

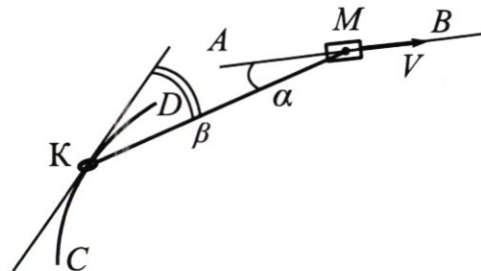
# Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 11

## Вариант 11-02

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

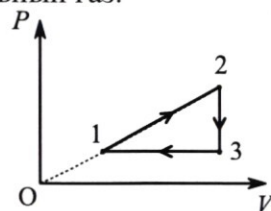
1. Муфту М двигают со скоростью  $V = 40$  см/с по горизонтальной направляющей АВ (см. рис.). Кольцо К массой  $m = 1$  кг может двигаться без трения по проволоке CD в виде дуги окружности радиусом  $R = 1,7$  м. Кольцо и муфта связаны легким тросом длиной  $l = 17R/15$ . Система находится в одной горизонтальной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

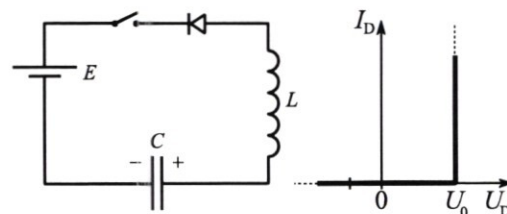


3. Обкладки конденсатора – квадратные металлические сетки, сторона квадрата во много раз больше расстояния  $d$  между обкладками. Положительно заряженная частица движется на большом расстоянии к конденсатору по оси симметрии, перпендикулярно обкладкам, влетает в него со скоростью  $V_1$  и останавливается 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.

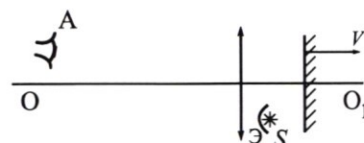
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника  $E = 3$  В, конденсатор емкостью  $C = 20$  мкФ заряжен до напряжения  $U_1 = 6$  В, индуктивность идеальной катушки  $L = 0,2$  Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода  $U_0 = 1$  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.

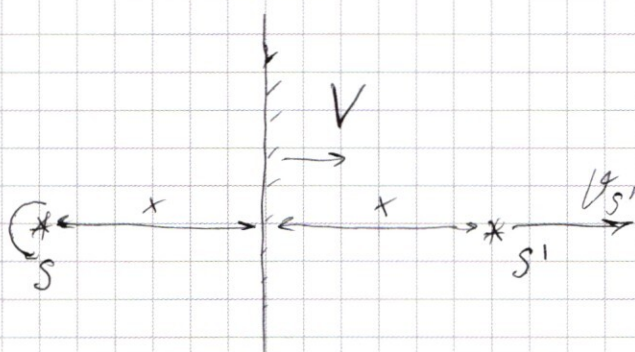
- 1) На каком расстоянии от плоскости линзы наблюдатель А сможет увидеть в этот момент изображение источника в системе?
- 2) Под каким углом  $\alpha$  к оси  $OO_1$  движется изображение в этот момент? (Найти значение любой тригонометрической функции угла.)
- 3) Найти скорость изображения в этот момент.





## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

З.~5 Рассмотрим отдельно изображение источника света в зеркале, так как известно изображение зеркала даст изображение в линзе.

