

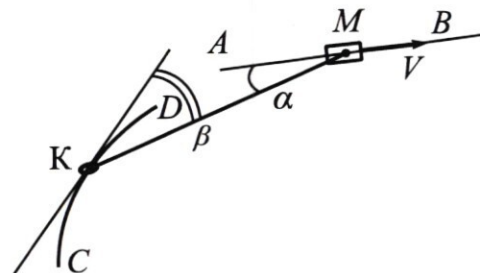
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

Вариант 11-01

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

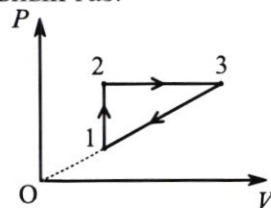
1. Муфту М двигают со скоростью $V = 68$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 0,1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,9$ м. Кольцо и муфта связаны легкой нитью длиной $l = 5R/3$. Система находится в одной горизонтальной 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.



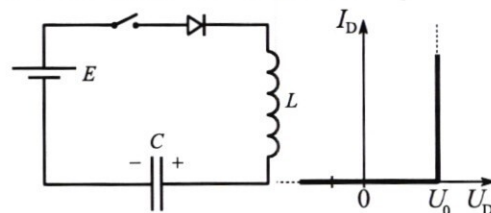
3. Обкладки конденсатора – круглые металлические сетки площадью S , расстояние между обкладками d ($d \ll \sqrt{S}$). Из точки, находящейся между обкладками на оси симметрии на расстоянии $0,25d$ от положительно заряженной обкладки, стартует с нулевой начальной скоростью положительно заряженная частица 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.

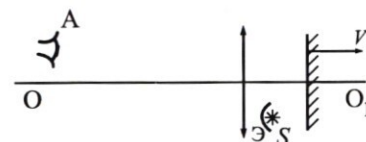
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ 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.

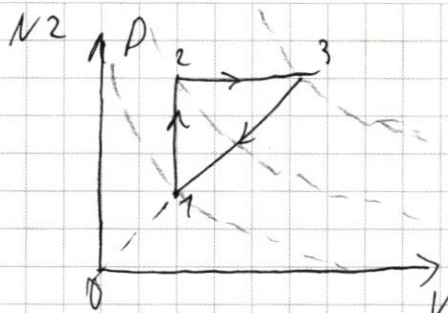


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник 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 происходит в процессах 1-2 и 2-3, т.к. изотерма проходящая через точку 3 выше, чем проходящая через точку 2; а изотерма, проходящая через точку 2 выше, чем через точку 1.

Пусть C_{12} - молярная теплоемкость в процессе 1-2, C_{23} - молярная теплоемкость в процессе 2-3.

Процесс 1-2 изохорный $\Rightarrow A = 0$

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

$$\begin{aligned} \text{Процесс 1-2 изобарный} \Rightarrow Q_{23} &= \nu C_{23} (T_3 - T_2) = \Delta U_{23} + A_{23} = \\ &= \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + P \Delta V = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + P(V_3 - V_2) = \\ &= \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2) + \nu R (T_3 - T_2) = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2) \Rightarrow C_{23} = \frac{5}{2} R \end{aligned}$$

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

2) U_3 п.1) $Q_{23} = \frac{5}{2} \nu R (T_3 - T_2)$; $A_{23} = \nu R (T_3 - T_2)$

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

3) $\eta = \frac{\sum A}{\sum Q} = \frac{A_{23} + A_{31}}{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}$; в процессе 3-1 $P = \text{const}$

