

# Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

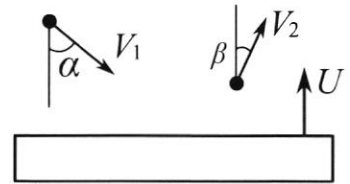
Класс 11

Вариант 11-03

Шифр

(заполняется секретарем)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью  $U$  вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость  $V_1 = 12$  м/с, направленную под углом  $\alpha$  ( $\sin \alpha = \frac{1}{2}$ ) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью  $V_2$ , составляющей угол  $\beta$  ( $\sin \beta = \frac{1}{3}$ ) с вертикалью.

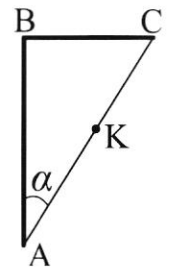


- 1) Найти скорость  $V_2$ .
  - 2) Найти возможные значения скорости плиты  $U$  при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится водород, во втором – азот, каждый газ в количестве  $\nu = 6/7$  моль. Начальная температура водорода  $T_1 = 350$  К, а азота  $T_2 = 550$  К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Газы считать идеальными с молярной теплоемкостью при постоянном объеме  $C_V = 5R/2$ .  $R = 8,31$  Дж/(моль·К).

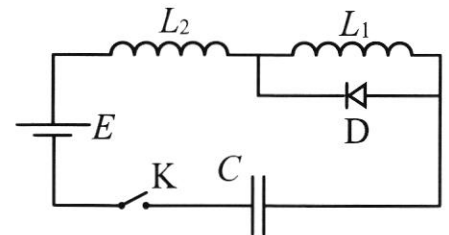
- 1) Найти отношение начальных объемов водорода и азота.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал азот водороду?

3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



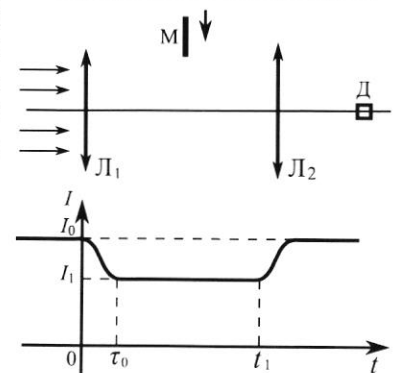
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол  $\alpha = \pi/4$ . Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда  $\sigma_1 = 3\sigma$ ,  $\sigma_2 = \sigma$ , соответственно. Угол  $\alpha = \pi/5$ . Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС  $E$ , катушек с индуктивностями  $L_1 = 4L$ ,  $L_2 = 3L$ , конденсатора емкостью  $C$ , диода D (см. рис.). Ключ  $K$  разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в  $L_1$ .



- 1) Найти период  $T$  этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток  $I_{M1}$ , текущий через катушку  $L_1$ .
- 3) Найти максимальный ток  $I_{M2}$ , текущий через катушку  $L_2$ .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз  $L_1$  и  $L_2$  (см. рис.) с фокусными расстояниями  $3F_0$  и  $F_0$ , соответственно. Расстояние между линзами  $2F_0$ . Диаметры линз одинаковы и равны  $D$ , причем  $D$  значительно меньше  $F_0$ . На линзу  $L_1$  падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе Д, на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень М, плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии  $F_0$  от  $L_1$ . На рисунке показана зависимость тока  $I$  фотодетектора от времени  $t$  (секундомер включен в момент начала уменьшения тока).  $I_1 = 5I_0/9$ .



- 1) Найти расстояние между линзой  $L_2$  и фотодетектором.
- 2) Определить скорость  $V$  движения мишени. 3) Определить  $t_1$ .

Известными считать величины  $F_0$ ,  $D$ ,  $\tau_0$ .

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 1.  
Дано:

$$v_1 = 12 \frac{m}{c}$$

$$\sin \alpha = \frac{1}{2}$$

$$\sin \beta = \frac{1}{3}$$

$v_2, u$  - ?

