' = \frac{U_L}{L} = \frac{E - U_C - U_0}{L}$$

$$I' = \frac{9\text{В} - 5\text{В} - 1\text{В}}{0,1\text{Гн}} = \frac{3\text{В}}{0,1\text{Гн}} = 30 \frac{\text{А}^2}{\text{с}}$$

3) Когда ток достигнет 1 A .

В этот момент через диод прекратит течь ток, когда напряжение на нем упадет до порогового. При этом U_1 будет равно 0.

Значит, U_2 в этот момент будет равно $E - U_0 = 9 \text{ В} - 1 \text{ В} = 8 \text{ В}$.

2) Запишем закон сохранения энергии:

Вспомогательно: $R_0 + \frac{I_{\text{max}}^2}{2} = \frac{C U_2^2}{2} + 0 \Rightarrow I_{\text{max}} = U_1 \sqrt{\frac{C}{L}} =$

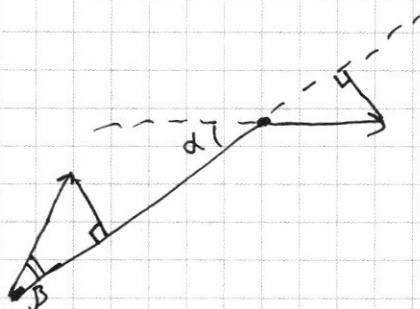
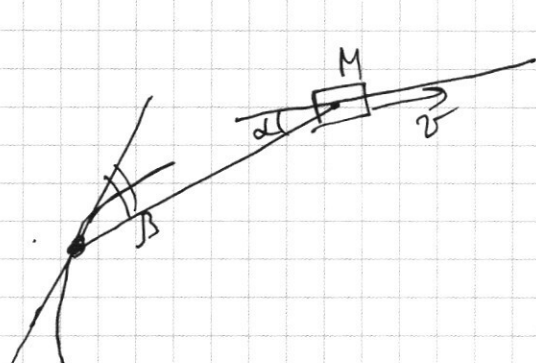
Ответ: 1) $I'_0 = 30 \frac{\text{A}}{\text{с}^2}$

2) $U_2 = 8 \text{ В}$.

2) $I_{\text{max}} = 0,1 \text{ A}$.

$$\begin{aligned} &= 5 \text{ В} \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}}{0,1 \text{ Гн}}} = \\ &= 5 \text{ В} \sqrt{4 \cdot 10^{-4}} = \\ &= 5 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ A} = \\ &= 0,1 \text{ A} \end{aligned}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

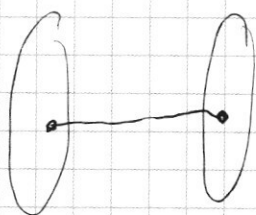
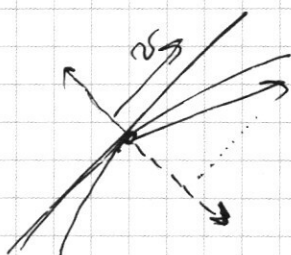


17-

32.2

152

225



$$E = \varepsilon_0$$

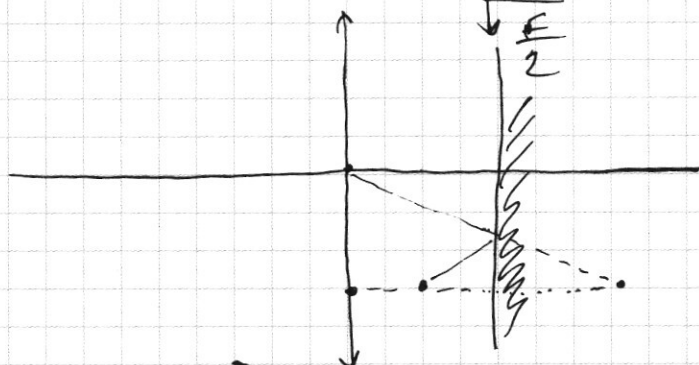
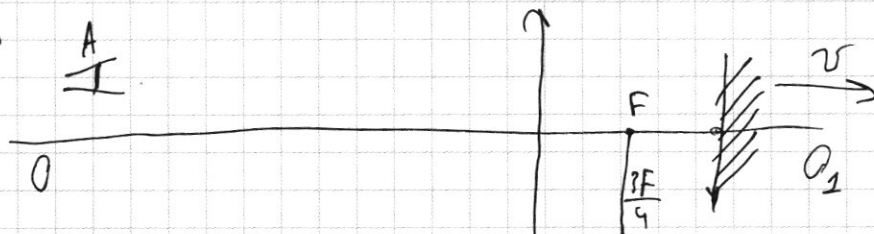
$$E = \text{const внутри}$$

$$\frac{K_1}{\frac{c^2 \cdot K_1^2}{m^3 \cdot K_1}} = \frac{m \cdot K_1}{c^2 \cdot K_1}$$

