

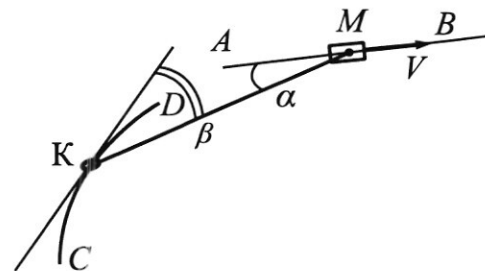
Олимпиада «Физтех» по физике,

Класс 11

Вариант 11-02

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

1. Муфту М двигают со скоростью $V = 40$ см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой $m = 1$ кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом $R = 1,7$ м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной $l = 17R/15$. Система находится в одной горизонтальной плоскости. В некоторый момент трос составляет угол α ($\cos \alpha = 3/5$) с направлением движения муфты и угол β ($\cos \beta = 8/17$) с направлением движения кольца.



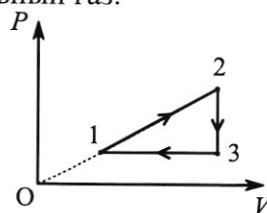
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения троса в этот момент.

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 количества теплоты, полученной газом, к работе газа.

3) Найти предельно возможное максимальное значение КПД такого цикла.

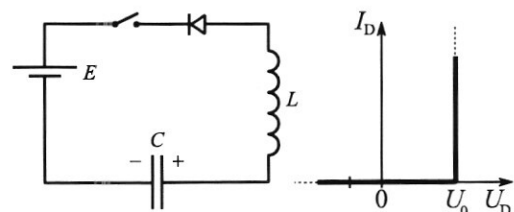


3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния d между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью V_1 и останавливается между обкладками на расстоянии $0,2d$ от положительно заряженной обкладки. Удельный заряд частицы $\frac{q}{m} = \gamma$.

- 1) Найдите продолжительность T движения частицы в конденсаторе до остановки.
- 2) Найдите напряжение U на конденсаторе.
- 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 $E = 3$ В, конденсатор емкостью $C = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 6$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,2$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$ В. Ключ замыкают.



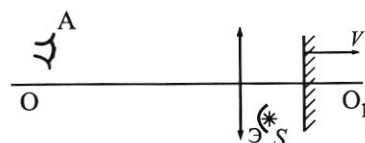
- 1) Найти скорость возрастания тока сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти максимальный ток после замыкания ключа.
- 3) Найти установившееся напряжение U_2 на конденсаторе после замыкания ключа.

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 плоскости $F/3$ от 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

N1

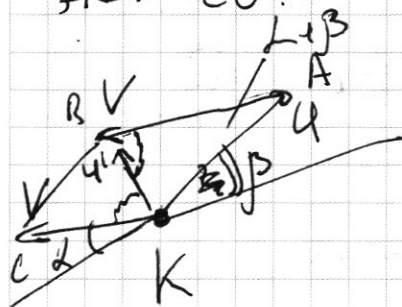
1) Т.к. трос нерастяжимый, то проекции
скоростей мушкетера и кобоя на ось троса
равны:

$$V \cos \alpha = U \cos \beta, \text{ где } U - \text{ скорость кобоя}$$

$$U = V \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = 40 \text{ м/с} \cdot \frac{3 \cdot 17}{5 \cdot 8} = \underline{51 \text{ см/с}}$$

2) Перейдем в СО мушкетера, тогда U' кобоя в

этой СО:



$$\cos \alpha \rightarrow \cos \beta$$

$$\cos \alpha = \frac{3}{5} \rightarrow \frac{1}{2} \rightarrow \frac{3}{17} = \cos \beta$$

$$\cos \alpha \rightarrow \cos \beta \Rightarrow \alpha < \beta$$

KA BC - параллелограмм

$$\angle CKB = \angle KBA \text{ (как углы смежные при AB и KC и BK - секущая)}$$

$$\angle ASK + \angle BKA = \angle SKA = 180^\circ - \alpha - \beta \Rightarrow \angle KAB = \alpha + \beta$$

По Теореме косинусов:

$$U'^2 = U^2 + V^2 - 2UV \cos(\alpha + \beta)$$

$$U' = \sqrt{51^2 + 40^2 - 2 \cdot 51 \cdot 40 \left(\frac{3 \cdot 8}{5 \cdot 17} - \frac{4 \cdot 15}{5 \cdot 17} \right)}$$

$$= \sqrt{51^2 + 40^2 + \frac{36 \cdot 88 \cdot 513}{8 \cdot 17}}$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{3}{5} \right)^2} = \frac{4}{5}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \left(\frac{3}{17} \right)^2} = \sqrt{\frac{289 - 9}{289}} = \frac{16}{17}$$

$$\begin{array}{r} \frac{16}{17} \\ + \frac{16}{17} \\ \hline \frac{32}{17} \end{array}$$

U₁ (Прогонка)