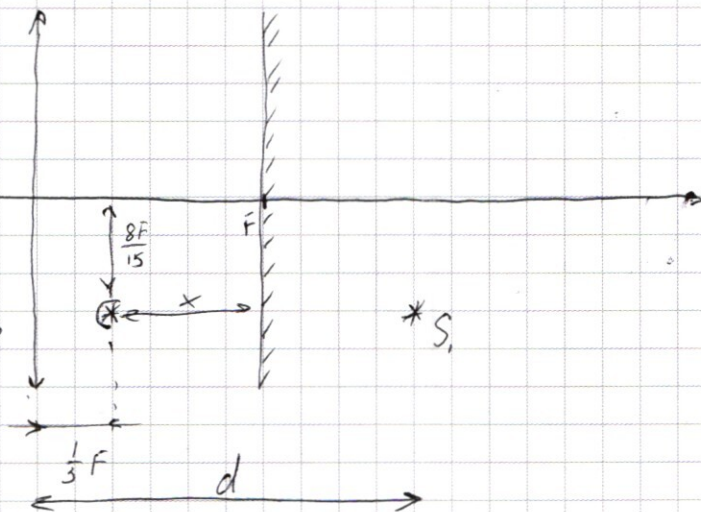


$$V_{S'} = 2V$$

$$x = F - \frac{F}{3} = \frac{2}{3}F$$

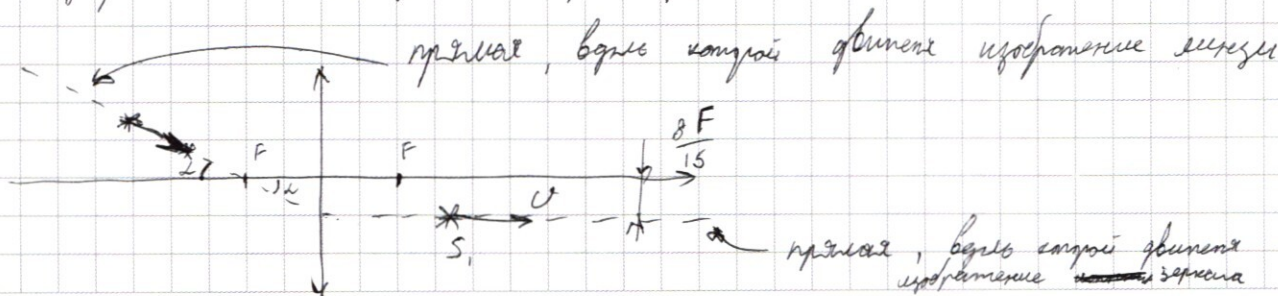
$$d = F + x = \frac{5}{3}F$$

1) Изображение линзы изображения источника света в зеркале будет на расстоянии  $F$ :



$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F} + \frac{1}{d} \Rightarrow F = \frac{dF}{d-F} = \frac{\frac{5}{3}F^2}{\frac{2}{3}F} = 2,5F$$

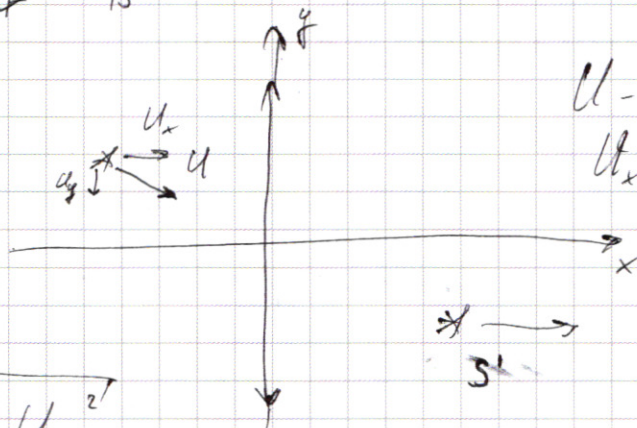
2) Изображение в линзе всегда действительное.



$L$  - угол между траекторией изобращения и осью  $OD$ ,

$$\tan L = \frac{8F}{15F} = \frac{8}{15}$$

3)



$U$  - скорость изобращения ионизации  
 $U_x$  и  $U_y$  - проекции  $U$

$$U = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$$

$$\frac{U_y}{U_x} = \tan L \Rightarrow U_y = U_x \tan L$$

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

$$F = \frac{dF}{d-F} \quad / : dt$$

$$V_x = \frac{dF}{d-F} \frac{V_s^2}{4d} = V_s^2 \frac{-F^2}{(d-F)^2}$$

$$V_x = \frac{dF}{d-F} \frac{1}{dt}$$

$$dt = \frac{4d}{V_s^2}$$

$$V_x = V_s^2 \frac{F^2}{(d-F)^2} =$$

"-" в знаменателе берем, потому что ось где  $d$  и  $F$  в одну сторону, а где  $F$  в другую.

$$dt = \frac{4d}{V_s^2}$$

$$= V_s^2 \frac{3F^2}{4F^2} = \frac{9}{4} V_s^2$$

$$U = U_x \sqrt{1 + \tan^2 L} = \frac{9}{4} V_s^2 \cdot \sqrt{\frac{289}{225}} = \frac{9 \cdot 17}{2 \cdot 15} \cdot V = 5,1 V$$

Ответ: 1)  $F = 2,5 F$  2)  $\tan L = \frac{8}{15}$  3)  $U = 5,1 V$

Задание 2

1) Процесс 2-3: изохора  $\rightarrow C_1 = \frac{3}{2} R$

Процесс 3-1: изобара  $\rightarrow C_2 = \frac{5}{2} R$

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{3}{5} = 0,6$$

$$2) Q = \Delta U + A; \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1)$$

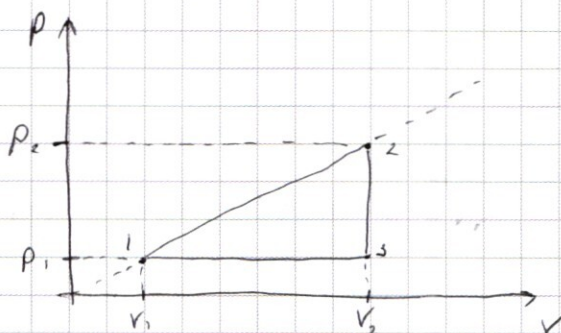
## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$A = \frac{(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)}{2}$$

Ис. графика:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$p_1 = p_2 \frac{V_1}{V_2}$$



$$\Delta U = \frac{3}{2} \left( p_2 V_2 - p_2 \frac{V_1^2}{V_2} \right) = \frac{3}{2} \frac{p_2}{V_2} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$A = \frac{(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)}{2} = \frac{p_2}{2} \frac{(V_2 - V_1)(V_2 + V_1)}{V_2}$$

$$\Delta U = 3A$$

$$Q = 4A \Rightarrow \frac{Q}{A} = 4$$

3)