Решение:

горизонтальная составляющая скорости шарика

неизменяется:  $\sin \alpha \cdot v_1 = \sin \beta \cdot v_2$

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{12 \frac{m}{c} \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{3}} = 18 \frac{m}{c}$$

Поскольку планка наклонная, то её шарики движутся. Вертикальная составляющая скорости шарика в точке отрыва планки:

$$p = m(v_1 \cos \alpha + u) = m(v_2 \cos \beta - u)$$

$$v_1 \cos \alpha + u = v_2 \cos \beta - u$$

$$u = \frac{v_2 \cos \beta - v_1 \cos \alpha}{2} = \frac{18 \cdot \frac{\sqrt{8}}{3} - 12 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{2} =$$

$$= 3\sqrt{8} - 3\sqrt{3}$$

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \frac{\sqrt{8}}{3}$$

Ответ: 1)  $v_2 = 18 \frac{m}{c}$

2)  $u = 6\sqrt{2} - 3\sqrt{3}$

№ 2

Инициалы:

Дано:

$$V = \frac{6}{7} \text{ моль}$$

$$T_A = 350 \text{ K}$$

$$T_B = 550 \text{ K}$$

$$C_V = \frac{5R}{2}$$

Каноническое состояние системы;  $P \cdot V_B = \nu R T_B$ ;

$$P \cdot V_A = \nu R T_A \Rightarrow \frac{V_B}{V_A} = \frac{T_A}{T_B} = \frac{350 \text{ K}}{550 \text{ K}} = \frac{7}{11} \Rightarrow V_A = \frac{11}{7} V_B$$

В любой момент времени газы имеют в равновесии.

$$V = V_B + V_A = \frac{18}{7} V_B = \frac{18}{11} V_A$$

После установления равновесия температура (T):

$$P' \cdot V_A' = \nu R T' \quad P' \cdot V_B' = \nu R T' \Rightarrow$$

$$V_A' = V_B' = \frac{1}{2} V = \frac{9}{7} V_B \quad ; \quad P' (V_A' + V_B') = 2 \nu R T' \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P' \cdot V = 2 \nu R T' \quad ; \quad \nu P' = \nu P, \text{ так как внутренняя}$$

энергия системы не изменилась;

$$\text{тогда } T' = \frac{T_A + T_B}{2} = \frac{350 \text{ K} + 550 \text{ K}}{2} = 450 \text{ K}$$

Если проводить изотермический процесс для водорода:

$$Q_0 = C_V \nu \Delta T = \nu U_0 = \frac{5}{2} \nu R \Delta T, \text{ тогда}$$

$$Q = \nu U + A_0 = \frac{5}{2} \nu R (T - T_0) + P \cdot (V_B' - V_B) \quad ; \quad P = \frac{\nu R T_0}{V_B}$$

$$Q = \frac{5}{2} \nu R (T - T_0) + \nu R T_0 \frac{1}{V_B} \left( \frac{9}{7} V_B - V_B \right) = \nu R \left( \frac{5}{2} (T - T_0) + T_0 \left( \frac{2}{7} - 1 \right) \right) =$$

$$= \frac{5}{7} \cdot 8,31 \left[ \frac{5}{2} (450 - 350) + 350 \cdot \left( -\frac{5}{7} \right) \right] = 7,14 (250 - 100) \text{ Дж} =$$

$$= 2500 \text{ Дж}$$

Ответ: 1)  $\frac{V_B}{V_A} = \frac{7}{11}$  2)  $T = 450 \text{ K}$  3)  $Q = 2500 \text{ Дж}$

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

Решение:

Дано:

$$1) \angle 2 = \frac{\pi}{4}$$

$$E_0/E_1 = ?$$

$$2) \sigma_1 = 3\sigma$$

$$\sigma_2 = \sigma$$

$$\angle 2 = \frac{\pi}{5}$$

$$E_0 = ?$$

1) Выберем плоскость

$\alpha \parallel BC$  и  $\beta \parallel AB$ , пересекающиеся в  $(\cdot)K$ , тогда

через  $\alpha$  поток вектора напряженности  $\vec{E}$

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{S} = \frac{q}{2\epsilon_0} \cdot S$$

теореме Гаусса.