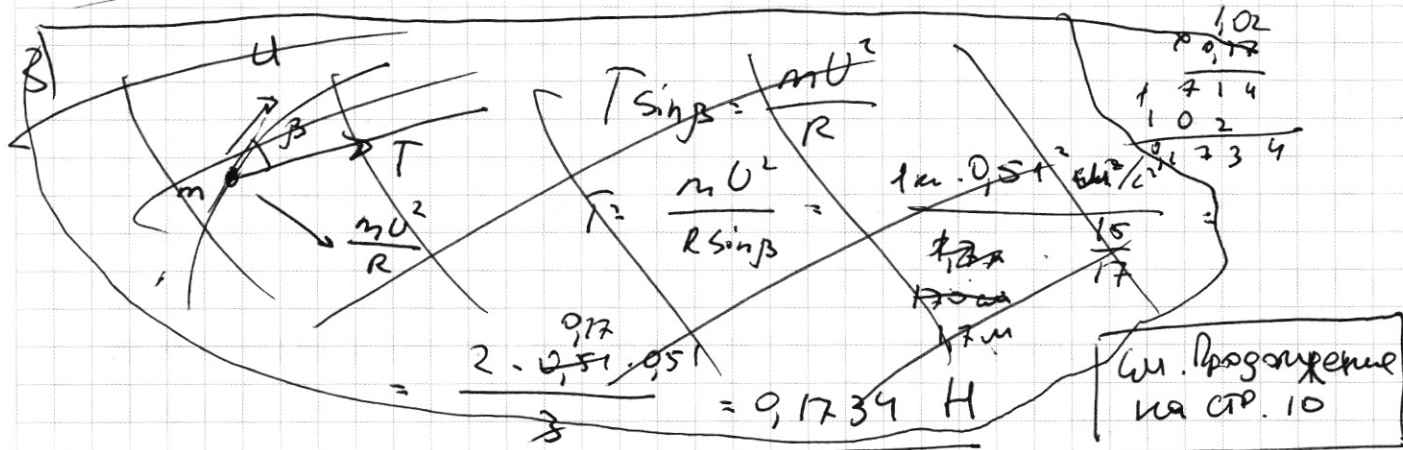
$$U' = \sqrt{51^2 + 4^2 + 36 \cdot 16 \cdot 3} = \sqrt{2601 + 1600 + 1728} = 77 \text{ м/с}$$

$$U' = 77 \text{ м/с}$$

$$\begin{array}{r} +51 \\ 51 \\ \hline 255 \\ 2601 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} +36 \\ 48 \\ \hline +288 \\ 144 \\ \hline 1728 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} +4201 \\ 1228 \\ \hline 5929 \end{array}$$



Ответ: 1) $U = 51 \text{ м/с}$; 2) $U' = 77 \text{ м/с}$; 3) $T = 0,1734 \text{ Н}$
3) $T = 0,78 \text{ Н}$

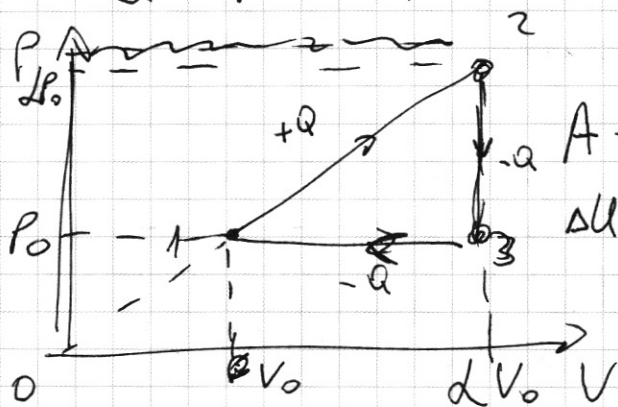
U₂

1) Потери температуры при проходе на участке 2-3 и 3-1: $C_{2-3} = C_V = \frac{1}{2} R = \frac{3}{2} R$ $i=3$ для одноатомного газа
 $C_{3-1} = C_P = C_V + R = \frac{5}{2} R$

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

Соотношение Майера

$$2) Q = A + \Delta U$$



$$A = V_0(k-1) \cdot \frac{P_0(1+d)}{2} = P_0 V_0 \frac{d^2-1}{2}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} P_0 V_0$$

$$T_1 = \frac{P_0 V_0}{P R}$$

$$T_2 = \frac{P_0 V_0 d^2}{P R}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1 = \frac{P_0 V_0}{P R} (d^2 - 1)$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{A + \Delta U}{A} = 1 + \frac{\Delta U}{A} = 1 + \frac{\frac{3}{2} P_0 V_0}{P_0 V_0 \frac{d^2-1}{2}} = 1 + 3 = 4$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

ν_2 (разогревание)

3) ~~$\eta = \frac{Q_2 + Q_p}{Q_2} = 1 + \frac{Q_p}{Q_2}$~~

A - площадь фигуры на графике
 $A = \frac{1}{2} V_0 (k-1) \cdot P_0 (k-1) = P_0 V_0 \frac{(k-1)^2}{2}$

$Q_{12} = 2 P_0 V_0 (k^2 - 1)$ (из пункта 2)

$Q_{23} = \Delta U_{23} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{23}$ ($A = 0$ т.к. изохора)

