

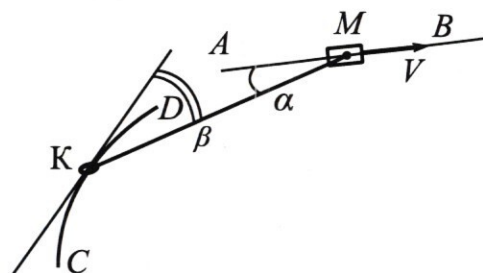
Олимпиада «Физтех» по физике, ф

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.



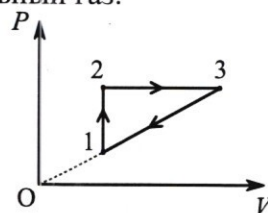
- 1) Найти скорость кольца в этот момент.
- 2) Найти скорость кольца относительно муфты в этот момент.
- 3) Найти силу натяжения нити в этот момент.

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.

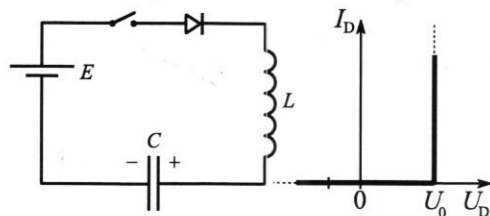
4. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут, ЭДС идеального источника $E = 9$ В, конденсатор емкостью $C = 40$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 5$ В, индуктивность идеальной катушки $L = 0,1$ Гн. Вольтамперная характеристика диода дана на рисунке, пороговое напряжение диода $U_0 = 1$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

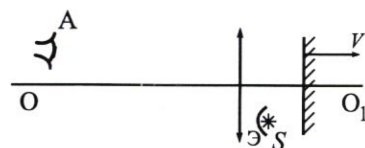


5. Оптическая система состоит из тонкой линзы с фокусным расстоянием F , плоского зеркала и небольшого экрана Э, расположенного так, что свет от источника S может попасть на линзу только после отражения от зеркала (см. рис.). Зеркало расположено перпендикулярно главной оптической оси OO_1 линзы. Источник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



$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \frac{15^2}{17^2}} = \sqrt{\left(1 - \frac{15}{17}\right)\left(1 + \frac{15}{17}\right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 32}{17 \cdot 17}} = \frac{8}{17}$$

$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{16}{25}} = \sqrt{\frac{9}{25}} = \frac{3}{5}$$

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

$$\cos(\alpha + \beta) = \frac{15}{17} \cdot \frac{4}{5} - \frac{8}{17} \cdot \frac{3}{5} = \frac{12}{17} - \frac{24}{17 \cdot 5} = \frac{60 - 24}{17 \cdot 5} =$$

$$= \frac{36}{17 \cdot 5} = \frac{36}{85}$$

$$v_{\text{отн}}^2 = (0,68)^2 + (0,75)^2 - 2 \cdot 0,68 \cdot 0,75 \cdot \frac{36}{85}$$

$$v_{\text{отн}}^2 = \frac{17^2}{25^2} + \frac{9}{16} - 2 \cdot \frac{17}{25} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{36}{85}$$

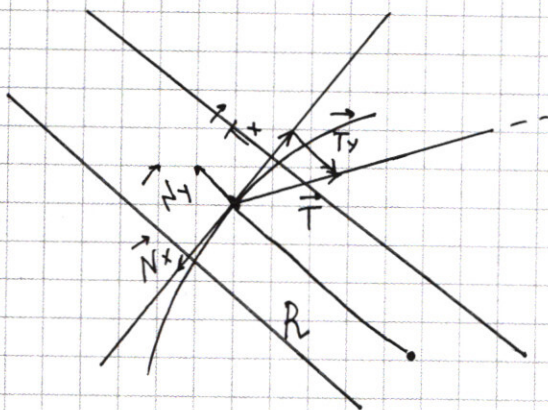
$$v_{\text{отн}}^2 = \frac{17^2}{25^2} + \frac{9}{16} - \frac{54}{25 \cdot 5}$$

$$v_{\text{отн}}^2 = \frac{289 - 54 \cdot 5}{625} + \frac{9}{16}$$

$$v_{\text{отн}}^2 = \frac{19}{625} + \frac{9}{16} ; v_{\text{отн}}^2 = \frac{19 \cdot 16 + 9 \cdot 625}{625 \cdot 16}$$

$$v_{\text{отн}}^2 = \frac{5929}{625 \cdot 16} ; v_{\text{отн}} = \frac{77}{25 \cdot 4} = \frac{77}{100} = 0,77 \text{ (м/с)}.$$

3)