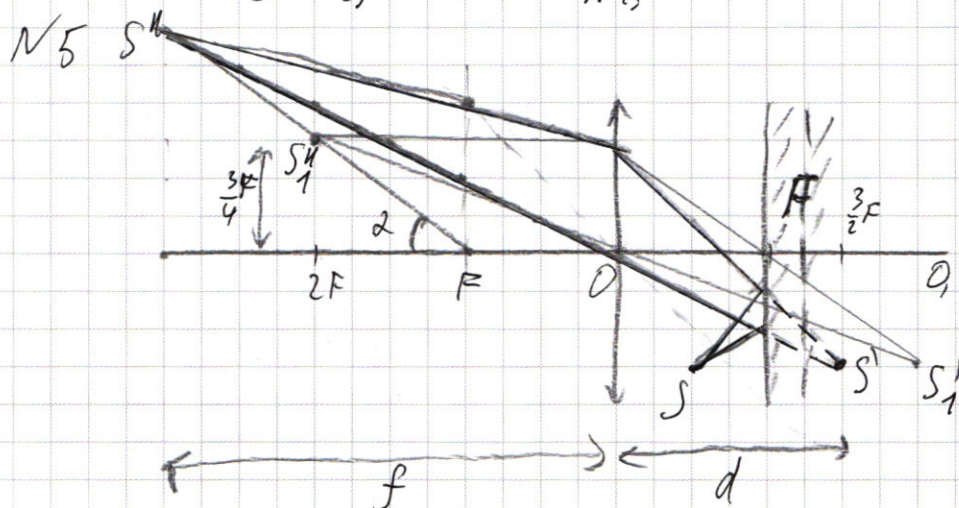
$$\begin{aligned} A_{31} &= -\int_{V_3}^{V_1} P dV = -P(V_1 - V_3) = P(V_3 - V_1) = \frac{P_1 V_1 + P_3 V_1 - P_1 V_3 - P_3 V_3}{2} = \\ &= \frac{P_1 V_1 - P_3 V_3 + 2V_3 V_1 - 2V_3 V_1}{2} = \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_3) \end{aligned}$$

$$Q_{31} = \Delta U_{31} + A_{31} = \frac{3}{2} \nu R (T_1 - T_3) + \frac{1}{2} \nu R (T_1 - T_3) = \nu R (T_1 - T_3) \Rightarrow$$

$$\eta = \frac{\Delta R(T_3 - T_2) + \frac{1}{2} \Delta R(T_1 - T_3)}{\frac{3}{2} \Delta R(T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \Delta R(T_3 - T_2) + 2 \Delta R(T_1 - T_3)} = \frac{T_3 - T_2 + \frac{1}{2} T_1 - \frac{1}{2} T_3}{\frac{3}{2} T_2 - \frac{3}{2} T_1 + \frac{5}{2} T_3 - \frac{5}{2} T_2 + 2 T_1 - 2 T_3} =$$

$$= \frac{\frac{1}{2} T_3 + \frac{1}{2} T_1 - T_2}{\frac{1}{2} T_3 + \frac{1}{2} T_1 - T_2} = 1 \Rightarrow 100\%$$

Ответ: 1) $\frac{C_{12}}{C_{23}} = \frac{3}{5}$; 2) $\frac{Q_{23}}{A_{23}} = \frac{5}{2}$; 3) $\eta_{\text{max}} = 100\%$.



1) Сначала лучи S отражаются от зеркала, образует в нём изображение ~~предмета~~ S' на расстоянии $d = F + \frac{F}{2} = \frac{3}{2} F$ от линзы, которое станет предметом для линзы

По формуле тонкой линзы: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$; где f - расстояние до конечного изображения $S'' \Rightarrow f = \frac{dF}{d-F} = \frac{3 \times \frac{3}{2} F^2}{0,5 F} = 3F$

2) Т.к. зеркало движется по прямой $\Rightarrow$ изображение предмета S' также движется по прямой, а значит и изображение S'' должно двигаться по прямой. Сдвинем зеркало на $\frac{F}{4}$ вправо, найдём новое изображение предмета S'_1 , проведем прямую $S''S'_1$ до пересечения с OO_1 , из рисунка $\tan \angle = \frac{\frac{3}{4} F}{F} = \frac{3}{4}$

3) Если зеркало движется со скоростью v , то изображение S' движется со скоростью $2v$; пусть

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Пусть v — скорость изображения S'' ; $v_{||}$ — её продольная составляющая (т.е. $v_{||} = v \cos \alpha$)