$$E_1 = \frac{q}{25\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

Полное заряды  $AB$  возмущают

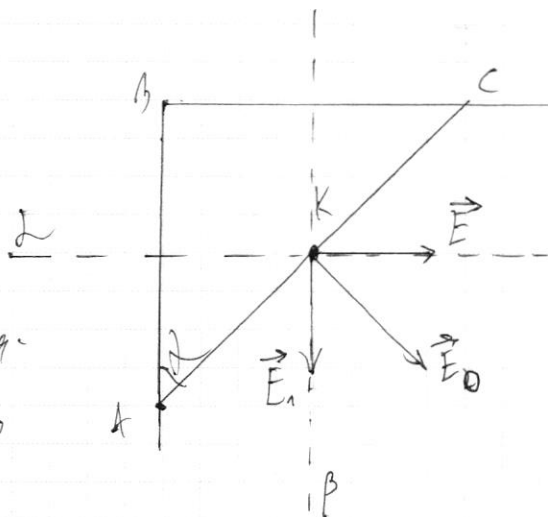
поток через  $\beta$ :  $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ , тогда  $E_0 = \sqrt{E^2 + E_1^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \sqrt{2}$

$$\frac{E_0}{E_1} = \sqrt{2}$$

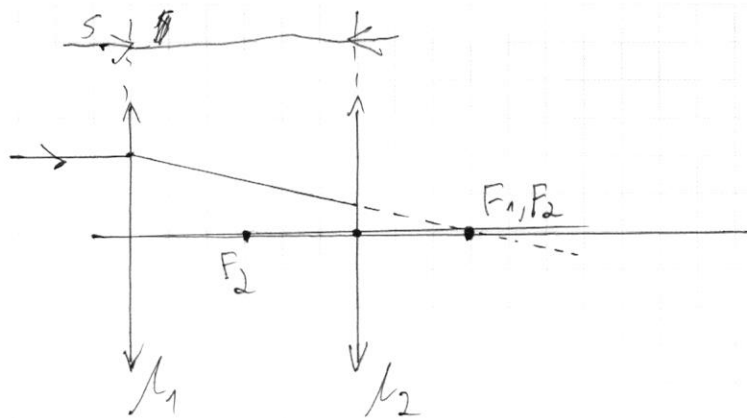
$$2) \text{Уг } (\alpha) : E_1 = \frac{\sigma_1}{2\epsilon_0} ; E = \frac{\sigma_2}{2\epsilon_0} ; E_0 = \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} =$$

$$= \frac{1}{2\epsilon_0} \cdot \sqrt{9\sigma^2 + \sigma^2} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \cdot \sqrt{10}$$

Ответ: 1)  $\frac{E_0}{E_1} = \sqrt{2}$ ; 2)  $E_0 = \frac{\sqrt{10} \cdot \sigma}{2\epsilon_0}$



$s = 2F_0$   
 дано: Пропуск линзы  $L_1$   
 $F_1 = 3F_0$  свет ~~идет~~ собирается на  
 $F_2 = F_0$  расстоянии  $f_1$ :  
 $S = 2F_0$   $\frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1} = \frac{1}{F_1}$ , где  $d_1 = 0$   
 $I_1 = 5b/9$   $\Rightarrow f_1 = F_1$  - на расстоянии



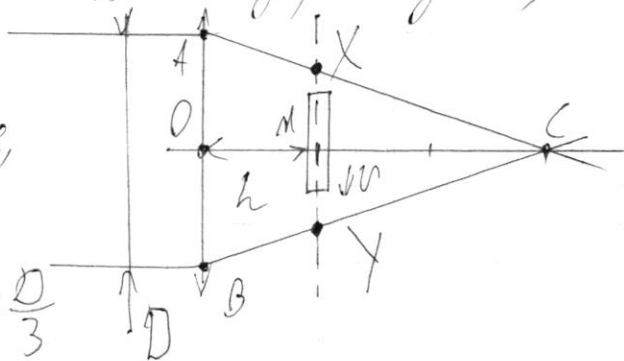
$d_2$  - от  $L_2$ , тогда формула линзы для  $L_2$  дает  
 точку линзы:  $-\frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{F_2}$ ,  $f_2 = \frac{1}{\frac{1}{F_2} + \frac{1}{d_2}}$  - расстояние

от  $L_2$  до ~~линзы~~ места, где собирается свет:  ~~$f_2 = \frac{1}{\frac{1}{F_2} + \frac{1}{d_2}}$~~   
 $d_2 = F_1 - S = F_0$ ;  $f_2 = \frac{1}{\frac{1}{F_0} + \frac{1}{F_0}} = F_0/2$

В период времени  $T_0 - t_1$  линза была в точке  
 на расстоянии от  $L_1$ :  $h = \frac{1}{2}S = F_0$