$T_3 = \frac{P_0 V_0 k}{\nu R}$

$\Delta T_{23} = \frac{P_0 V_0}{\nu R} (k - 1)$

$Q_{23} = \frac{3}{2} P_0 V_0 k (1 - k)$

$Q_{31} = A_{31} + \Delta U_{31}$

$A_{31} = \frac{P_0 V_0 (k-1)}{P_0 V_0 (1-k)}$

$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{31}$

$\Delta T_{31} = \frac{P_0 V_0}{\nu R} (1 - k)$

$\Delta U_{31} = \frac{3}{2} P_0 V_0 (1 - k)$

$Q_{31} = P_0 V_0 (1 - k) \cdot \frac{5}{2}$

~~$\eta = \frac{P_0 V_0 (k-1)^2}{P_0 V_0 \frac{(k-1)^2}{2}}$~~

$\eta = 1 + \frac{Q_{23} + Q_{31}}{Q_{12}} =$

$= 1 + \frac{\frac{3}{2} P_0 V_0 (1-k)k + P_0 V_0 (1-k) \cdot \frac{5}{2}}{2 P_0 V_0 (k^2 - 1)} =$

$= 1 + \frac{\frac{3}{2}k - \frac{3}{2}k^2 + \frac{5}{2} - \frac{5}{2}k}{2(k^2 - 1)} =$

$= \frac{2k^2 - 2 - k - \frac{3}{2}k^2 + \frac{5}{2}}{2(k^2 - 1)} =$

$= \frac{0,5k^2 - k + 0,5}{2(k^2 - 1)} = \frac{(k-1)^2}{2(k^2 - 1)} = \frac{k-1}{4(k+1)}$

~~$Q_{12} + Q_{23} + Q_{31} = 2 P_0 V_0 (k^2 - 1) + \frac{3}{2} P_0 V_0 k (1 - k) + \frac{5}{2} P_0 V_0 (1 - k)$~~
 ~~$= P_0 V_0 (2k^2 - 2 + \frac{3}{2}k - \frac{3}{2}k^2 + \frac{5}{2} - \frac{5}{2}k)$~~
 ~~$= P_0 V_0 (0,5k^2 - k + 0,5) = P_0 V_0 \frac{(k-1)^2}{2}$~~

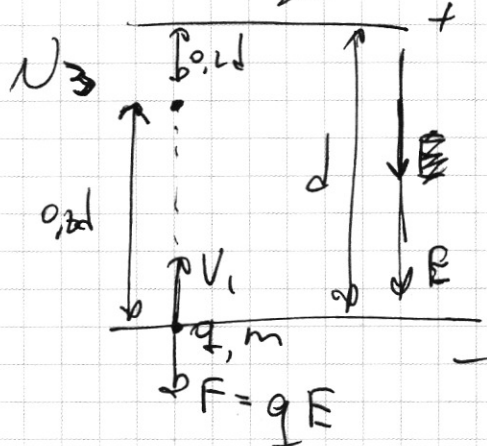
$$\eta = \frac{x-1}{4(x+1)} = f(x)$$

$$f'(x) = \frac{4(x+1) - 4(x-1)}{16(x+1)^2} = \frac{8}{16(x+1)^2} > 0$$

$\Downarrow$
 $f(x)$ — монотонно возрастающее
 $\Uparrow$

$$\eta_{\max} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{x-1}{4(x+1)} = 0,25 = 25\%$$

Ответ: 1) ~~$\frac{3}{5}$~~ ; 2) 4; 3) 25%.



Двебугно, что частица летела
 против поля, т.к. иначе
 она бы не остановилась

1) ЗЦЗ: $\frac{m v_1^2}{2} = A = q E d_{0,2} \Rightarrow E = \frac{v_1^2}{1,6 \frac{q}{m} d} = \frac{v_1^2}{1,6 d}$

$$T = \frac{v_1}{a} = \frac{v_1 \cdot 1,6 d}{v_1^2} = \frac{1,6 d}{v_1}$$

~~из~~

$$ma = F$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{q}{m} E = \frac{v_1^2}{1,6 d}$$

$$\boxed{T = \frac{1,6 d}{v_1}}$$

2) $U = q E d = \frac{v_1^2}{1,6}$

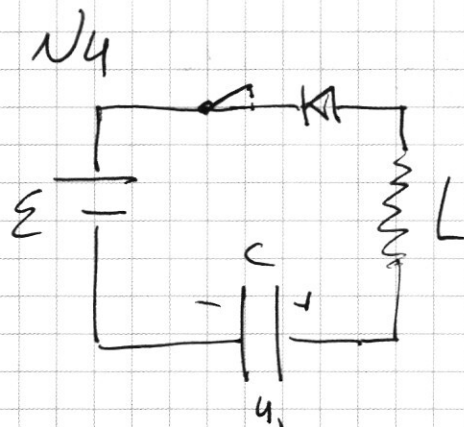
3) ЗЦЗ: $\frac{m v_0^2}{2} = q E \cdot 0,2 d \quad v_0^2 = 1,6 d E = v_1^2$

Вне конденсатора поле нет

$$\boxed{v_0 = v_1}$$

Ответ: 1) $\frac{1,6 d}{v_1}$; 2) $\frac{v_1^2}{1,6 d}$; 3) v_1

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



1) Сразу после замыкания ключа заряд с конденсатора останется U_0 (т.к. заряд не успеет перетечь)