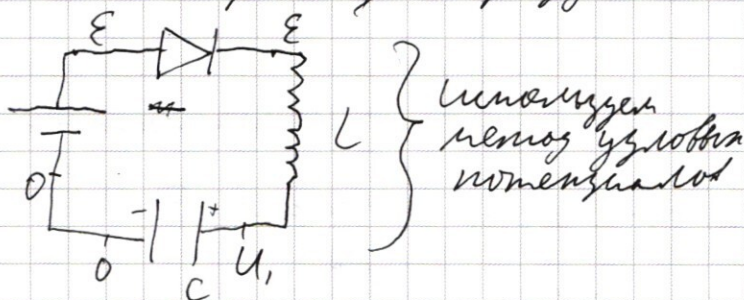
Продольные скорости изображения S'' и неподвижного предмета S' относятся как Γ^2 , где $\Gamma = \frac{f}{d}$

$$\Rightarrow v_{||} = 2v\Gamma^2 = \frac{2vf^2}{d^2} = \frac{8v}{5} = 2v \left(\frac{3F}{\frac{3}{2}F} \right)^2 = 8v$$

$$\Rightarrow v = v_{||} \cos \alpha = \frac{8v \cdot 4}{5} = 6,4v$$

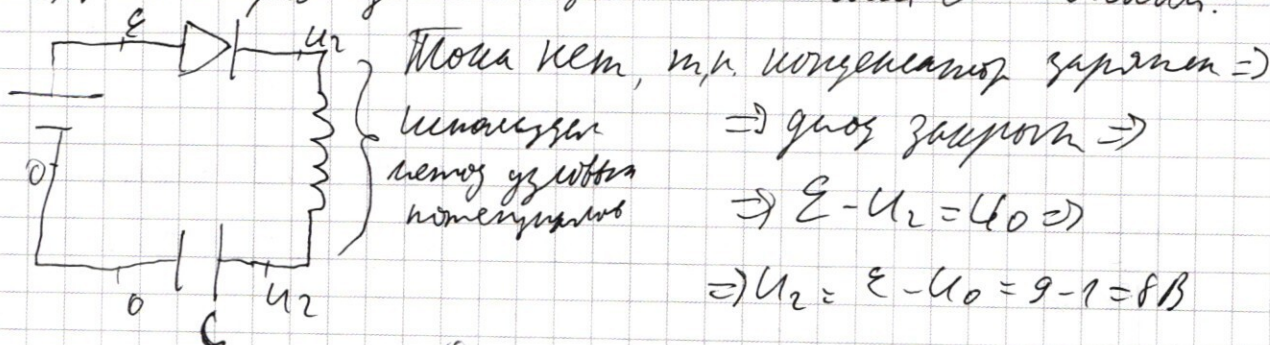
Ответ: 1) $3F$; 2) $\tan \alpha = \frac{3}{4}$; 3) $6,4v$.

№4 1) Рассмотрим цепь сразу после замыкания ключа

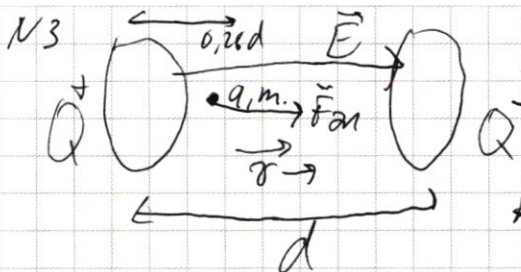


Напряжение на катушке $E - U_1 = LI' \Rightarrow I' = \frac{E - U_1}{L} =$
 $= \frac{9 - 5}{0,1} = 40 \frac{\text{В}}{\text{Гн}}$

3) Рассмотрим цепь в установившемся состоянии.



Ответ: 1) 40; 2) 3) 8 В.