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q}; \quad A_{\text{п}} = \frac{(p_2 - p_1)(V_2 - V_1)}{2}$$

$$Q = 4A = 2(p_2 + p_1)(V_2 - V_1)$$

$$\eta = \frac{1}{4} \frac{p_2 - p_1}{p_2 + p_1}$$

$$p_1 = p_2 \cdot \frac{V_1}{V_2}; \text{ пусть } \frac{V_1}{V_2} = K$$

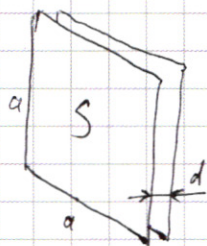
$$\eta = \frac{1}{4} \frac{K-1}{K+1}$$

Если увеличить  $K \rightarrow \infty$ , то  $\frac{K-1}{K+1} = \phi$

$$\lim_{K \rightarrow \infty} \eta = \frac{1}{4} \Rightarrow \eta_{\text{max}} = 0,25$$

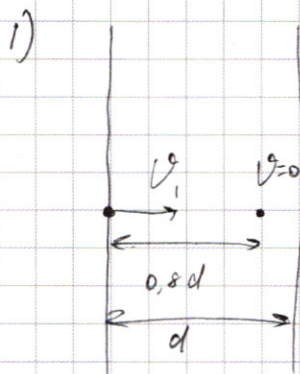
Ответ: 1)  $\frac{C_1}{C_2} = 0,6$  2)  $\frac{Q}{A} = 4$  3)  $\eta_{\text{max}} = 0,25$

Зн 3  $\int$  конденсатора площадь обкладки много больше, чем расстояние между ними:



$$S = a^2; a \gg d$$

Можно считать, что поле внутри конденсатора однородно



Потенциал  $U_1$

Потенциал  $U = 0$

Путь:  $0,8d$

Теперь:  $a$

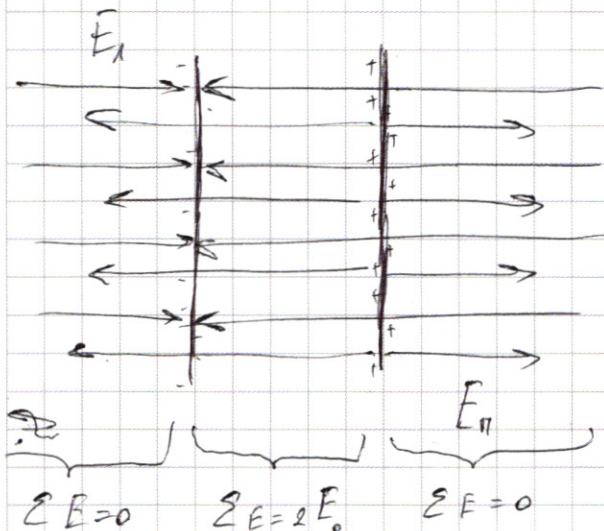
$$U_1 - dT = 0$$

$$U_1 T - \frac{aT}{2} = 0,8d$$

$$\frac{U_1 T}{2} = 0,8d$$

$$T = \frac{1,6d}{U_1}$$

$$2) U_1 = aT = a \frac{1,6d}{U_1} \Rightarrow a = \frac{U_1^2}{1,6d}$$



$$|E_1| = |E_2| = E_0 \quad E_1 = -E_2 \quad C = \frac{SE_0}{d}$$

$$2E_0 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q}{SE_0} = \frac{U}{d}$$

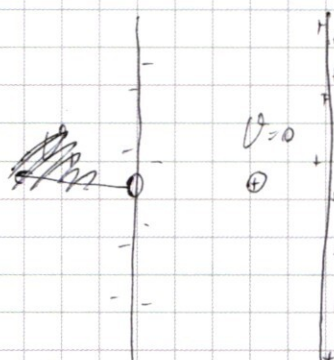
$$U = 2E_0 d = \frac{ad}{r} = \frac{U_1^2}{1,6r}$$

Когда заряд попал в область между пластинами, на него начали действовать две равные силы:

$$F = 2E_0 q = ma \Rightarrow 2E_0 = a/r$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

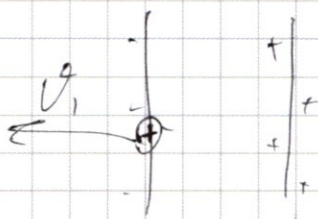
3) Рассмотрим случай ~~вылета~~ <sup>остановки</sup> частицы:



~~Результующая сила левой обкладки~~  
~~равна 0, а правая обкладка производит~~  
~~действие только в то время ~~F~~~~  
$$U_1 + F_H dt = U$$

На частицу действуют две силы  $F_1$  и  $F_H$ , причем они  
направлены и равны друг другу. Эти силы будут действо-  
вать до тех пор, пока частица не достигнет го-  
раницы левой обкладки. За ней  $\sum F = 0$ , значит  
 $\Delta U = 0$

По ЗСЭ, если частица вышла с  $U_1$ , значит  
она вошла с  $U_1$ .