$XY = d$  - диаметр пучка в момент,  
 где ее пересекли линзы.

$$\frac{XY}{AB} = \frac{h}{OC}; \quad d = XY = \frac{AB \cdot h}{OC} = \frac{D \cdot F_0}{3F_0} = \frac{D}{3}$$



~~результат~~ т.к. сила пучка перпендикулярна линзе, то она  
 перпендикулярна плоскости пучка:  $\frac{I_0}{I_1} = \frac{\pi(d/2)^2}{\pi(d/2)^2 - \pi(h/2)^2}$ , где  $h$  -

$h$  - диаметр линзы:  $h^2 = \frac{I_1}{I_0} (d/2)^2 + d^2 = (1 - \frac{5}{9})d^2 = \frac{4}{9}d^2$ ;  $h = \frac{2}{3}d$

В моменте  $T_0$  линза была в точке:  ~~$h = v \cdot T_0$~~

$$v = \frac{2}{3}d/v_0 = \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{3} = \frac{2D}{9v_0}, \text{ тогда } d - h = v(t_1 - T_0) \cdot v_0$$

$$t_1 = T_0 + \frac{\frac{1}{3}d}{\frac{2}{9} \frac{D}{v_0}} = T_0 + \frac{\frac{1}{9}D}{\frac{2}{9} \frac{D}{v_0}} = T_0 + \frac{v_0}{2v_0} = 1,5 T_0$$

Ответ: 1)  $f_2 = \frac{F_0}{2}$  2)  $t_1 = 1,5 T_0$

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Уч

Дано:

$h_1 = 4L$

$h_2 = 3L$

$C$

Решение:

При зарядке конденсатора  $T_1 = 2\pi\sqrt{(h_1+h_2)C}$

При разрядке  $T_2 = 2\pi\sqrt{h_2C}$ , так как  
звон затухает и напряжение  $U_0$  на катушке 1.

$T = \frac{T_1}{2} + \frac{T_2}{2} = \pi(\sqrt{7LC} + \sqrt{3LC}) = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{7} + \sqrt{3})$

$I_{M1}$  - при зарядке конденсатор, когда  $U_0 = 0$  и  $U_k = E$

$U_k$  - напряжение конденсатор, когда  $E = \frac{L_1 I_1'}{\Delta t} + \frac{L_2 I_2'}{\Delta t}$

$E = L_1 I_1' + L_2 I_2'$ ;  $I_1' = I_m \sin \omega t$ ;  $I_2' = I_m \cos \omega t$

$I_1' = I_m \cos \omega t$

$E = (L_1 + L_2) I_m \omega \cos \omega t$ ; где  $\cos \omega t = 1$

$I_{M1} = \frac{E}{(L_1 + L_2) \omega} = \frac{E}{7L + 3L} \cdot \frac{1}{\omega}$ ;  $\omega = \frac{1}{\sqrt{(h_1+h_2)C}}$