3) П.к. величина заряда
одинакова, значит,
напряженность поля вне
конденсатора равна нулю $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ на частицу не будут действовать внешние силы, но если
она приобретет скорость v ,

1) по 2 закону Ньютона.

$$\vec{F}_{el} = m\vec{a}$$

$$Eq = ma \Rightarrow a = \frac{Eq}{m} = E\gamma$$

$$v_1 = aT = E\gamma T$$

Пусть $S = 0,75d$ - перемещение частицы, тогда

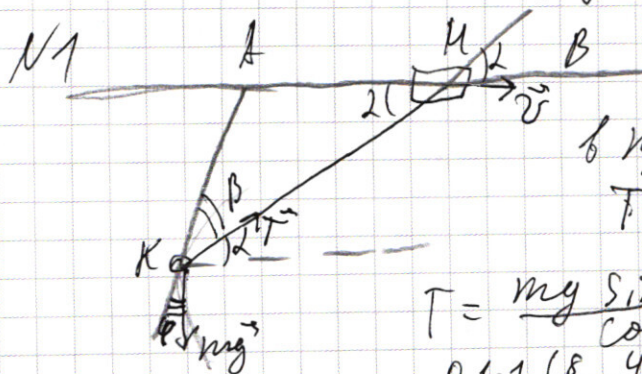
$$S = \frac{aT^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2S}{T^2} = \frac{1,5d}{T^2}$$

$$\Rightarrow v_1 = aT = \frac{1,5d}{T}$$

$$2) a = E\gamma = \frac{1,5d}{T^2} \Rightarrow E = \frac{1,5d}{T^2\gamma} - \text{напряженность всего}$$

поля $\Rightarrow$ напряженность одной пластины $E_0 = \frac{E}{2} =$
 $= \frac{0,75d}{T^2\gamma} ; E_0 = \frac{Q}{2\epsilon_0 S} \Rightarrow Q = \frac{1,5d\epsilon_0 S}{T^2\gamma}$

Ответ: 1) $\frac{1,5d}{T}$; 2) $\frac{1,5d\epsilon_0 S}{T^2\gamma}$; 3) $\frac{1,5d}{T}$.



3) Напишем 2 закона Ньютона
в проекции на ось АК:

$$T \cos \beta = mg \cos(90 - (2 + \beta))$$

$$T = \frac{mg \sin(2 + \beta)}{\cos \beta} = \frac{mg (\sin 2 \cos \beta + \cos 2 \sin \beta)}{\cos \beta} =$$

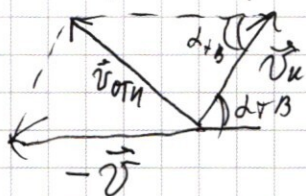
$$= \frac{0,1 \cdot 1 \left(\frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} + \frac{3}{5} \cdot \frac{16}{17} \right)}{\frac{4}{5}} = \frac{77,5}{4 \cdot 8517} = \frac{77}{68} \text{ Н}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1) Скорость кольца будет направлена по касательной к проволочке CD , но кольцо и нить M связаны нитью, так что скорости относительно нити одинаковы. Для нахождения скорости кольца спроектируем скорость нити на прямую нити, а затем еще раз спроектируем на касательную $AK \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_k = v \cdot \cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{0,04}{12} \cdot \frac{16}{5} \cdot 4 = 0,48 \text{ м/с} \Rightarrow 48 \text{ см/с}$$

2) По закону сложения скоростей:



v_{oth} по теореме косинусов

$$v_{oth}^2 = v^2 + v_k^2 - 2 \cdot v \cdot v_k \cdot \cos(\alpha + \beta)$$

$$\Rightarrow v_{oth} = \sqrt{v^2 + v_k^2 - 2 \cdot v \cdot v_k \cdot (\cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta)} =$$

$$= \sqrt{4624 + 2304 - 2 \cdot 68 \cdot 48 \cdot \left(\frac{16}{12} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{12} \cdot \frac{3}{5} \right)} \approx \sqrt{4624 + 2304 + 2764}$$

$$\approx \sqrt{9692} \approx 98 \text{ см/с}$$

Ответ: 1) 48 см/с; 2) 96 см/с; 3) $\frac{27}{68}$ Н.