Ответы: 1) 0,75 м/с; 2) 0,77 м/с; 3) —

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

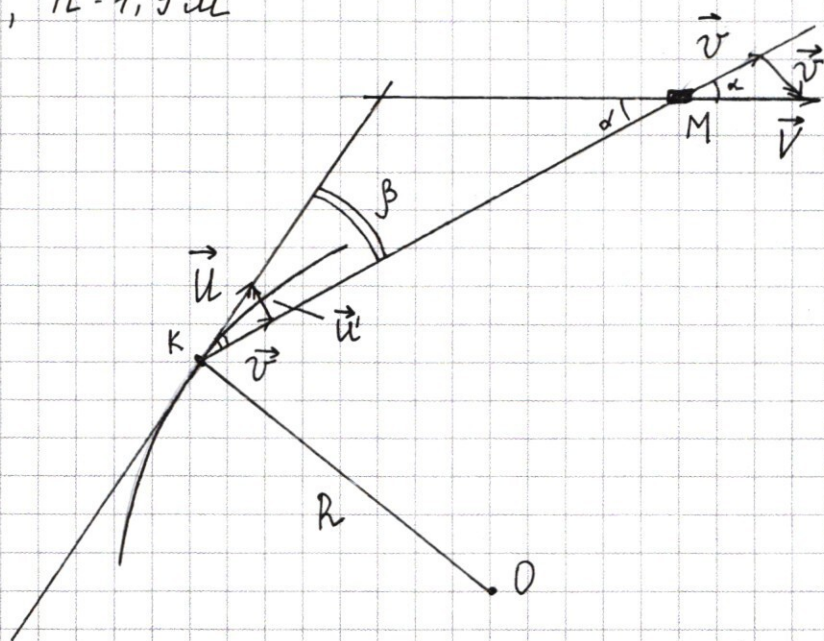
51 Дано: $V = 68 \text{ см/с} = 0,68 \text{ м/с}$

$m = 0,1 \text{ кг}$, $R = 1,9 \text{ м}$

$L = 5R/3$

$\cos \alpha = \frac{15}{17}$

$\cos \beta = \frac{4}{5}$



Решение: 1) Будем считать, что нить нерастяжима. Тогда проекции скоростей кольца и муфты на нить равны (v).

$$\cos \beta = \frac{v}{U} ; \cos \alpha = \frac{v}{V} ; v = V \cos \alpha$$

$$\cos \beta = \frac{V \cos \alpha}{U} ; U = \frac{V \cos \alpha}{\cos \beta} - \text{скорость кольца}$$

$$U = \frac{0,68 \cdot 15 \cdot 5}{17 \cdot 4} \text{ м/с} = 0,75 \text{ м/с}.$$

2) По закону сложения скоростей: $\vec{U} = \vec{V} + \vec{v}_{\text{отн}}$

Нарисуем векторный треугольник:

$$v_{\text{отн}}^2 = V^2 + U^2 - 2VU \cos(\alpha + \beta)$$

Чтобы найти $\cos(\alpha + \beta)$, найдем $\sin \alpha$, $\sin \beta$.

которого равен 0,75.

- 3) Если зеркало движется со скоростью V , то источник (его отражение в зеркале, которое мы рассматривали в 1) и 2)) движется со скоростью $2V$.

Из пункта 2) Найдем AA' .

$$AA' = \sqrt{AN^2 + NA'^2}; \quad AA' = \sqrt{\frac{9}{16}F^2 + F^2} = \sqrt{\frac{25}{16}F^2} = \frac{5}{4}F$$

$$AA' = vT; \quad CC' = 2Vt; \quad CC' = \frac{F}{2}; \quad AA' = \frac{5}{4}F$$

$$\frac{AA'}{CC'} = \frac{v}{2V}; \quad \frac{\frac{5}{4}F}{\frac{F}{2}} = \frac{v}{2V}; \quad \frac{5}{2} = \frac{v}{2V}$$

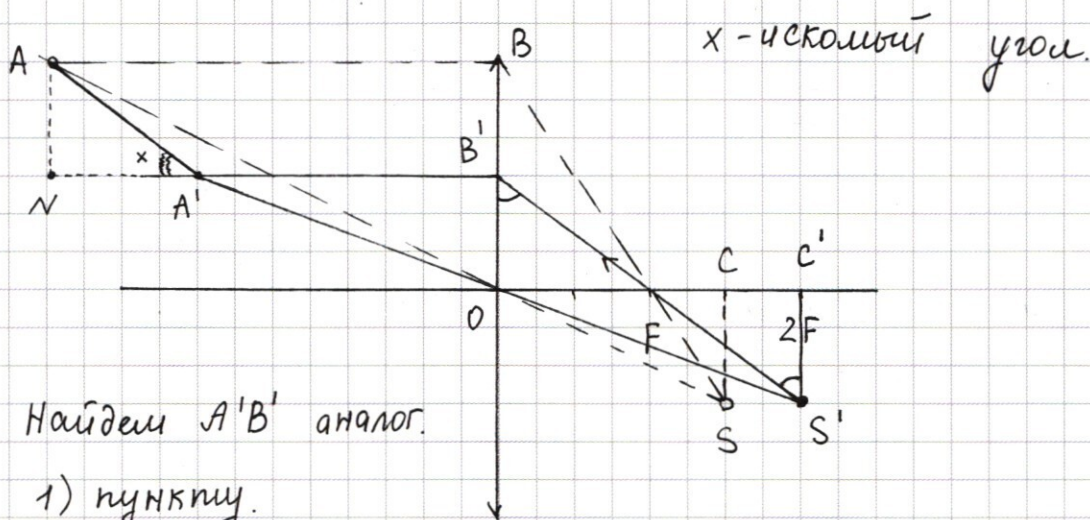
$v = 5V$ - скорость изображения.

Ответ: 1) $3F$; 2) $\tan x = 0,75$; 3) $5V$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

На расстоянии $AB = 3F$ наблюдатель увидит изображение.