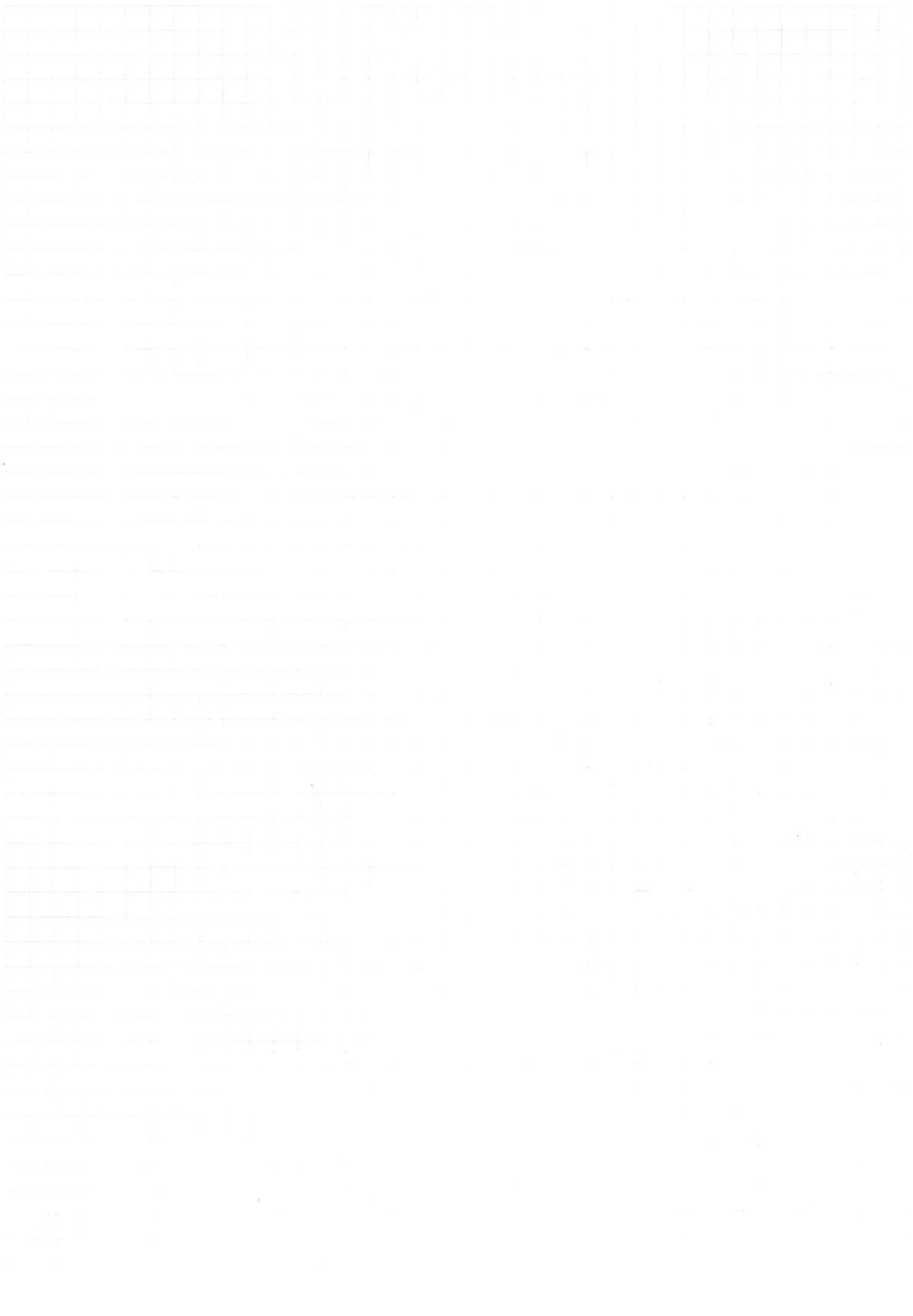
$I_{M1} = \frac{E \cdot \sqrt{LC}}{\sqrt{h_1+h_2}} = \frac{E \sqrt{LC}}{\sqrt{7L}}$ ;  $I_{M2}$  - при разрядке конденсатора

$E = \frac{L_2 I_2'}{\Delta t} = L_2 \frac{I_2'}{\Delta t}$ ;  $I_2' = I_m \cos \omega t \cdot \omega$

$E = L_2 \cdot I_m \cdot \omega (\cos \omega t = 1)$ ;  $\omega = \frac{1}{\sqrt{h_2 C}}$

$I_{M2} = \frac{E}{L_2 \omega} = \frac{E \sqrt{LC}}{\sqrt{L_2}} = \frac{E \sqrt{LC}}{\sqrt{3L}}$

Ответ: 1)  $T = \pi\sqrt{LC}(\sqrt{7} + \sqrt{3})$  2)  $I_{M1} = \frac{E \sqrt{LC}}{\sqrt{7L}}$  3)  $I_{M2} = \frac{E \sqrt{LC}}{\sqrt{3L}}$



черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$4. T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$R_L = \omega L$$

$$R_C = \frac{1}{\omega C}$$

5.