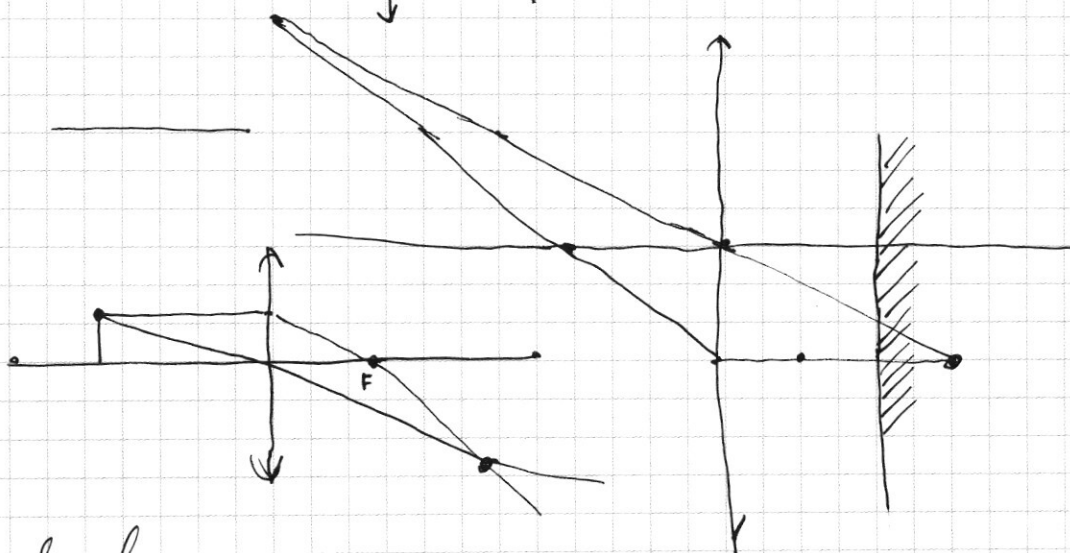
$$\frac{m}{c^2 \cdot \frac{c^2 \cdot K_1^2}{m^3 \cdot K_1}} = m^2$$

$$\frac{m \cdot \frac{c^2 \cdot K_1^2}{m^3 \cdot K_1} \cdot m^2}{\frac{c^2 \cdot K_1}{K_1}}$$

№5



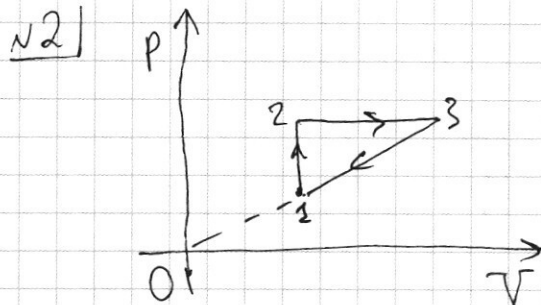
$$\frac{9}{4}F - \frac{3}{4}F$$



сумма векторов:

$$F \cdot \frac{5}{4}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Повышение температуры:

1 → 2 и 2 → 3

изохорный изобарный

$$\frac{C_{2-3}}{C_{1-2}} = \frac{C_p}{C_v} = \frac{\frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R} = \frac{5}{3}$$

2) Изобарный:

$C_{2 \rightarrow 3} : \Delta Q = \Delta A + \Delta U$

$$\Delta Q = p \Delta V + \frac{3}{2} \nu R \Delta T = p \Delta V + \frac{3}{2} \nu R \Delta \left(\frac{pV}{\nu R} \right) =$$

$$= p \Delta V + \frac{3}{2} p \Delta V$$

$$\Delta Q = A + \frac{3}{2} A$$

$$\Delta Q = \frac{5}{2} A$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{2}{5} = 0,4$$

3) $\eta = \frac{A}{Q_{in}}$. Пусть p_1, V_1 . $p_2, V_2 = V_1, p_3 = p_2$,
 $V_3 = p_2 V_1 \cdot \frac{p_2}{p_1}$

$$A = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) V_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) =$$

$$= \frac{1}{2} (p_2 - p_1)^2 \frac{V_1}{p_1}$$

$$Q_{in} = Q_{12} + Q_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{12} + \frac{5}{2} \nu R \Delta T_{2 \rightarrow 3} =$$

$$= \frac{3}{2} (p_2 - p_1) V_1 + \frac{5}{2} p_2 V_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right)$$