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

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

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

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

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

$$A_{13} = \frac{Q}{R} (T_3 - T_1)$$

$$\frac{Q_{23}}{A_{13}} = \frac{5}{2}$$

$$\eta = \frac{\Sigma A}{\Sigma Q} = \frac{A_{23} + A_{31}}{Q_{12} + Q_{23} + Q_{31}}$$

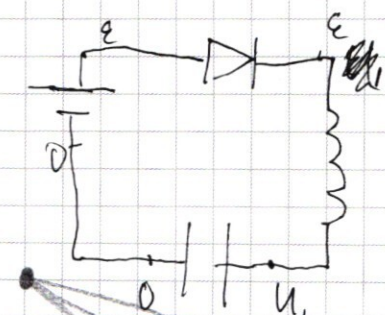
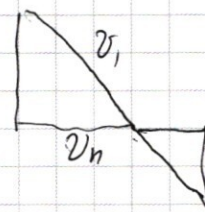
$$= \frac{\frac{Q}{R} (T_3 - T_2) + \frac{1}{2} \frac{Q}{R} (T_1 - T_3)}{\frac{3}{2} \frac{Q}{R} (T_2 - T_1) + \frac{5}{2} \frac{Q}{R} (T_3 - T_2) + \frac{1}{2} \frac{Q}{R} (T_1 - T_3)}$$

$$= \frac{T_3 - T_2 + \frac{1}{2} T_1 - \frac{1}{2} T_3}{\frac{3}{2} T_2 - \frac{3}{2} T_1 + \frac{5}{2} T_3 - \frac{5}{2} T_2 + 2 T_1 - 2 T_3} = \frac{\frac{1}{2} T_3 - T_2 + \frac{1}{2} T_1}{-T_2 + \frac{1}{2} T_1 + \frac{1}{2} T_3} = 1$$

$$A_{31} = \frac{P_3 + P_1}{2} \cdot (V_1 - V_3) =$$

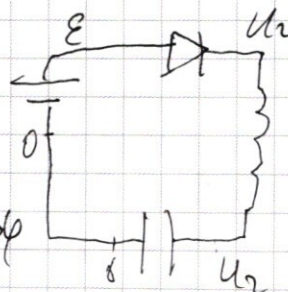
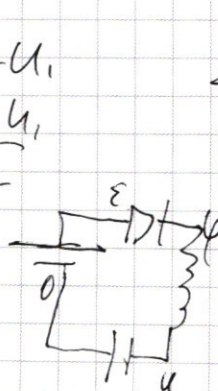
$$= \frac{\frac{1}{2} P_1 V_1 + \frac{1}{2} P_2 V_2 + P_2 V_2 - P_1 V_1 - \frac{1}{2} P_2 V_2}{2} =$$

$$= \frac{\frac{1}{2} P_1 V_1 - \frac{1}{2} P_2 V_2}{2} = \frac{1}{2} \frac{Q}{R} (T_1 - T_3)$$