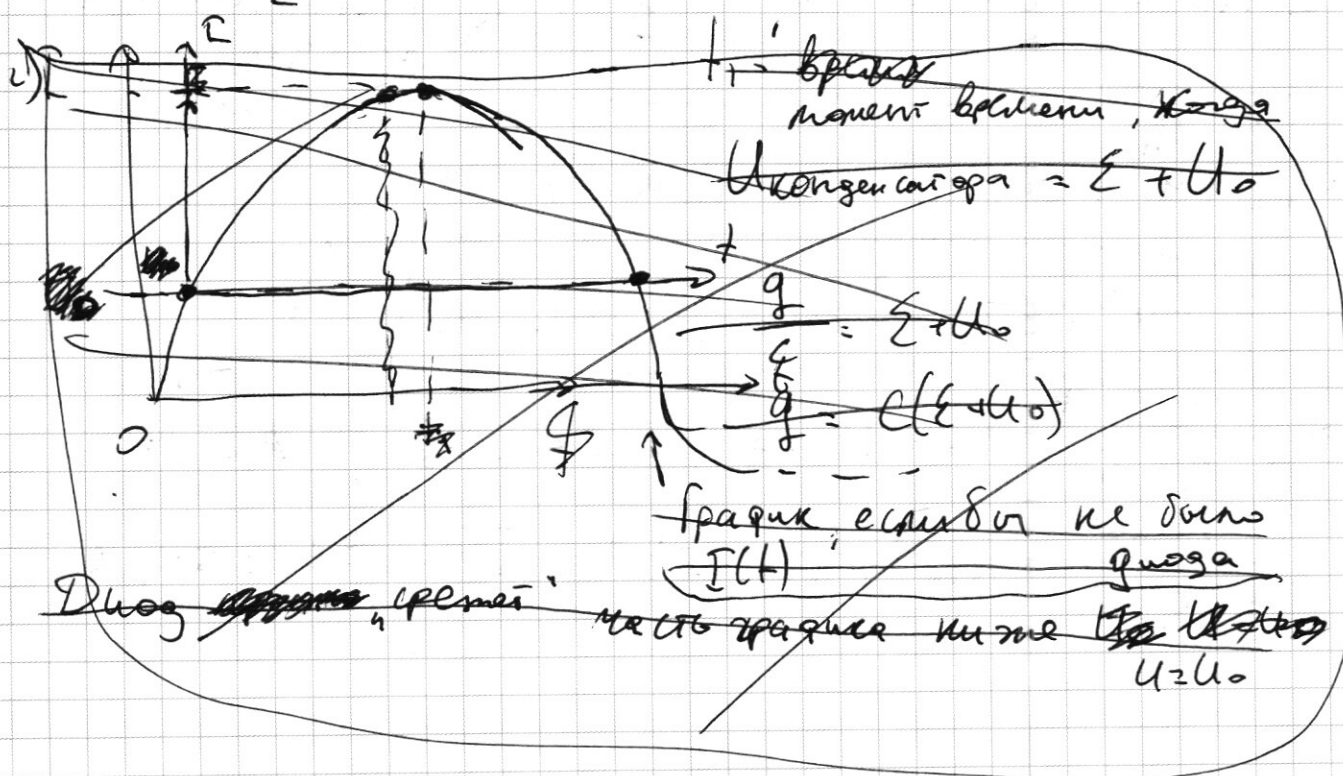
$$\varepsilon + L \dot{I} = U_0$$

$$\dot{I} = \frac{U_0 - \varepsilon}{L} = \frac{3\text{В}}{0,2\text{Гн}} = 15 \text{ А/с}$$

~~Так $U_0 = 3\text{В} > 1\text{В} = \varepsilon$, то на первом этапе не повышается~~

$$\varepsilon + L \dot{I} = U_0 \quad \text{или} \quad \dot{I} = \frac{U_0 - \varepsilon}{L} = \frac{2\text{В}}{0,2\text{Гн}} = 10 \text{ А/с}$$

Если на первом этапе напряжение будет $< U_0$, то ток не будет течь $\Rightarrow$ не будет скорости его возрастания



1) и (Прозвонение)

2) В момент, когда I - максимальный

$$I = 0$$

$\Rightarrow$ Напряжение на конденсаторе $\Rightarrow$

$$U_{\text{конденсатора}} = \varepsilon + U_0 = \frac{q}{C} \quad q = C(\varepsilon + U_0)$$

$$3C7: \frac{CU_1^2}{2} + A_{\text{бат}} = \frac{q^2}{2C}$$

$$A_{\text{батареи}} = \Delta q \varepsilon = C\varepsilon(U_1 - \varepsilon - U_0)$$

$$\Delta q = CU_1 - C(\varepsilon + U_0) = C(U_1 - \varepsilon - U_0)$$

$$\Rightarrow U_{\text{конденсатора}} = \varepsilon + U_0 = \frac{q}{C} \quad q = C(\varepsilon + U_0)$$