2) Сдвинем источник на расстояние $\frac{F}{2}$ вправо и снова построим изображение. Найдем угол, под которым эвентуется изображение к оси (он должен быть одинаковым в течение эвентуения)



Найдем $A'B'$ аналог.

1) пункту.

$\triangle FS'C' = \triangle B'OF$ по катету и прил.-о. углу

$$OB' = SC' = \frac{3}{4}F \quad \text{Uz} \quad 1) \quad BO = \frac{3}{2}F \quad BB' = BO - B'O = \frac{3}{4}F = AN$$

$$\Delta A'B'O = \Delta OC'S' \text{ по каменну и о. углу. } A'B' = OC' = 2F$$

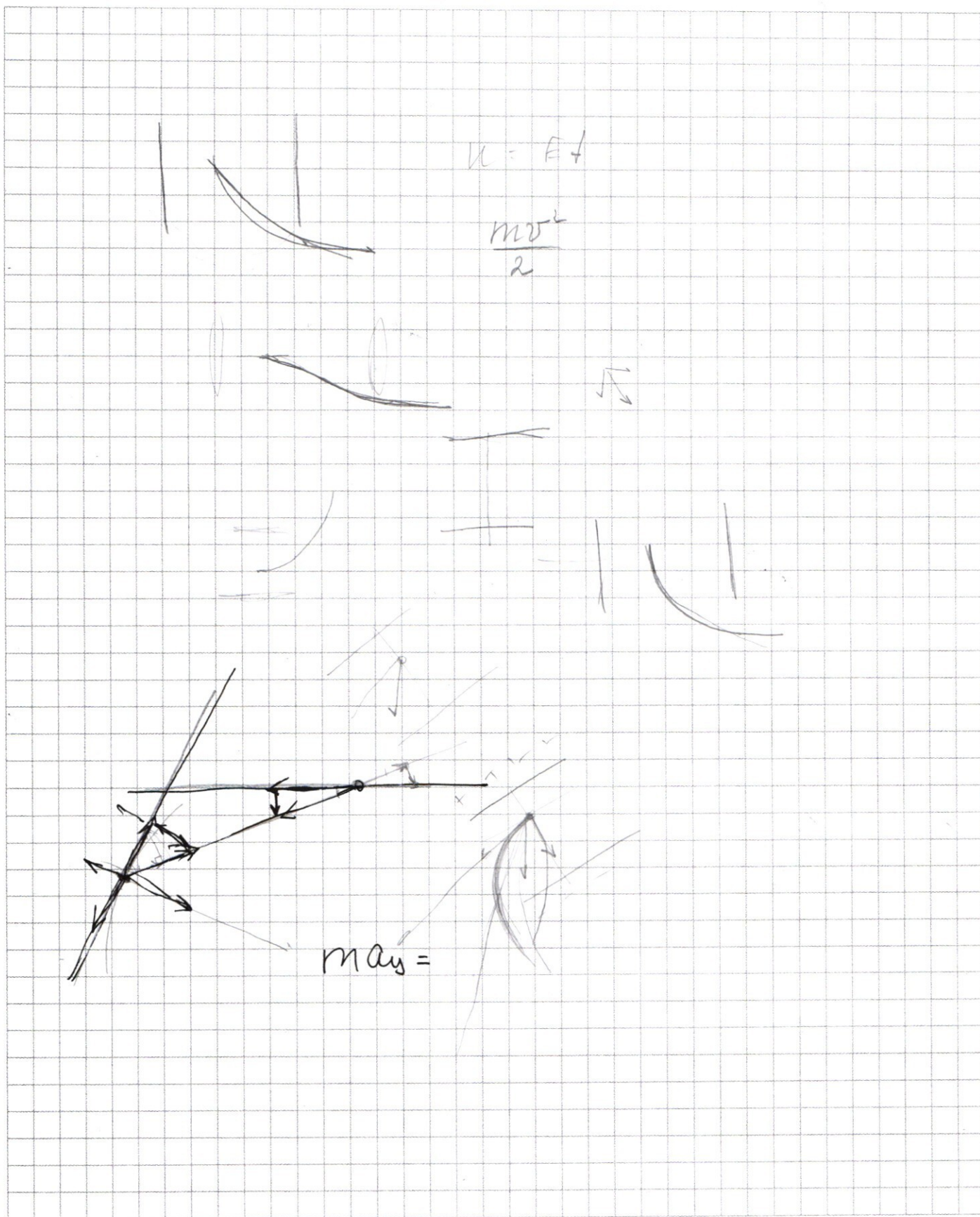
$$NA' = AB - A'B' = 3F - 2F = F$$

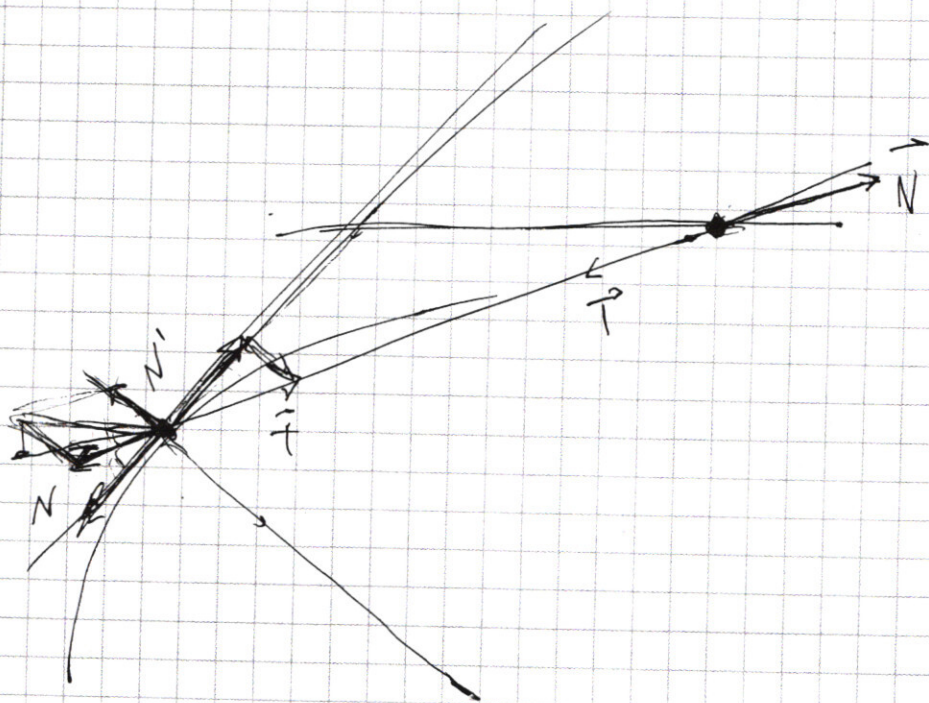
$$\tan \alpha = \frac{AN}{NA'} = \frac{\frac{3}{4}F}{F} = \frac{3}{4}$$

Изображение эвентуется к оси OO_1 под углом, тангенс

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА





ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Расширим ф-цию $f(x) = \frac{x-1}{5x+3}$

$$f'(x) = \frac{(x-1)'(5x+3) - (x-1)(5x+3)'}{(5x+3)^2}$$

$$f'(x) = \frac{5x+3-5(x-1)}{(5x+3)^2}$$

$$f'(x) = \frac{8}{(5x+3)^2} > 0$$

$f(x)$ — возрастающая на $D(x)$ ф-ция. Определить её максимум невозможно, но у $f(x)$ есть горизонтальная асимптота, найдем её.

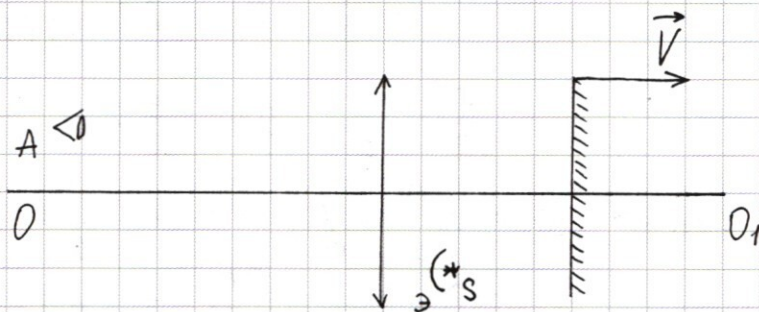
$$\frac{x-1}{5x+3} = \frac{1}{5} - \frac{\frac{8}{5}}{5x+3} < \frac{1}{5}; y = \frac{1}{5} - \text{верхняя граница}$$

значений $f(x)$. Т.е. $\nearrow$ функция стремится к

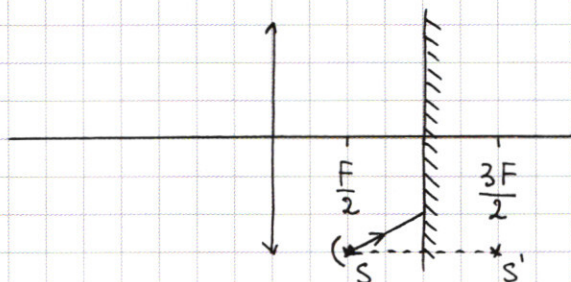
значению $\frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\%$ — предельно возможное
максимальное значение КПД.

Ответ: 1) 0,6 ; 2) 2,5 ; 3) 20%.

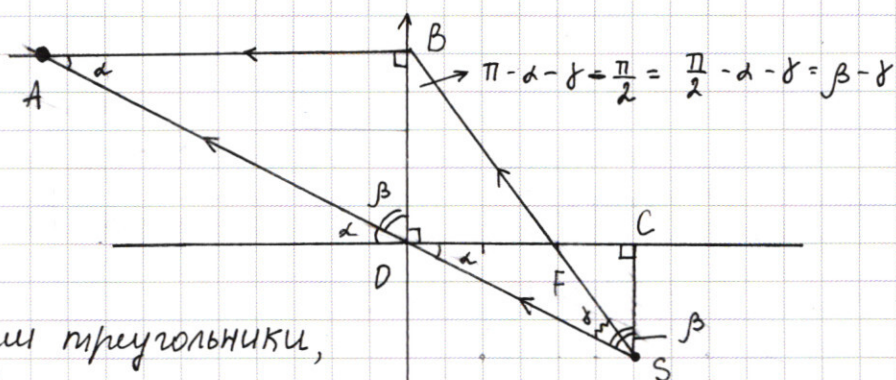
55 Дано: F, V .