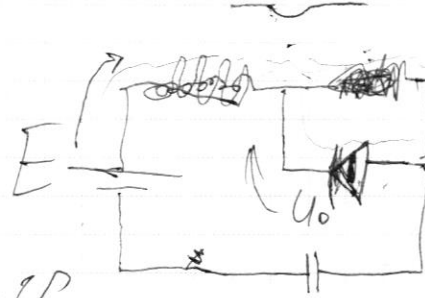
Дано:

$$F_1 = 3F_0, F_2 = F_0$$

$$L = 2F_0$$

$$E = U_L + U_C + U_R$$

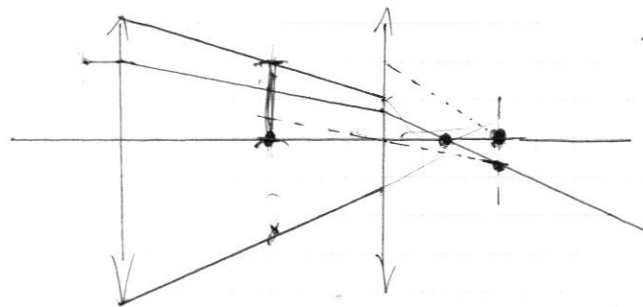
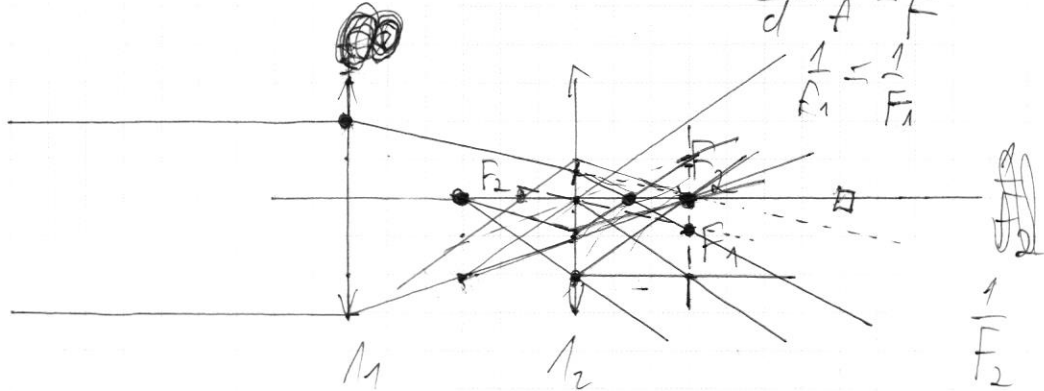
$$I(t) = (I_m \sin \omega t)$$



$$\frac{L \cdot I_1}{t} + \frac{L \cdot I_2}{t} = E$$

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{A} = \frac{1}{F}$$

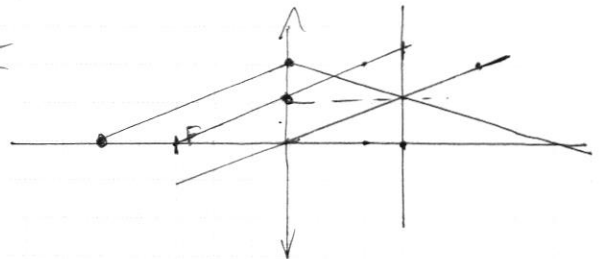
$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{F_2}$$