$$3C7: \frac{CU_1^2}{2} + A_{\text{бат}} = \frac{q^2}{2C} + \frac{LI_{\text{max}}^2}{2}$$

$$A_{\text{батареи}} = \Delta q \varepsilon = C\varepsilon(U_1 - \varepsilon - U_0)$$

$$\Delta q = CU_1 - C(\varepsilon + U_0) = C(U_1 - \varepsilon - U_0)$$

$$I_{\text{max}} = \sqrt{\frac{CU_1^2 + 2A_{\text{бат}} - \frac{q^2}{C}}{L}}$$

$$A = A_{\text{батареи}} + A_{\text{магн}}$$

$$A_{\text{магн}} = \Delta q U_0$$

$$A = \Delta q(\varepsilon + U_0) = C(\varepsilon + U_0)(\varepsilon + U_0 - U_1) = C(\varepsilon^2 + \varepsilon U_0 - \varepsilon U_1 + \varepsilon U_0 + U_0^2 - U_0 U_1)$$

$$= \sqrt{\frac{C}{2} (U_1^2 + \varepsilon U_1 - \varepsilon^2 - \varepsilon U_0 - (\varepsilon + U_0)^2)}$$

$$= \sqrt{\frac{C}{2} (U_1^2 + \varepsilon U_1 - \varepsilon^2 - \varepsilon U_0 - \varepsilon^2 - 2\varepsilon U_0 - U_0^2)}$$

$$= \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6}}{0,2 \text{ Гн}} \cdot (36 + 18 - 9 - 3 - 9 - 6 - 1 \cdot 9)} =$$

$$= \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6}}{0,2 \text{ Гн}} \cdot 26} = \sqrt{26 \cdot 10^{-4}} \text{ А} = \sqrt{26} \cdot 10^{-2} \text{ А} \approx 51 \text{ мА}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

U_1 (продолжение)

2)

$$I_{\max} = \sqrt{\frac{CU_1^2 + 2A - \frac{q^2}{c}}{1}} = \sqrt{\frac{c}{L} \cdot (U_1^2 + 7\varepsilon^2 + 4\varepsilon U_0 - 2\varepsilon U_1 + 7U_0^2 - 2U_1 U_0 - \varepsilon^2 - 2\varepsilon U_0 - U_0^2)}$$

$$= \sqrt{\frac{20 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}}{0,2 \text{ Гн}} \cdot (36 + 9 + 6 - 36 + 1 - 12) \text{ В}^2} =$$

$$= \sqrt{10^{-4} \cdot 4} \text{ А} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ А} = \underline{20 \text{ мА}}$$

3)