1) Рассмотрим указанный момент и построим изображение источника.



Т.к. источник огорожен экраном и лучи от него попадают в линзу, лишь отразившись от зеркала, то задачу можно рассматривать без зеркала, причем в таком случае источник будет находиться на расстоянии $\frac{3F}{2}$ от линзы и $\frac{3}{4}F$ от OO_1 . Теперь построим изображение.



Обозначим треугольники, углы.

$$\text{Из } \triangle SED \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{SD}{CS}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\frac{3}{2}F}{\frac{3}{4}F} = 2$$

$$\text{В } \triangle SCF \quad \operatorname{tg}(\beta - \gamma) = \frac{FC}{CS} = \frac{\frac{F}{2}}{\frac{3}{4}F} = \frac{2}{3}$$

$$\text{В } \triangle OBF \quad \operatorname{tg}(\beta - \gamma) = \frac{FO}{OB} = \frac{2}{3}$$

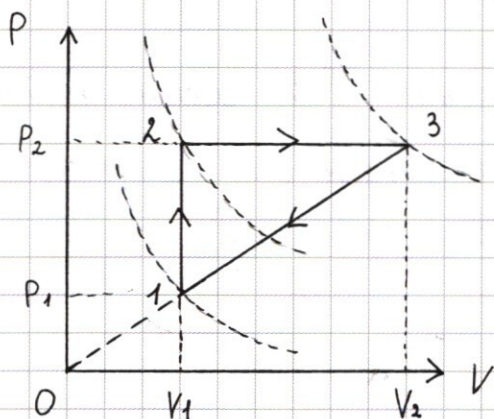
$$\frac{F}{OB} = \frac{2}{3} \quad ; \quad OB = \frac{3}{2}F$$

$$\text{Из } \triangle OCS \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{CS}{OC} = \frac{\frac{3}{4}F}{\frac{3}{2}F} = \frac{1}{2} \quad ; \quad \text{В } \triangle AOB \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{OB}{AB} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\frac{3}{2}F}{AB} = \frac{1}{2} \quad ; \quad AB = 3F$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 2



1) На рисунке пунктирными кривыми обозначены изотермы. Чем выше изотерма на рисунке, тем выше температура в точке, через которую она проходит, т.е.:

$$T_1 < T_2 < T_3$$

Значит, на участках 1-2, 2-3 температура газа растет. Найдем $\frac{C_{1-2}}{C_{2-3}}$.

Процесс 1-2 изохорический, для одноатомного идеального газа на изохоре $C_{1-2} = \frac{3}{2} R$

Процесс 2-3 изобарический, для одноатомного идеального газа на изобаре $C_{2-3} = \frac{5}{2} R$

$$\text{Тогда } \alpha = \frac{C_{1-2}}{C_{2-3}} = \frac{\frac{3}{2} R}{\frac{5}{2} R} = \frac{3}{5} = 0,6.$$

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

$$A_{2-3} = p_2 (V_2 - V_1) ; \Delta U_{2-3} = \frac{3}{2} \nu R (T_3 - T_2)$$

$$\text{Для п. 2: } p_2 V_1 = \nu R T_2 \quad (1)$$

$$\text{Для п. 3: } p_2 V_2 = \nu R T_3 \quad (2)$$

$$(2) - (1) : p_2 (V_2 - V_1) = \nu R (T_3 - T_2)$$

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

$$Q_{2-3} = p_2(V_2 - V_1) + \frac{3}{2} p_2(V_2 - V_1) = \frac{5}{2} p_2(V_2 - V_1)$$

$$\eta = \frac{A_{2-3}}{Q_{2-3}} = \frac{Q_{2-3}}{A_{2-3}} = \frac{\frac{5}{2} p_2(V_2 - V_1)}{p_2(V_2 - V_1)} = \frac{5}{2} = 2,5.$$

3) По определению $\eta = \frac{A_{\Gamma}}{Q_{\Pi}} \cdot 100\%$

Работу газа в координатах $P-V$ можно найти как площадь фигуры, ограниченной графиком, в данном случае $A_{\Gamma} = \frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1)$.