$$U_0 = U_1$$

Ответ: 1)  $T = \frac{1,6d}{U_1}$  2)  $U = \frac{U_1^2}{1,6U}$  3)  $U_0 = U_1$

Задание 4 1) Напряжение на катушке в начальный момент времени:

$$U_* = U - U_0 - E = L \frac{dI}{dt}$$

Величина  $\frac{dI}{dt}$  — скорость возрастания тока.

$$\frac{dI}{dt} = \frac{U - U_0 - E}{L} \quad \frac{dI}{dt} = \frac{2 \text{ В}}{0,2 \text{ Гн}} = 10 \text{ А}$$

2) Ток будет максимальен, когда  $\frac{dI}{dt} = 0 \Rightarrow$

$$\Rightarrow U_i - U_0 - E = 0 \Rightarrow U_i = U_0 + E$$

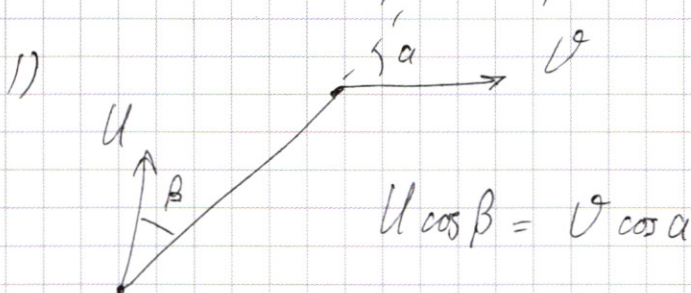
установившееся напряжение конденсатора

~~Видно~~ ЗСЗ:

$$\frac{CU^2}{2} = C \frac{U_i^2}{2} + A + \frac{LI_m^2}{2}$$

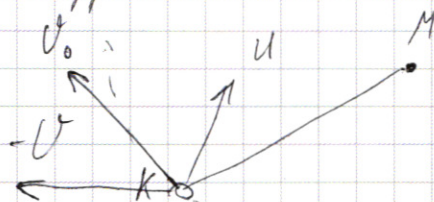
Imben: )  $1) \frac{dI}{dt} = 10 \text{ А}$

3 ~ 1 Система трех неравенств:



$$U = U \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} \quad U = \frac{40 \text{ В}}{c} \cdot \frac{3}{5} \cdot \frac{17}{8} = 51 \frac{\text{В}}{c}$$

2) В ПСО-мудра трое всегда налетают, а калчо суетливо с мудрой:



Получается, в ПСО калчо движется отнюдь по окружности.

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$V_0 = U \sin \beta + V \sin \alpha$$

$$\sin \beta = \frac{\sqrt{(17-8)(17+8)}}{17} = \frac{\sqrt{9 \cdot 25}}{17} = \frac{15}{17}$$

$$\sin \alpha = \frac{4}{5}$$

$$V_0 = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{15}{17} + 40 \frac{\text{см}}{\text{с}} \cdot \frac{4}{5} = (45 + 32) \frac{\text{см}}{\text{с}} = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

3) В ПСО движется в центральный момент по окружности  
для кольца сила натяжения  $T$  будет являться единственной  
силой удерживающей кольцо к центру, а сила реакции  $N$   
будет вызывать тангенциальное ускорение:

$$\sin \alpha T = m a = m \frac{V_0^2}{R} \Rightarrow T = \frac{m V_0^2}{R \sin \alpha} = \frac{15 \cdot 10^{-2} \cdot 0,77^2}{17 \cdot 10^{-2}} \text{ Н}$$

$$T \sin \beta = \frac{U^2}{R}$$

Ответ: 1)  $U = 51 \frac{\text{см}}{\text{с}}$  2)  $V_0 = 77 \frac{\text{см}}{\text{с}}$