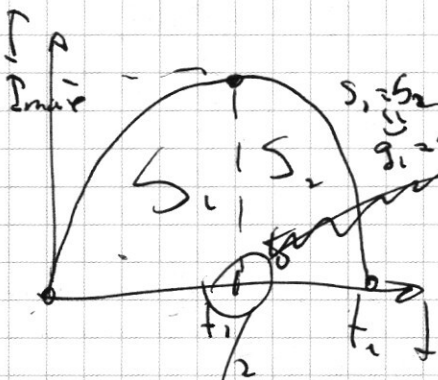


График симметричен относительно перпендикуляру к оси t в точке $t_{1/2}$

$$U_2 = U(t_{1/2}) - (U_1 - U(t_{1/2})) =$$

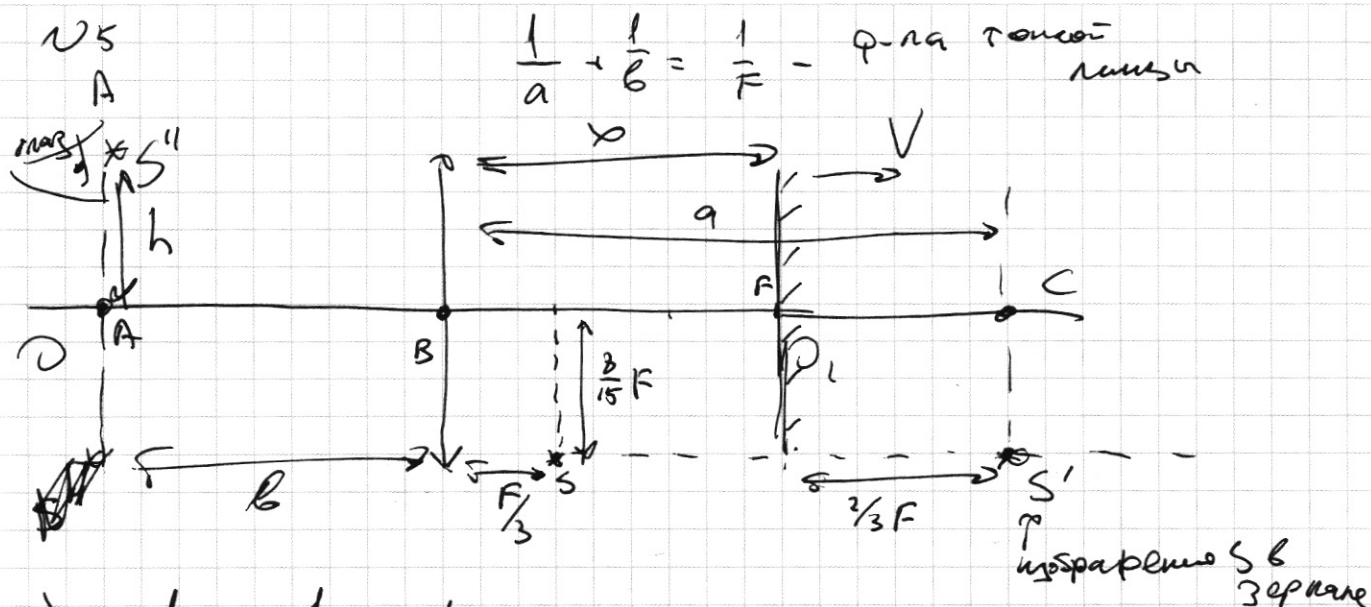
$$= 4 - (6 - 4) = 2 \text{ В}$$

$$U_2 = 2 \text{ В}$$

Ответ: 1) $\dot{I} = 10 \text{ А/с}$

2) $I_{\max} = 20 \text{ мА}$

3) $U_2 = 2 \text{ В}$.



$$1) \quad \frac{1}{\frac{F}{3}} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{F} - \frac{3}{F} \cdot \frac{1}{F} = \frac{2}{F5}$$

$$\boxed{b = 2.5F}$$

$t=0$ - момент времени, когда зеркало в фокусе

$$2) \quad \frac{1}{b(t)} = \frac{1}{F} - \frac{1}{a(t)}$$

$$b(t) = \frac{F \cdot a(t)}{a(t) - F}$$

$$\dot{b}(t) = \frac{F \cdot \dot{a}(t)(a(t) - F) - \dot{a}(t)(F \cdot a(t))}{(a(t) - F)^2} = \frac{F \cdot 2V(\frac{2}{3}F + 2Vt) - 2V(F(\frac{5}{3}F + 2Vt))}{(\frac{2}{3}F + 2Vt)^2} =$$

$$= \frac{\cancel{2VF} - 2VF^2}{(\frac{2}{3}F + 2Vt)^2}$$

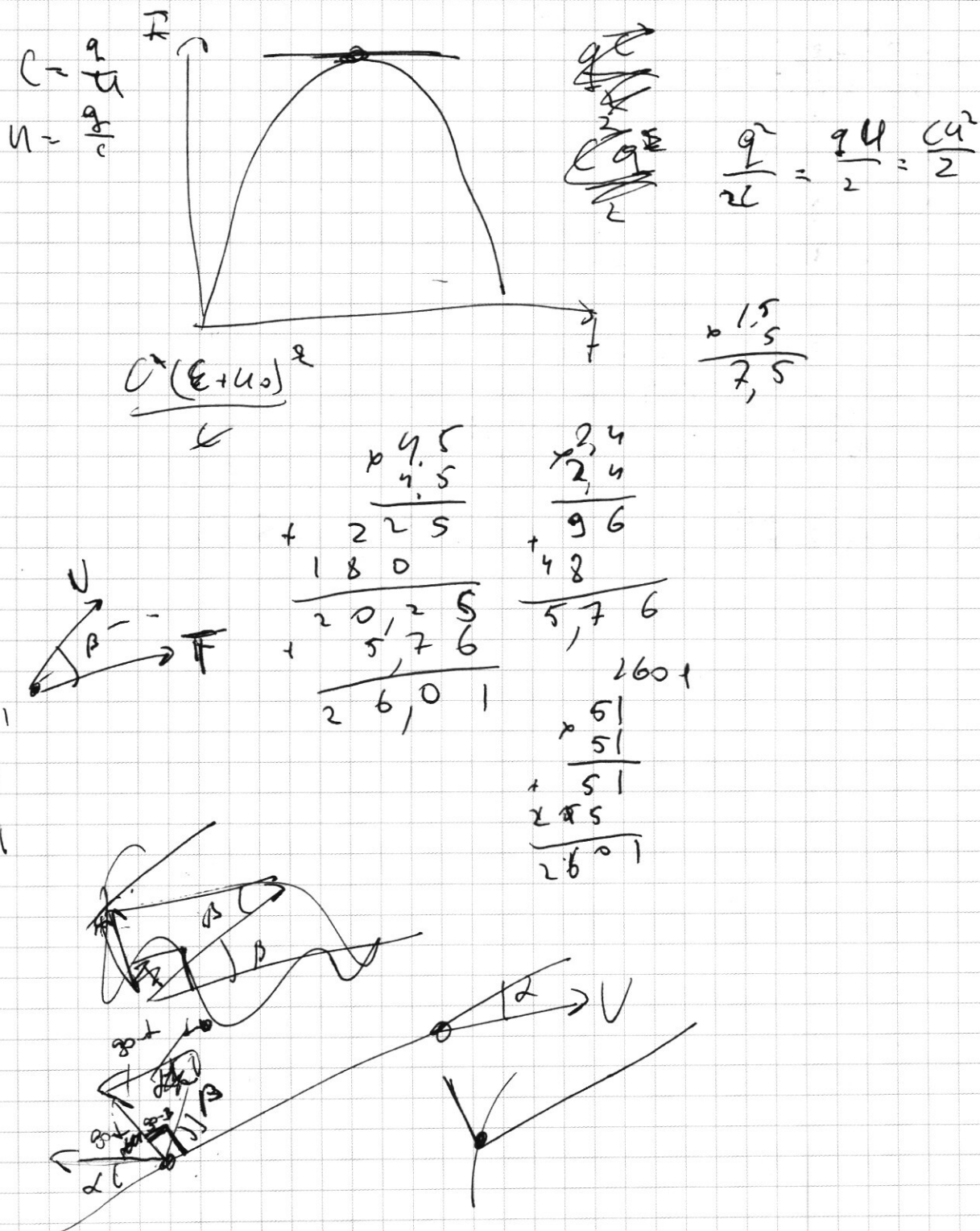
$\dot{b}(t)$ - тангенциальная скорость S'' от t .