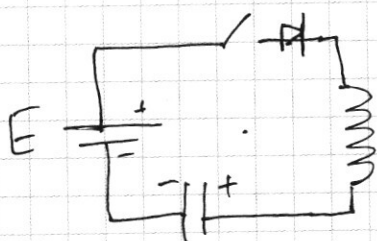
$$\eta = \frac{\frac{1}{2} (p_2 - p_1)^2 \frac{V_1}{p_1}}{\frac{3}{2} (p_2 - p_1) V_1 + \frac{5}{2} \frac{p_2}{p_1} V_1 (p_2 - p_1)} = \frac{(p_2 - p_1) \cdot \frac{1}{p_1}}{3 + 5 \frac{p_2}{p_1}} =$$

$$= \frac{\frac{p_2}{p_1} - 1}{3 + 5 \frac{p_2}{p_1}} \quad \text{Обозначим } \frac{p_2}{p_1} = x \quad \eta = \frac{x - 1}{3 + 5x}$$

$$\frac{x-1}{3+5x} = \frac{1}{5} \left\{ \frac{5x-5}{5x+3} = \frac{1}{5} \frac{5x+3-8}{5x+3} = \frac{1}{5} \left(1 - \frac{8}{5x+3} \right) \Rightarrow \right.$$

max
(средства) $\propto \frac{1}{5}$

N4

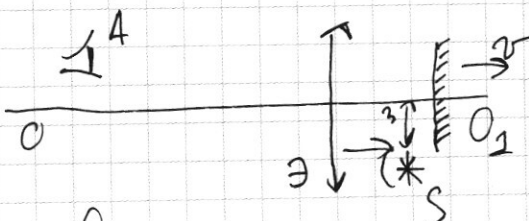


a) После замыкания

$$I' = \frac{U_L}{L} = \frac{E - U_1}{L} \quad ?$$

$$? \quad E = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

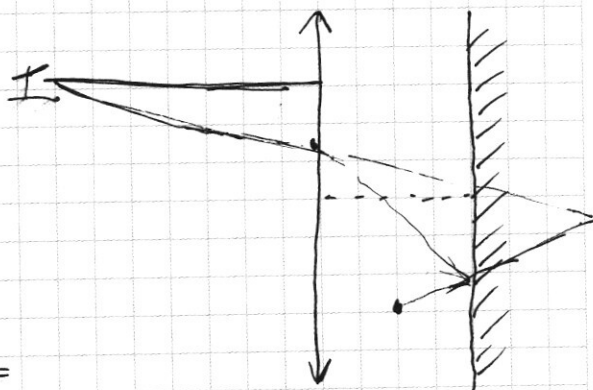
N5



$$C = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{dE}$$

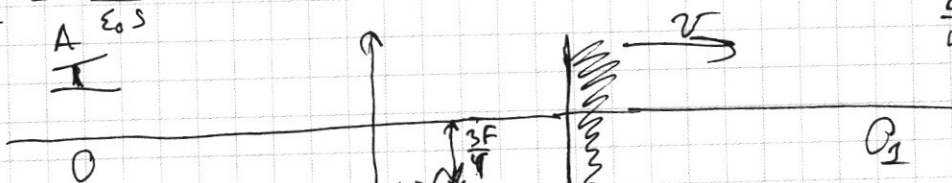
$$E = \frac{Q}{dC} = \frac{Q}{\epsilon_0 S}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot S}{d} \Rightarrow E =$$



$$\frac{\kappa \lambda}{\frac{c^2 \kappa \lambda^2}{4\pi^2 \kappa^2} \cdot \omega^2} =$$

$$= \frac{4\pi^2 \cdot \omega}{c^2 \cdot \kappa \lambda}$$



$$\kappa = \frac{\mu \cdot \kappa}{c^2}$$

$$\frac{\mu \cdot \kappa}{c^2} = \frac{\kappa \lambda^2}{\mu^2} \cdot \left(\frac{\mu^3 \cdot \kappa \lambda}{c^2 \cdot \kappa \lambda^2} \right)$$

$$\epsilon_0 : \frac{c^2 \cdot \mu \lambda^2 \kappa}{\mu^3 \cdot \kappa \lambda^2}$$

c

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

$$\epsilon = 1, \text{ т.к. вакуум}$$

$$E = Q \frac{\epsilon_0 d}{S \epsilon_0}$$

$$\frac{\mu \cdot \kappa}{c^2 \cdot \kappa \lambda} = \kappa \lambda \cdot \omega \cdot \frac{\kappa \lambda^2 \cdot c^2}{\mu^3}$$

$$\frac{\mu \cdot \kappa}{c^2} = \frac{\kappa \lambda^2}{\mu^2} \cdot \left(\frac{\mu^3 \cdot \kappa \lambda^2 \cdot c^2}{\kappa \lambda^2 \cdot c^2} \right)$$

$$\epsilon = \frac{\kappa \lambda^2 \cdot c^2}{\mu^3}$$