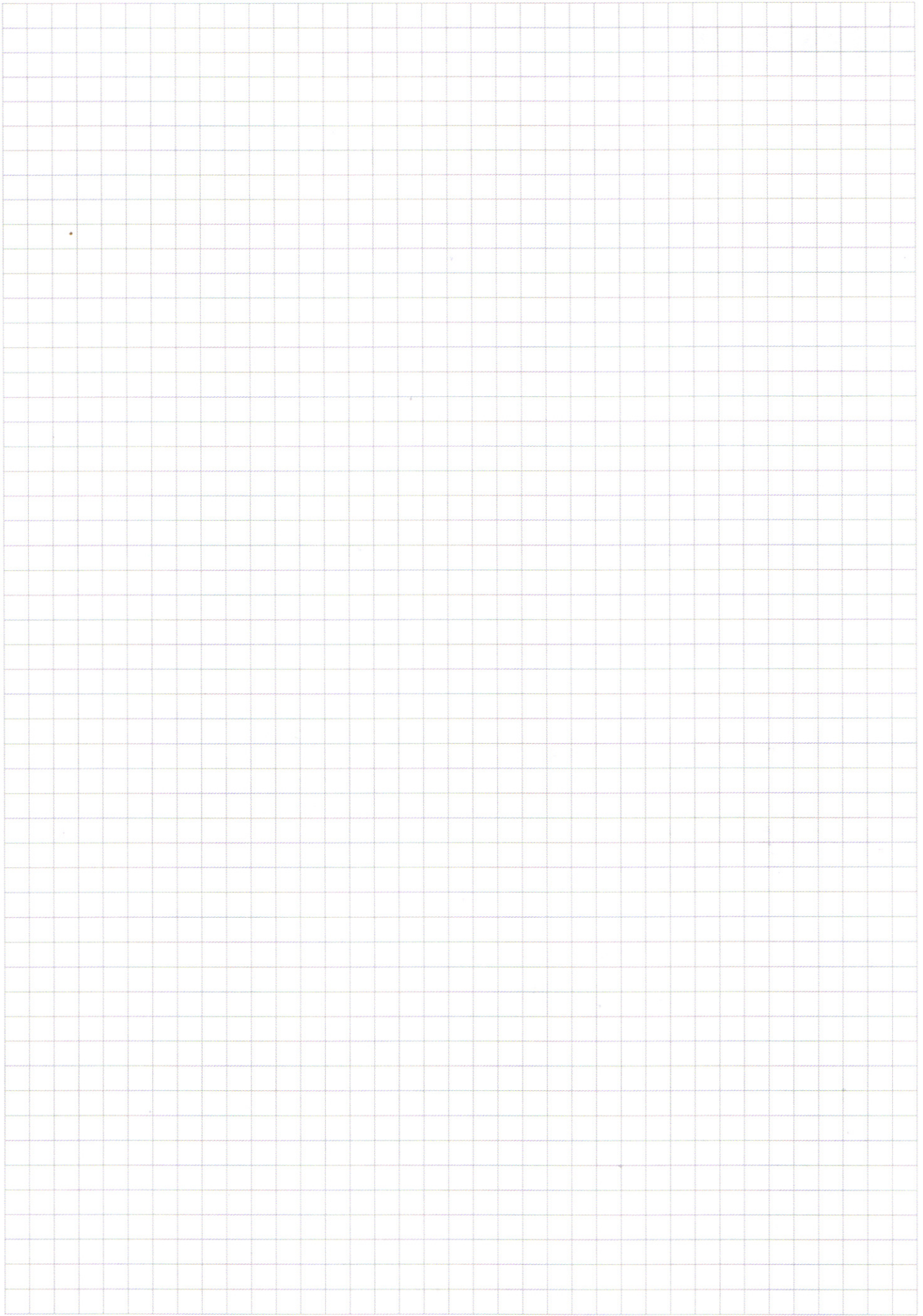
3)  $T = \frac{15 \cdot 10^{-2} \cdot 0,77^2}{17 \cdot 10^{-2}} = 0,1734 \text{ Н}$

$$T \sin \alpha dt = dV m \quad dV = V d\varphi$$

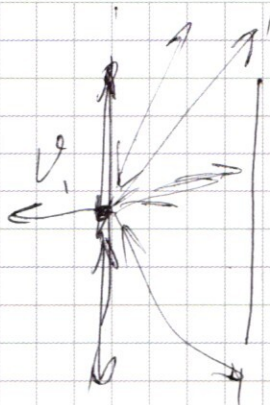
$$= V m d\varphi = \frac{V^2 m}{R} dt \quad V dt = d\ell$$

$$T = \frac{V^2 m}{R \sin \alpha} \quad V dt = R d\varphi$$

$$T = \frac{V^2 m}{R \sin \alpha} \Rightarrow T = \frac{9,51^2 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot 1 \text{ кг} \cdot 10^{-2}}{17 \text{ м} \cdot 10^{-2}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 8 \cdot 17 \cdot 17}{100 \cdot 100 \cdot 8} \text{ Н}$$



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2} + \frac{b}{2\epsilon_0} = \frac{q_-}{2}$$

$$v_1 \quad 0,8d \quad 2E_0 q = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$2 \frac{4}{5} d \frac{2 \cdot E_0 q}{d/p} = v_0^2$$

$$\frac{2 \cdot 4}{5} d \frac{v_1^2}{\frac{4 \cdot 2}{5} d} = v_0^2$$

1 шаг

2 шаг

.

q<sub>-</sub> q<sub>+</sub>

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{CU_i^2}{2} + 2q(E+U_0) + \frac{J_m L^2}{2}$$

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{C(U_0+E)^2}{2} + C(U-U_0-E)(E+U_0) + \frac{L J_m^2}{2}$$

$UE + U_0E - U_0E - E^2 - U_0^2 - E^2$

$$C(U^2 - U_0^2 - E^2 - 2U_0E - 2UE - 2UU_0 + 2U_0E + 2U_0^2 - 2E^2) = L J_m^2$$

$$CU(U - 2E - 2U_0) = L J_m^2$$

$$C(U^2 - \cancel{U_0^2} - \cancel{E^2} - 2\cancel{U_0 E} - 2UE - 2UU_0 + 2\cancel{U_0 E} + 2U_0 E + 2E^2 + 2U^2) = L J_m^2$$