$$\triangle S''AB \sim \triangle S'CB \Rightarrow \frac{S''A}{S'C} = \frac{AB}{BC} \Rightarrow h(t) = \frac{2}{15}F \frac{b(t)}{a(t)}$$

$$\dot{h}(t) = \frac{\frac{2}{15}F \dot{b}(t) a(t) - \frac{2}{15}F b(t) \dot{a}(t)}{(a(t))^2} = \frac{2}{15}F \frac{\dot{b}(t) a(t) - b(t) \dot{a}(t)}{a^2(t)}$$

$$\dot{h}(0) = \frac{2}{15}F \cdot \frac{\cancel{2VF} - 2VF^2}{(\frac{2}{3}F)^2} = \frac{2}{15}F \cdot \frac{-2VF^2}{\frac{4}{9}F^2} = \frac{2}{15}F \cdot \frac{-2V}{\frac{4}{9}} = \frac{2}{15}F \cdot \frac{-9V}{2} = -\frac{3}{5}FV$$

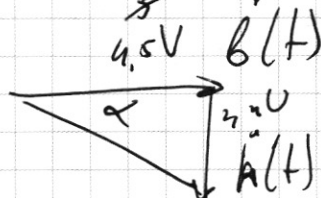
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



№6 (Резонанс)

$$\dot{b}(0) = \frac{-2V \cdot 5^2}{\frac{4}{3} \cdot 10^3} = -4,5V$$

$$\dot{h}(0) = \frac{8}{15} \cdot \frac{-4,5V \cdot \frac{5}{3} - 2,5 \cdot 2V}{\frac{25}{9} \cdot 10^3} = \frac{8}{15} \cdot \frac{(-2,5 - 5) \cdot 9V}{25} =$$
$$= - \frac{8 \cdot 81 \cdot 12,5}{18 \cdot 25 \cdot 10} = -2,4V$$



$$\tan \alpha = \frac{2,4V}{4,5V} = \frac{24}{45} = \frac{8}{15}$$

3) По Теореме Пифагора:

$$V = \sqrt{\dot{h}^2 + \dot{b}^2} = \sqrt{4,5^2 + 2,4^2} = 5,1V$$

Ответ: 1) $2,5 \cdot 10^3$; 2) $\tan \alpha = \frac{8}{15}$; 3) $5,1V$

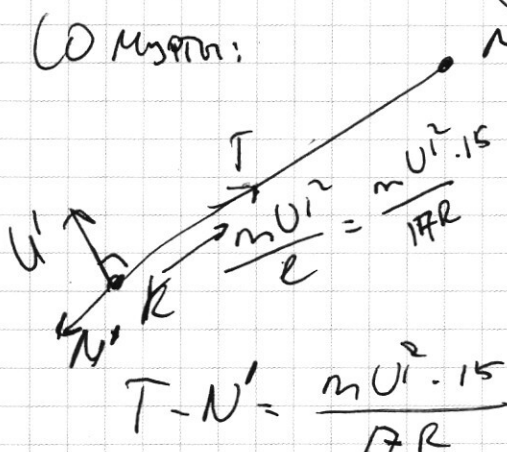
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

У1 (Продолжение)

3) Перелет у в СО муфты:

Кольцо движется ~~в~~ по окружности вокруг муфты со скоростью U' , а ~~кольцо~~ обеспечивается центростремительное ускорение: $(N - \text{реакция опоры кольца})$

СО муфты:

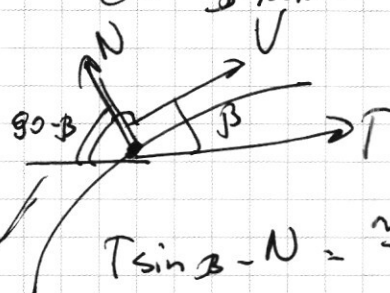


$$T - N' = \frac{mU'^2 \cdot 15}{17R}$$

$$N' = N \cdot \cos(90^\circ - \beta) = N \cdot \sin \beta$$

$$\begin{cases} T - N \sin \beta = \frac{mU'^2 \cdot 15}{17R} \\ T \sin \beta - N = \frac{mU^2}{R} \end{cases}$$