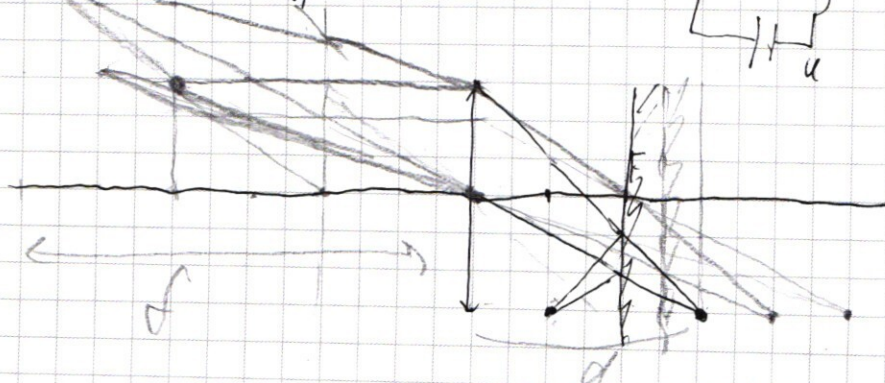


$$L \frac{dI}{dt} = E - U_1$$

$$I = \frac{E - U_1}{L}$$

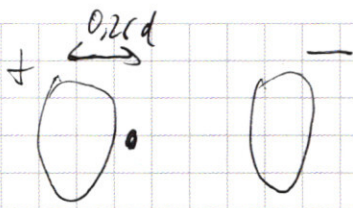


$$E - U_2 \leq 1$$



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

$$f = \frac{dF}{dF} = \frac{1.5F^2}{2F} = \frac{1.5F}{2}$$



$$F_2 = Eq = ma$$

$$v = aT = \frac{EqT}{m} = \frac{q^2 t}{\epsilon_0 S m}$$

$$E = \frac{q}{2\epsilon_0 S} = \frac{q}{2cd}$$

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

$$E = \frac{U}{d} = \frac{q}{Cd} = \frac{q}{\epsilon_0 S}$$

$$S = \frac{q^2 t^2}{2}$$

$$475 \text{ pF} = 47 \cdot 10^{-12} \text{ F}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta = \frac{12}{13} \cdot \frac{4}{5} - \frac{5}{13} \cdot \frac{3}{5} = \frac{60 - 15}{65} = \frac{45}{65} = \frac{9}{13}$$

$$F_2 = Eq = ma$$

$$v = aT = E \cdot T$$

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

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

$$\cos(90^\circ + (\alpha + \beta)) = +\sin(\alpha + \beta) = \frac{8 \cdot 4}{17 \cdot 5} + \frac{3 \cdot 16}{5 \cdot 17} = \frac{32}{85} + \frac{48}{85} = \frac{80}{85} = \frac{16}{17}$$

$$\begin{array}{r} 468 \\ \times 68 \\ \hline 3744 \\ 2808 \\ \hline 31824 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1445 \\ \times 1445 \\ \hline 5780 \\ 19840 \\ 144500 \\ \hline 2085025 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 92 \\ \times 95 \\ \hline 460 \\ 8280 \\ \hline 8690 \end{array}$$

$$S = \frac{q^2 t^2}{2}$$

$$a = \frac{25}{t^2}$$

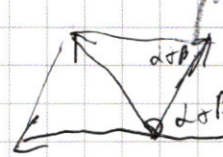
$$v_1 =$$

$$\begin{array}{r} 2764 \\ + 4624 \\ + 2304 \\ \hline 9692 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 234948 \\ - 170 \\ \hline 649 \\ - 556 \\ \hline 934 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 136 \\ \times 85 \\ \hline 680 \\ 11360 \\ \hline 11596 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 32 \\ \times 85 \\ \hline 160 \\ 2560 \\ \hline 2720 \end{array}$$

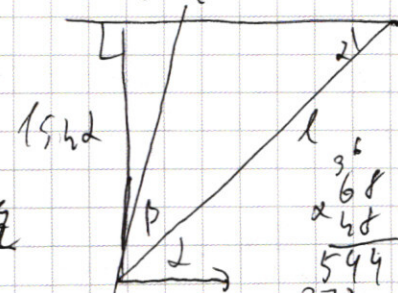


$$T \cos \beta = mg \cos(180^\circ - \beta - \alpha - 90^\circ)$$

$$T = \frac{77 \cdot mg \cdot 5}{4 \cdot 8517} = \frac{77}{68} \text{ H}$$

$$\begin{array}{r} 348 \\ \times 780 \\ \hline 27840 \\ 278400 \\ \hline 271820 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 3527 \\ \times 1600 \\ \hline 5643200 \end{array}$$



$$v \sin(\alpha + \beta) = l \sin \alpha$$

$$v \left(\frac{8}{17} \cdot \frac{4}{5} + \frac{3}{5} \cdot \frac{16}{17} \right) = \frac{5R \cdot 8}{3 \cdot 17}$$

$$\frac{77v}{45} = \frac{40R}{51}$$

$$v = \frac{1800R}{3527} = \frac{3420}{3527} = \frac{1140}{1309}$$

$$\frac{16 \cdot 14}{17 \cdot 5} - \frac{3 \cdot 8}{5 \cdot 17} = \frac{60 - 24}{85} = \frac{36}{85}$$

$$v \cos(\alpha + \beta) = v_m$$

$$v = \frac{v_m \cdot 85}{36} = \frac{68 \cdot 85}{36 \cdot 9} = \frac{1445}{9} \text{ m/c}$$

$$v' = \sqrt{v^2 - v_m^2} =$$

$$\begin{array}{r} 1314 \\ \times 6528 \\ \hline 818112 \\ 658560 \\ \hline 8616768 \end{array}$$