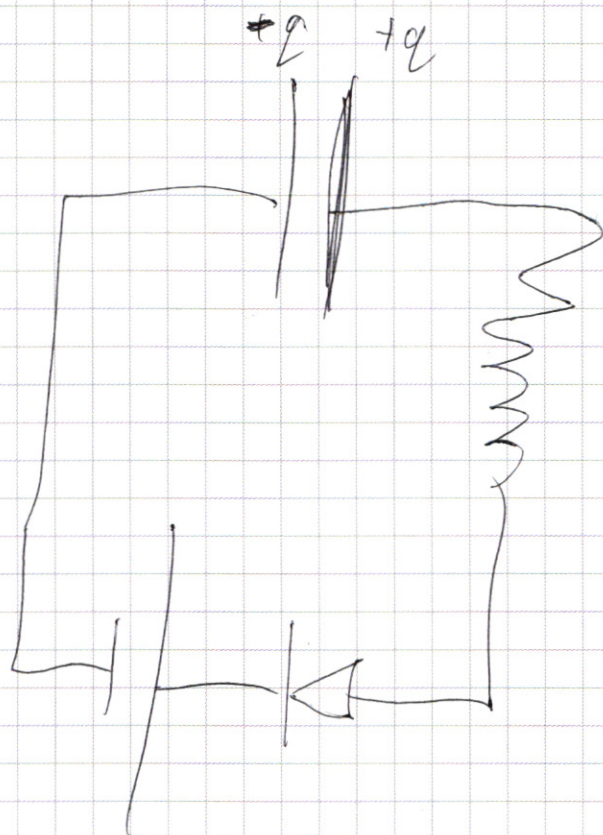
$$C(U(U - E - U_0) + E^2 + U^2) = L J_m^2$$

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{CU_i^2}{2} + (E + U_0)\Delta q + \frac{L J_m^2}{2}$$

$$\Delta q = \frac{(U - U_i)C}{2}$$

$$\frac{K_A}{c} \cdot \frac{c \cdot \Phi_m}{K_L} = J U t$$

$$\Delta q = ? \quad \underline{\Delta q} = U_i C$$



$$\frac{q_1 + q_2}{2} = Q = U_i C$$

$$\frac{q + \Delta q + q - \Delta q}{2} = Q$$

$$\Delta q = U_i C$$

$$\frac{CU_0^2}{2} - UC = A + \frac{L J_m^2}{2}$$

$$\frac{CU^2}{2} + \frac{L J_m^2}{2} = A + \frac{CU_0^2}{2}$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$1-2: Q = \Delta U + A \quad \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T =$$

$$\frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) + \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) = Q \quad \Delta H \Delta T = p_2 V_2 - p_1 V_1$$

$$\frac{3}{2} p_2 V_2 - \frac{3}{2} p_1 V_1 + \frac{p_1 V_2}{2} + \frac{p_2 V_1}{2} \quad A = \frac{p_1 + p_2}{2} (V_2 - V_1) - \frac{p_1 V_1}{2} - \frac{p_2 V_1}{2}$$

$$2 p_2 V_2 - 2 p_1 V_1 + \frac{p_1 V_2 - p_2 V_1}{2}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$A = \frac{p_2 (V_1 + V_2) (V_2 - V_1)}{2 V_2}$$

$$p_1 = p_2 \frac{V_1}{V_2}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} (p_2 V_2 - p_2 \frac{V_1^2}{V_2})$$

$$= \frac{3}{2} p_2 \frac{V_2^2 - V_1^2}{V_2}$$

$$3 A = \Delta U$$

$$Q = 4 A$$

$$\frac{Q}{A} = 4$$

$$A_n = \frac{(p_2 - p_1) (V_2 - V_1)}{2}$$

$$\eta = \frac{A_n}{Q} = \frac{1}{4}$$

$$Q = 2 (p_1 + p_2) (V_2 - V_1)$$

$$\eta = \frac{(p_2 - p_1)}{4 (p_1 + p_2)} = \frac{p_2 (k - 1)}{p_2 (k + 1)} \quad p_1 = p_2 \cdot \frac{V_1}{V_2} = p_2 \cdot k \quad \frac{V_1}{V_2} = k$$

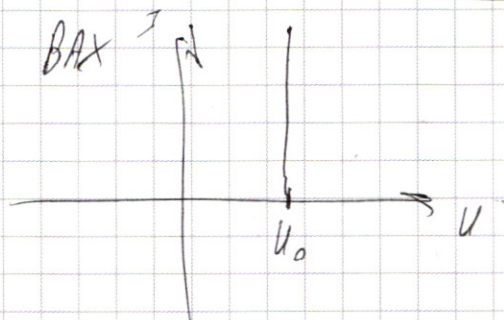
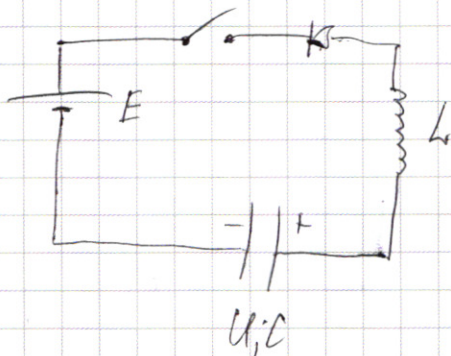
$$= \frac{k - 1}{4k + 4}$$