$$Q_{\Pi} = Q_{1-2} + Q_{2-3}.$$

$$Q_{1-2} = \Delta U_{1-2}, \text{ т.к. } A_{1-2} = 0.$$

$$\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T_1)$$

$$\text{Для т. 1: } p_1 V_1 = \nu R T_1 \quad (1)$$

$$\text{Для т. 2: } p_2 V_1 = \nu R T_2 \quad (2)$$

$$(2) - (1): V_1 (p_2 - p_1) = \nu R (T_2 - T_1)$$

$$\Delta U_{1-2} = \frac{3}{2} V_1 (p_2 - p_1) = Q_{1-2}$$

$$Q_{\Pi} = \frac{3}{2} V_1 (p_2 - p_1) + \frac{5}{2} p_2 (V_2 - V_1)$$

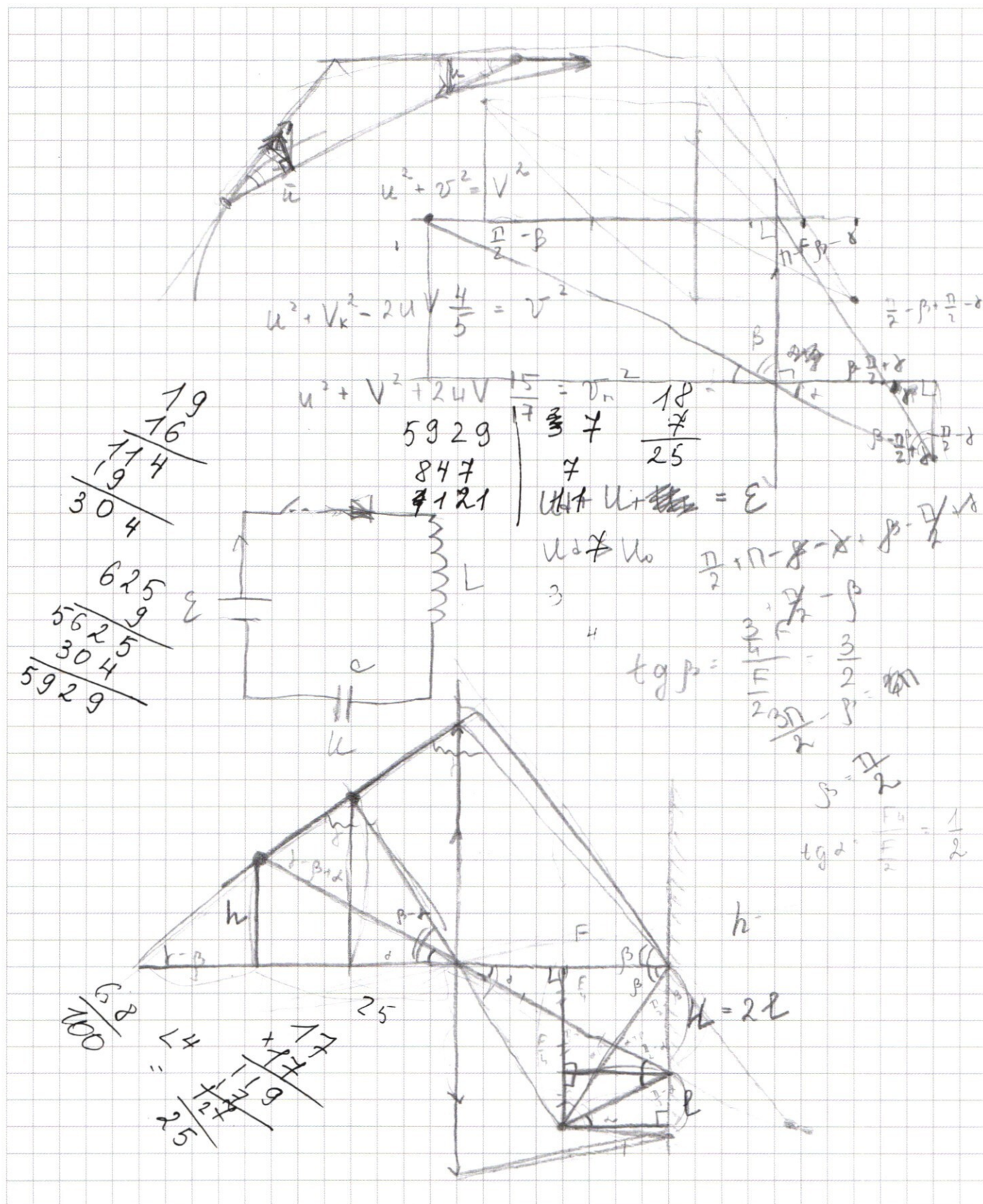
$$\eta = \frac{\frac{1}{2} (p_2 - p_1) (V_2 - V_1)}{\frac{3}{2} V_1 (p_2 - p_1) + \frac{5}{2} p_2 (V_2 - V_1)} \cdot 100\% = \frac{(p_2 - p_1) (V_2 - V_1)}{3 V_1 (p_2 - p_1) + 5 p_2 (V_2 - V_1)} \cdot 100\%$$

$= \frac{1}{\frac{3 V_1}{V_2 - V_1} + \frac{5 p_2}{p_2 - p_1}} \cdot 100\%.$ В процессе 3-1 $P = \beta V$, т.е.
 $p_1 = \beta V_1, p_2 = \beta V_2$

$$\eta = \frac{1}{\frac{3 V_1}{V_2 - V_1} + \frac{5 \beta V_2}{\beta V_2 - \beta V_1}} \cdot 100\% = \frac{1}{\frac{3 V_1 + 5 V_2}{V_2 - V_1}} \cdot 100\% = \frac{V_2 - V_1}{3 V_1 + 5 V_2} \cdot 100\%$$

$$= \frac{\frac{V_2}{V_1} - 1}{3 + \frac{5 V_2}{V_1}} \cdot 100\%. \quad \text{Заменим } \frac{V_2}{V_1} \text{ на } x.$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$\operatorname{tg}^2 \alpha + 1 = \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha + 1 = \frac{13}{9}$$