СО Земли:



$$T \sin \beta - N = \frac{mU^2}{R}$$

$$N = T \sin \beta - \frac{mU^2}{R}$$

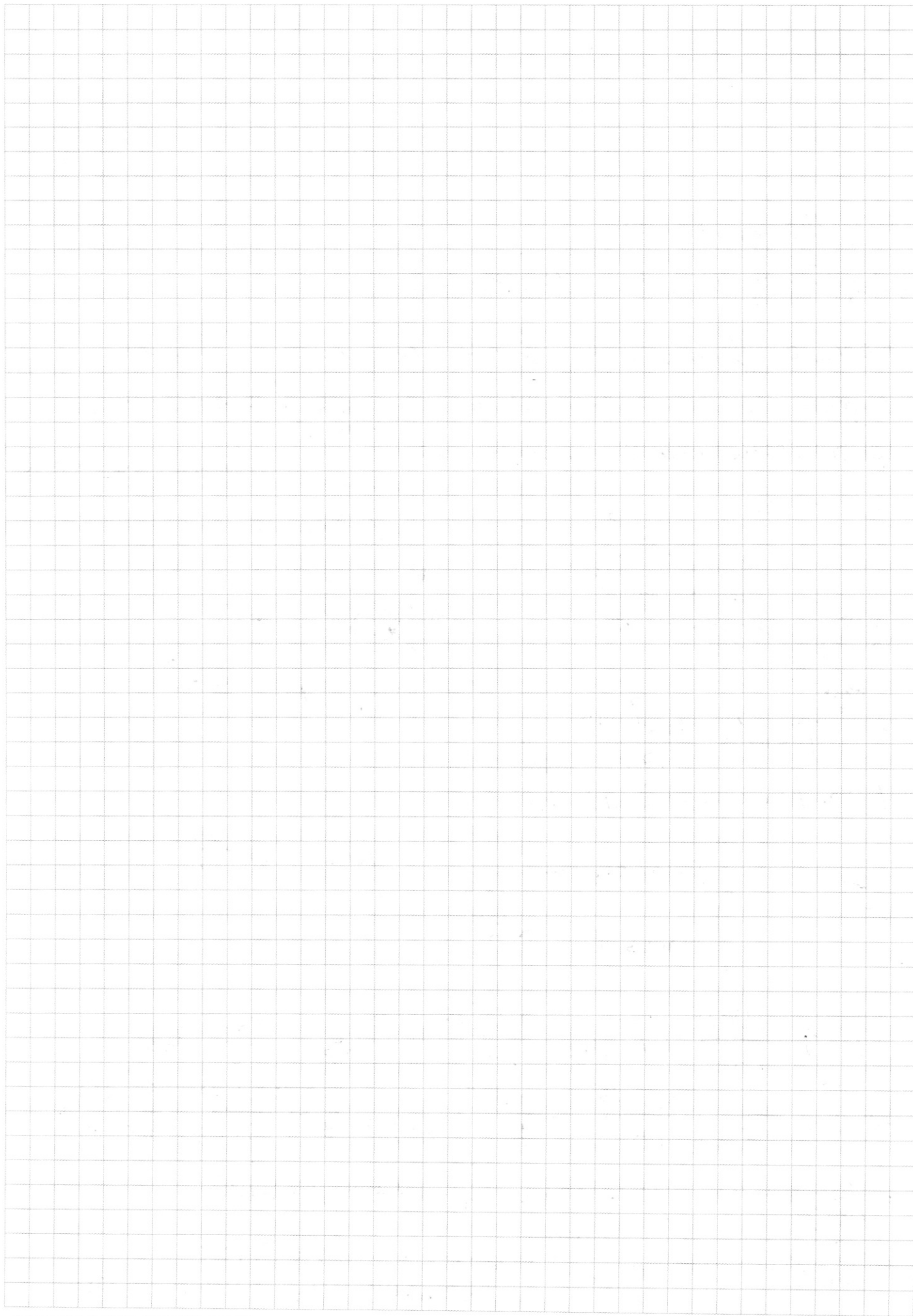
$$T = \frac{mU'^2 \cdot 15}{17R} + N \sin \beta = \frac{mU'^2 \cdot 15}{17R} + T \sin^2 \beta - \frac{mU^2}{R} \sin \beta$$

$$\approx T = \frac{1}{\cos^2 \beta} \left(\frac{mU'^2 \cdot 15}{17R} - \frac{mU^2}{R} \sin \beta \right) = \frac{17^2}{8^2} \left(\frac{0,77^2 \cdot 15}{17 \cdot 1,7} - \frac{0,51^2 \cdot 15}{1,7 \cdot 1,7} \right)$$

$$= \frac{1}{64} (0,77^2 \cdot 150 - 0,51^2 \cdot 150) = \frac{150}{64} \cdot (0,77 - 0,51) \cdot (0,77 + 0,51) =$$

$$\frac{150}{64} \cdot 0,26 \cdot 1,28 = \frac{150}{64} \cdot 0,26 \cdot \frac{1}{2} = 0,26 \cdot 3 = 0,78 \text{ Н}$$

Ответ: 1) $U = 51 \text{ км/с}$; 2) 77 км/с ; 3) $0,78 \text{ Н}$



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)