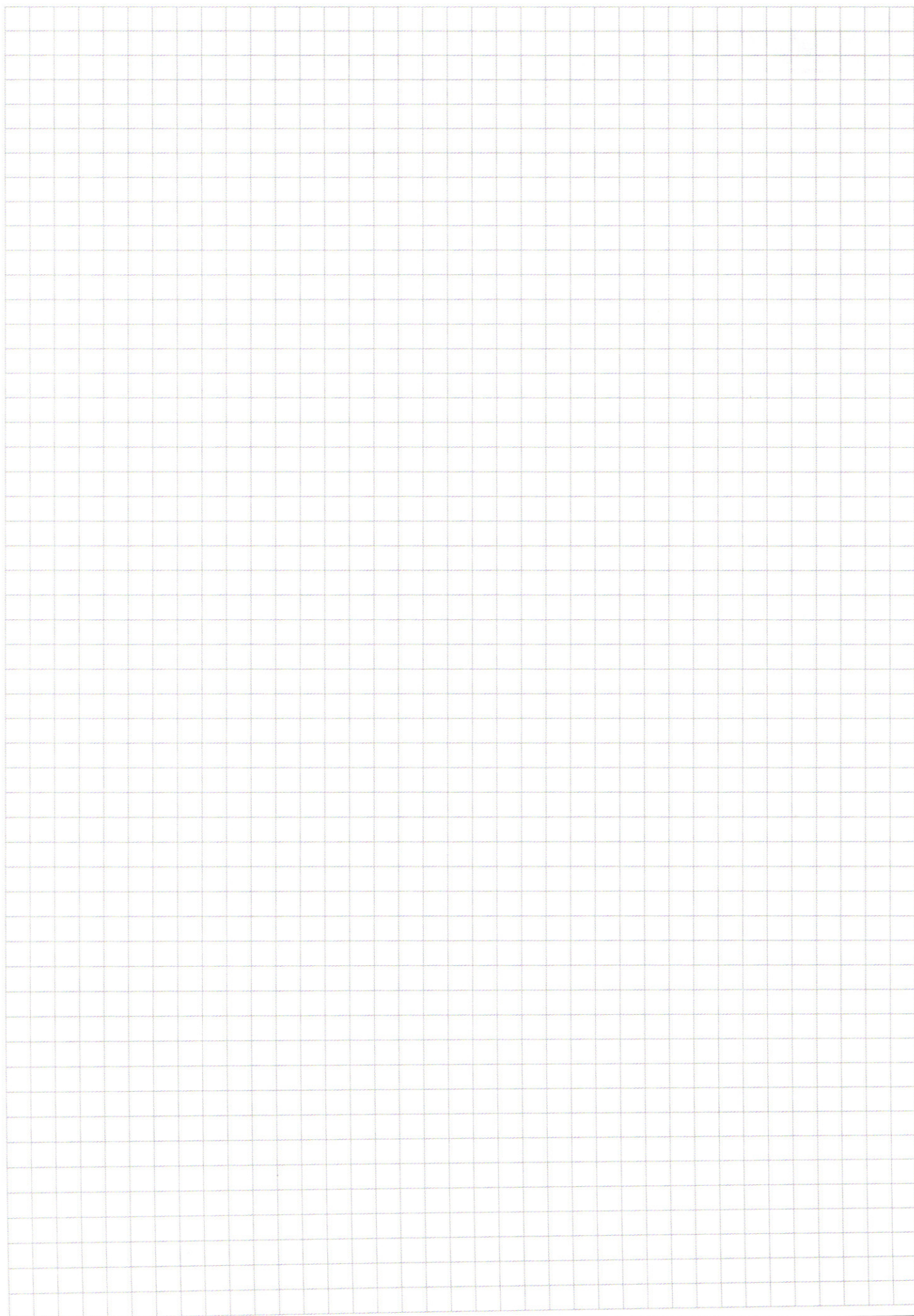
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«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)