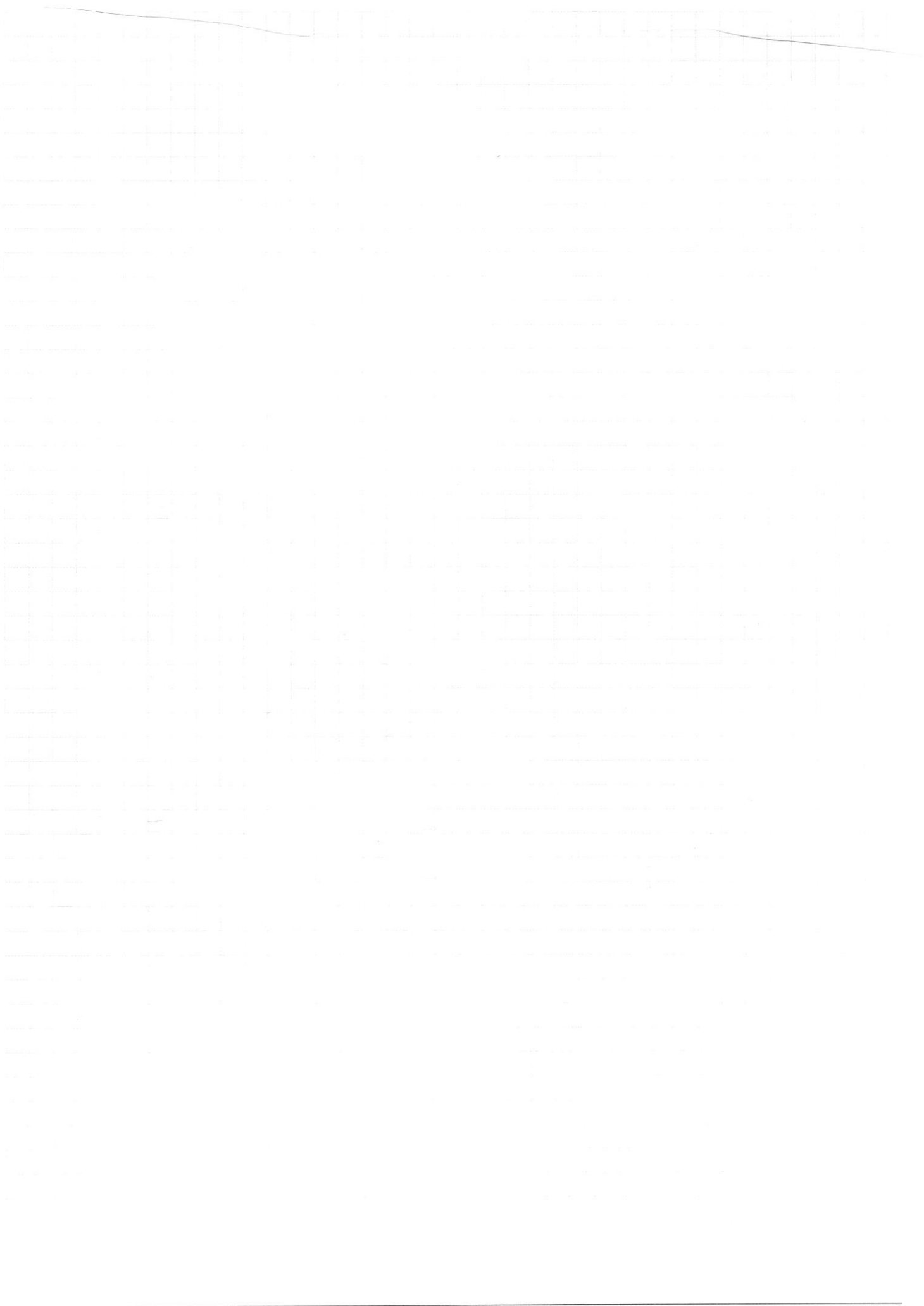
$$-\frac{1}{F_0} + \frac{1}{dF} = \frac{1}{F_0}$$

$$f = \frac{2F_0}{2}$$

$$f_1 =$$



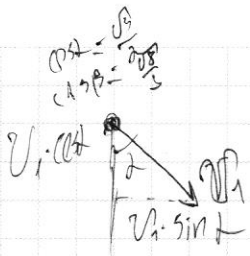




черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

### ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$P_y = m v_1 \cos \alpha = m v_2 \cos \beta$$

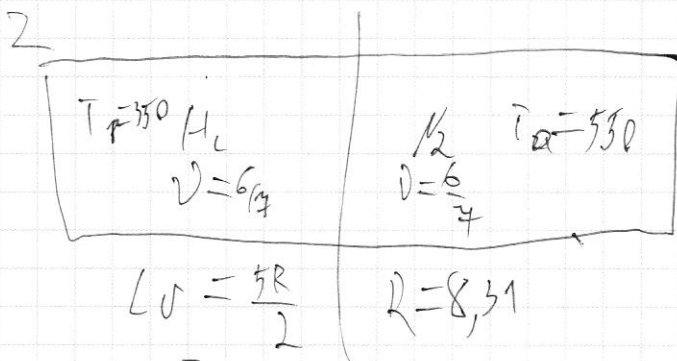
$$v_2 = \frac{v_1 \cos \alpha}{\cos \beta}$$

$$\sin \alpha v_1 = \sin \beta v_2$$

$$v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta}$$

амплитуда импульса:  $P_y' = m (v_1 \cos \alpha - v_2 \cos \beta)$

$P =$



$$U = U_B + \frac{11}{7} U_B = \frac{18}{7} U_B$$

$$U_B' = \frac{1}{2} U = \frac{9}{7} U_B$$

$$P = \frac{D R T_B}{U_B} \quad P' = \frac{D R T'}{\frac{9}{7} U_B}$$

1)  $\frac{U_{B0}}{U_{B0}}$

$$\frac{P U_B = D R T_B}{P U_A = D R T_A} \quad \frac{U_B}{U_A} = \frac{T_B}{T_A} = \frac{350}{550} \quad U_B = U_A \cdot \frac{35}{55}$$