$$\eta = \frac{4k - 4}{16k^2 - 82k + 16} = \frac{4(k - 1)}{16k^2 + 52k + 16}$$

$$\eta = \frac{K-1}{4K-4}$$

$$\lim_{K \rightarrow 0} \eta = \frac{1}{4}$$

~ 4



Вспомогательная точка D

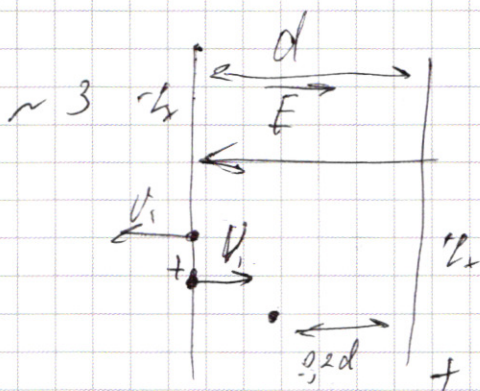
$$U - E - U_0 = U_{\text{L}} = L \frac{dI}{dt}$$

$$\Theta = \frac{U - E + U_0}{L}$$

?  $I_{\text{max}}$ , когда  $\Theta = 0$

$$U_0 = EU_0$$

$$U_0 = \frac{q_0}{C} \quad U_0 T = \frac{d^4}{5}$$



$$F = ma = qE$$

$$a = E \rho$$

$$\frac{v_1}{a} = T$$

$$U_0 T - \frac{q \pi^2}{2} = \frac{d^4}{5}$$

$$UC = q \rho x$$

$$E = \frac{q_0}{2\epsilon_0} = \frac{G}{2\epsilon_0}$$

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

$$dV = a dt$$

$$ma = qEx$$

$$E = \frac{UC}{d} = \frac{U}{d} \quad (?)$$

$$U = Ed = \varphi_A - \varphi_B = \varphi_A - \varphi_C + \varphi_C - \varphi_B$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = q E d$$

$$v_0^2 = \frac{q}{m} 2 E d = 2 a d = \frac{q}{m} 2 U d = 2 v_1^2$$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

~5

$$V_x = V_s' \frac{F(f-F) - (-FF)}{(f-F)^2}$$

$$V_x = V_s' \frac{-F^2}{(f-F)^2}$$

$$\frac{h}{H} = \frac{f}{d}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\frac{2F}{3}} \Rightarrow d = \frac{2F}{3}$$

$$\frac{1}{F} - \frac{3}{2F} = \frac{5-3}{2F} = \frac{1}{d}$$

$$d = F$$

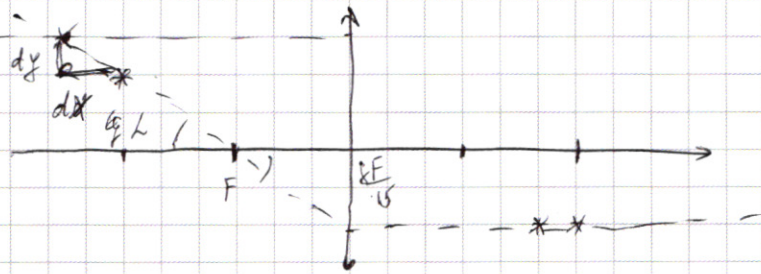
$$V_s' = 2V$$

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

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

$$V_x = \frac{F}{F-f} \frac{1}{dt} = \frac{dF}{dt}$$

$$\frac{dF}{dt} = V_s'$$



$$\frac{dx}{dy} = \tan L = \frac{\frac{8F}{15}}{\frac{F}{15}} = \frac{8}{15} \quad v_y = v_x \tan L$$

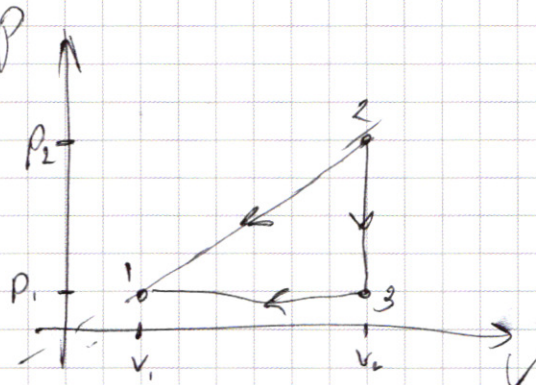
$$v_a = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = v_x \sqrt{1 + \tan^2 L}$$

$$v_x = v_s \frac{F^2}{(F-F)^2} = v_s \frac{F^2}{\left(\frac{5}{3}F - F\right)^2} = \frac{9F^2}{4F^2} = \frac{9}{4} v_s = \frac{9}{2} v_s$$

$$v_a = \frac{9}{2} v_s \sqrt{1 + \frac{64}{225}} = \frac{9}{2} v_s \sqrt{\frac{289}{225}} = \frac{9 \cdot 17}{2 \cdot 15} v_s = \frac{119}{289} v_s$$