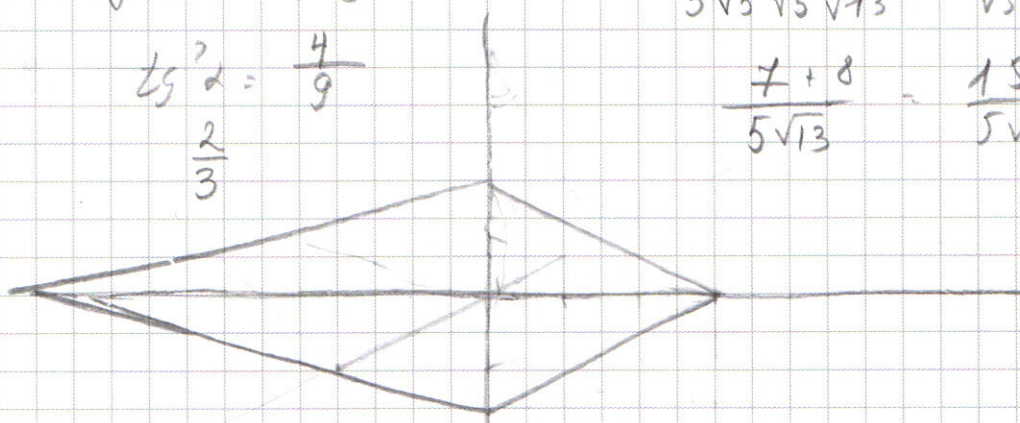
$$\operatorname{tg}^2 \alpha = \frac{4}{9}$$

$$\frac{2}{3}$$

$$\cos(\beta - \alpha) = \frac{21}{\sqrt{45} \cdot \sqrt{65}} + \frac{2}{\sqrt{5}} \frac{4}{\sqrt{65}} =$$

$$= \frac{21}{3\sqrt{5}\sqrt{5}\sqrt{13}} + \frac{8}{\sqrt{5}\sqrt{5}\sqrt{13}}$$

$$\frac{7+8}{5\sqrt{13}} = \frac{15}{5\sqrt{13}} = \frac{3}{\sqrt{13}}$$



$$\cos \beta = \frac{3}{\sqrt{45}}$$

$$\cos \delta = \frac{7}{\sqrt{65}}$$

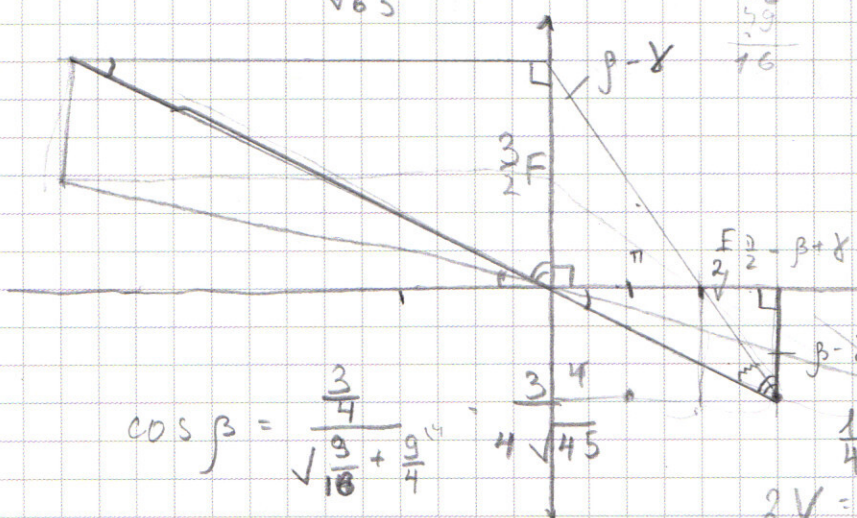
$$\sin \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{5}} = \frac{2}{\sqrt{5}}$$

$$\sin \delta = \sqrt{1 - \frac{49}{65}} = \frac{4}{\sqrt{65}}$$

$$\sqrt{13 \cdot 15} \cos \gamma$$

$$21 = 3\sqrt{13 \cdot 5} \cos \gamma$$

$$\frac{3}{2} F \cos \gamma = \frac{3}{4} F$$



$$\cos \beta = \frac{\frac{3}{4}}{\sqrt{\frac{9}{16} + \frac{9}{4}}} = \frac{3}{4\sqrt{45}}$$

$$\frac{3}{4} F \cos \gamma = \frac{3}{4} F$$

$$\frac{1}{4} + \frac{9}{16} = \frac{13}{16}$$

$$2V = v$$

$$\frac{1}{4} + \frac{9}{16} + \frac{9}{16} + \frac{9}{4} =$$

$$1 + \sqrt{\frac{9}{16} + \frac{9}{4}}$$

$$- 2 \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{9}{16}} \sqrt{\frac{9}{4} + \frac{9}{16}} \cos \delta = \frac{36+9}{45}$$

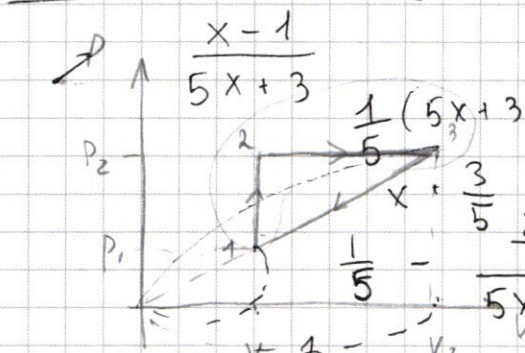
$$\frac{45}{16} + 2 - 2 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{45}{16}} \frac{3}{4\sqrt{45}}$$