$Q = \int I d\Phi = C D \Delta T = C D_A T \quad U = U_B + U_A = \frac{D R (T_B + T_A)}{P}$

$P U_B' = D R T'$

$2 U_B' = \frac{D R 2 T'}{P}$

$A_B =$

$$\frac{P'}{T'} = \frac{4 P}{9 T_B} = \frac{2 R}{U} \quad P U = D R T_B \quad \frac{P U_B}{T_B} = \frac{P' \frac{2}{7} U_B}{T'}$$

$\frac{4}{9} P U = D R T_B \quad \frac{2}{9} P U = D R T_A$

$\frac{4}{2} = \frac{T_A}{T_B}$

$$D = \frac{6}{7}$$

$$T_0 = 350$$

$$T_{00} = 350$$

$$C_0 = \frac{5R}{2}$$

$$P V_0 = D R T_0 \quad P V_a = D R T_a$$

$$V_0 = V_a \cdot \frac{T_0}{T_a} = V_a \cdot \frac{35}{34}$$

$$V = V_0 + \frac{11}{7} V_0 = \frac{18}{7} V_0 = \frac{18}{7 \cdot 1} V_a$$

$$\sqrt{P} \cdot P' = 2 D R T'$$

$$V = 2 V_0' = 2 V_a', \quad V_0' = \frac{9}{7} V_0 = V_a'$$

$$\sqrt{P} \cdot P = D R T_{00} + D R T_0$$

$$P \cdot V_a' = D R T'$$

$$P' \cdot V_0' = D R T'$$

$$\Delta U_0 + A_0 + \Delta U_a + A_a = 0$$

$$\frac{3}{2} D R (T' - T_0) + A_0 + \frac{3}{2} D R (T' - T_a) + A_a = 0$$

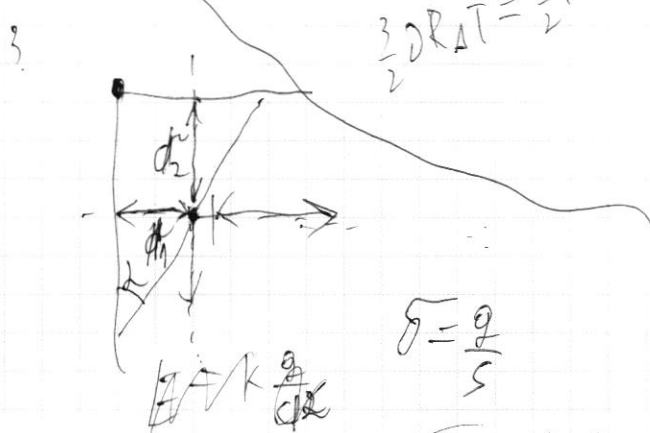
$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2} D R \Delta T = Q_0 = C_0 \cdot \Delta T$$

$$A_0 = A_a$$

$$Q = \frac{3}{2} D R \Delta T + \dots$$

$$Q = \frac{3}{2} D R \Delta T$$

$$\frac{3}{2} D R \Delta T = \frac{3}{2} P V$$



$$\frac{6}{7}$$

$$\begin{array}{r} 83157 \\ -7 \\ \hline 13 \\ -7 \\ \hline 61 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 35^2 \\ \times 419 \\ \hline 1140 \\ 35 \\ \hline 245 \\ 2499,0 \\ \hline 2499 \end{array}$$

$$E = \frac{9}{5}$$

$$E = 4 \text{ кг} \quad E = \frac{9}{5} \text{ кг} \quad E = \frac{9}{5} \text{ кг}$$

$$E = 20 \quad E = 20 \text{ кг} \text{ на массу}$$

$$E = \frac{9}{5} \quad \rho = E \cdot S$$

$$\rho = E \cdot S = 4 \text{ кг} = \frac{9}{5}$$

$$E = \frac{9}{5 \cos}$$

$$E = \frac{9}{5}$$

$$\rho = \frac{9}{5}$$

$$r_1 = \frac{1}{2} \cos \alpha \cdot A C$$

$$r_2 = \frac{1}{2} \sin \alpha \cdot A C$$