$\sim 2$

2-3 и 3-1:  $T \downarrow$



2-3:  $Q = \Delta U + A$

$\Delta V = 0 \quad A = 0$

$C_{AT} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$

$C_u' = \frac{3}{2} R$

$\frac{C_u'}{C_{N2}} = \frac{3}{2}$

$C_{N2} = \frac{5}{2} R$

3-1:  $Q = \Delta U + A$

$p = \text{const}$   
 $A = p \Delta V = \nu R \Delta T$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

5,1

Плюс керосинки:

$$U \cos \alpha = U \cos \beta$$

~~$U = \sqrt{U^2 + U^2}$~~   $U \sin \alpha = U \sin \beta$

$N + T = m a$

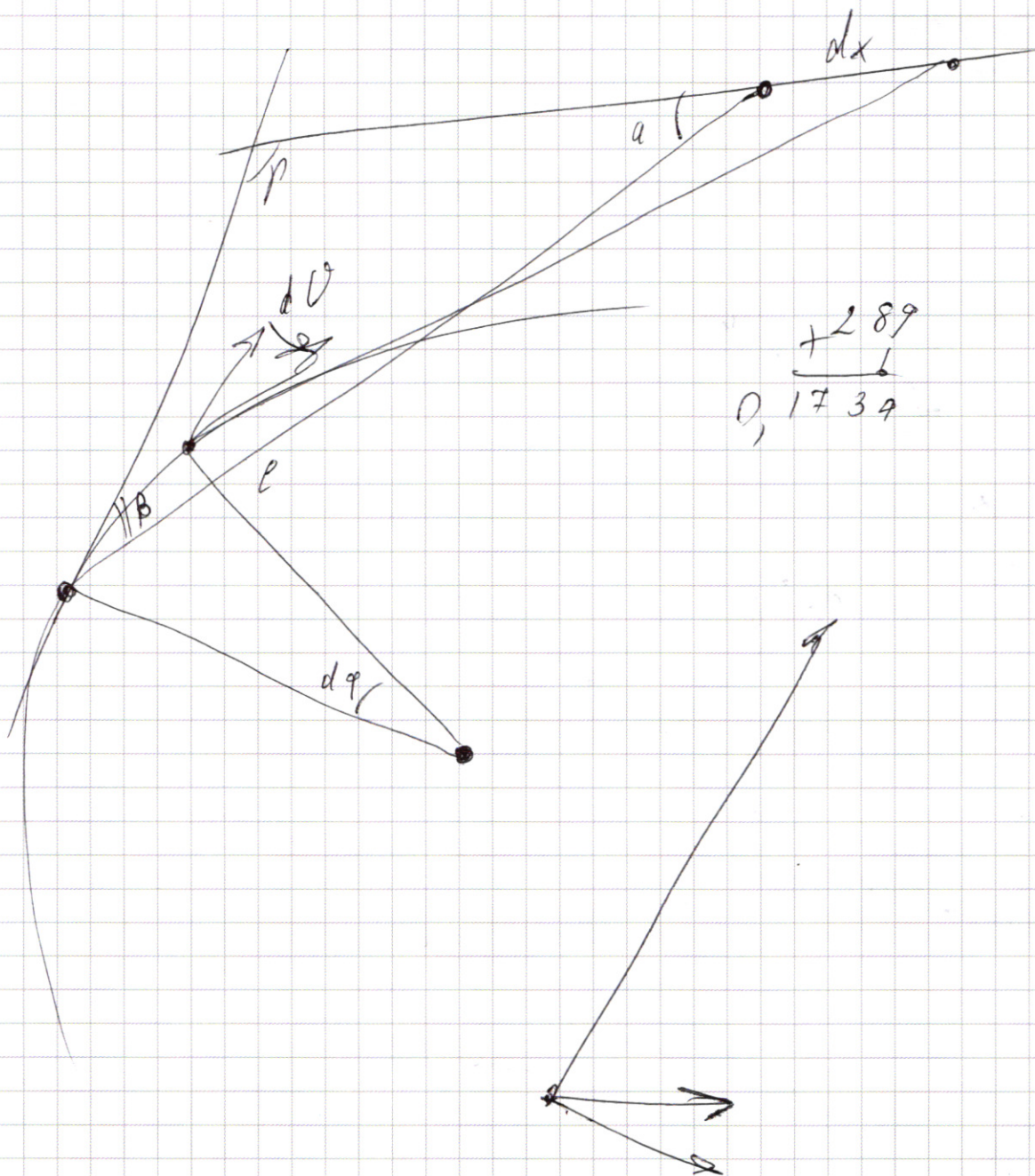
$T \sin \beta = m a_T$

$\frac{dL}{dt} = U$

$dt \cdot a_z = dU$

$T \cos \beta = m \frac{dU}{dt} = \frac{dL dU}{U} m$

$dt = \frac{d\theta}{U}$



$$\begin{array}{r} +289 \\ \hline 0,1734 \end{array}$$

$$dt T \sin \alpha = dV$$

$$dV = V d\varphi = V dt = dl$$

$$T \sin \alpha = \frac{V^2 B}{m} = \frac{V^2 B}{dt} \quad B d\varphi = dt \quad V dt = B d\varphi$$

$$T = \frac{10}{15} \cdot 47 \cdot 51^2$$