$$= 1$$

$$\frac{40}{16} - 2 \sqrt{\frac{13}{16}} \sqrt{\frac{45}{16}} \cos \delta = 1$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\underline{Q_{2-3}} = \frac{5}{2} P_2 (V_2 - V_1)$$



$$p_2(V_2 - V_1) = \frac{1-x}{3x+5} \left(\frac{1}{2} V_2 - V_1 - 1(3x+5) - \frac{1}{2} V_1 \right) - \frac{1}{2} V_1$$

$$\frac{-8}{(3x+5)^2}$$

$$\frac{3}{2} V_1 (p_2 - p_1) = \frac{3}{2} \gamma A \Delta T \frac{R}{(p_2 - p_1) V_1}$$

$$\frac{8 - (5 \times 13)^2}{(5 \times 13)^2} < 0$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \times 1 \times (2 - 1)$$

$$8125x^2 - 30x - 1$$

$$25x^2 - 30x - 1$$

$$15^2 + 25 = 5\sqrt{10}$$

$$(2\sqrt{2} - \frac{\sqrt{5}}{2}) \times (3) \quad (2\sqrt{2} + 5 \times (3)) \times 2$$

$$\frac{1}{2} (V_2 - V_1) \left(\frac{P_2 - P_1}{2} \right) R (T_3 - T_2)$$

$$\frac{5}{2} p_2 (V_2 - V_1) + \frac{3}{2} V_1 (p_2 - p_1) T_2$$

$(V_2 -$

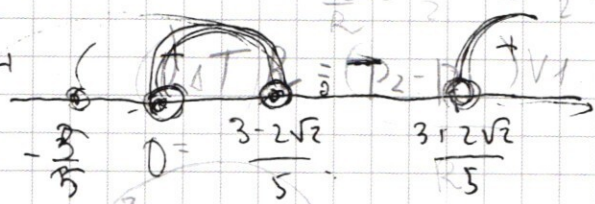
$$P_2 = \beta V_2 \quad \frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2} \quad P_2(V_2 - V_1)$$

$$P_1 = \beta V_1 \quad P_1 V_2 = P_2 V_1 = X$$

$$\frac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1) = C V \Delta T$$

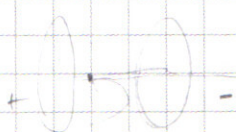
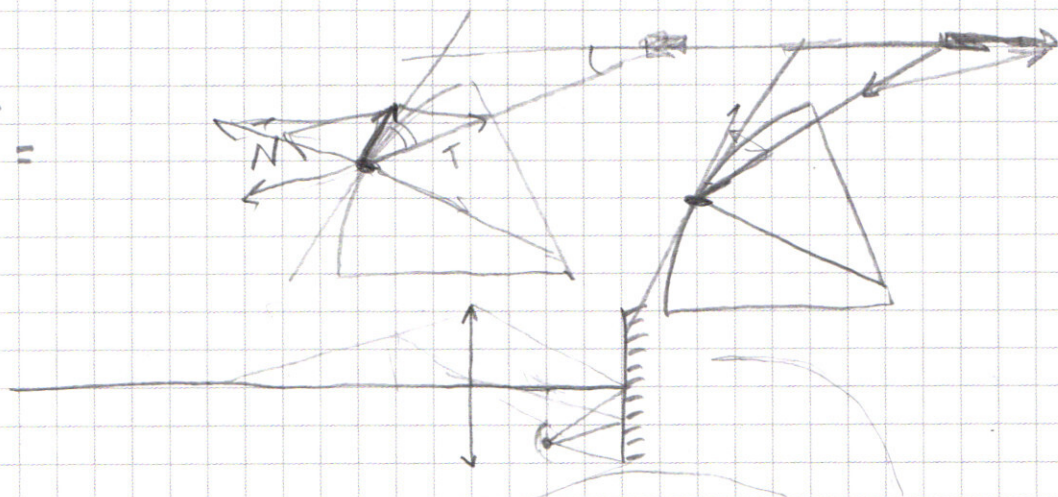
$$p_2 V_2 - p_1 V_2 - p_2 V_1 + p_1 V_1$$

$$\frac{\alpha V_2^2 + \alpha V_1^2 - 2 \times \frac{3}{2} V_1 (P_2 - P_1) = C}{3 \times - 3 \alpha V_1^2 + 5 \alpha V_2^2 - 5 \times \frac{V_2^2 + V_1^2 - 2 \times 5 V_2^2 - 3 V_1^2}{5 V_2^2 - 3 V_1^2}}$$



$$\frac{3}{2}R_3 = C$$

$$\frac{mv_1^2}{2} =$$



$$F = \max$$

$$m \frac{v}{T} = \frac{qQ}{\epsilon_0 S}$$

$$\frac{mv^2}{2} = F \cdot 0,75d$$

$$1 - \frac{kQ}{\epsilon_0 S} = \frac{v}{T}$$

$$a_x = v = a_x T$$

$$F = m \frac{v}{T}$$

$$\frac{kQ}{\epsilon_0 S} = \frac{1,5d}{T^2}$$

$$Q = \frac{1,5 \epsilon_0 S d}{T^2}$$

$$\frac{mv^2}{2} = m \frac{v}{T} 0,75d$$

$$v = 20, \quad v = 1,5 \frac{d}{T}$$

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

$$\frac{U}{d} = E$$

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

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

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