

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

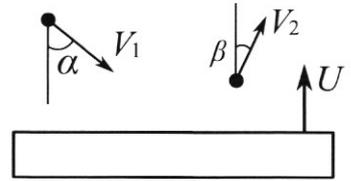
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарём)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) с вертикалью.

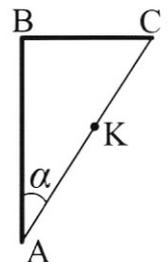


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

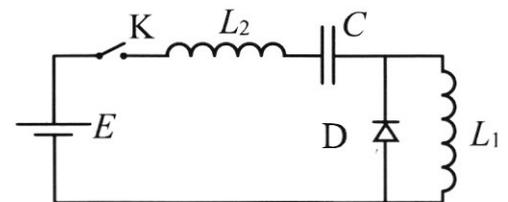
- 1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

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.



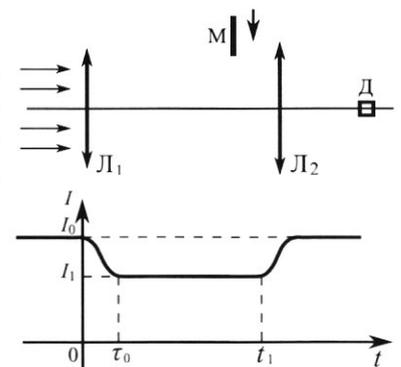
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. 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 $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ К разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{01} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{02} , текущий через катушку L_2 .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. 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 $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.



- 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 , τ_0 .



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\nu \cong 2.$$

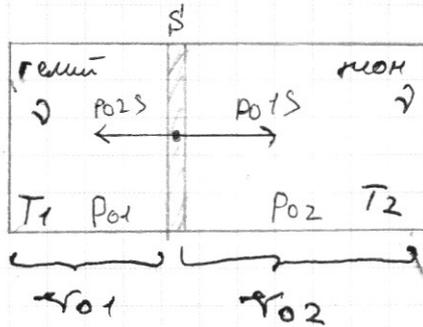
$$\nu = \frac{6}{25} \text{ моль}$$

$$T_1 = 330 \text{ К} \quad \begin{matrix} \text{гелий} \\ \text{ион} \end{matrix}$$

$$T_2 = 440 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

1) Изотермическая ситуация



• процесс медленный \Rightarrow
 \Rightarrow поршень в каждый момент времени в равновесии:

$$p_{02}S = p_{01}S - \text{цель в каждый момент}$$

$$p_{02} = p_{01}$$

1) $\frac{V_{01}}{V_{02}} = ?$

2) $T = ?$

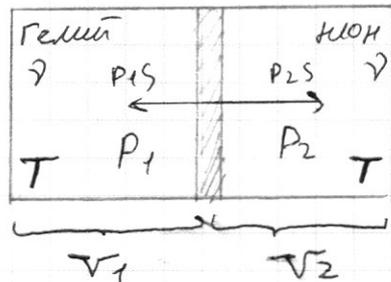
3) $Q = ?$

• 3. м-к: $p_{01} V_{01} = \nu R T_1$ - гелий
 $p_{02} V_{02} = \nu R T_2$ - ион \Rightarrow

$$\Rightarrow \frac{p_{01} V_{01}}{p_{02} V_{02}} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2} \Rightarrow \frac{V_{01}}{V_{02}} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330}{440} = \frac{33}{44} = \frac{3}{4}$$

2) Термод. равновесие:

• $p_1 S = p_2 S \rightarrow p_1 = p_2$



• 3. м-к: $p_1 V_1 = \nu R T_1$
 $p_2 V_2 = \nu R T_2 \rightarrow V_1 = V_2$

• И начало для газо в: гелий - $Q_r = \frac{3}{2} \nu R (T - T_1) + A_r$

См следующую страницу

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница № 2
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

неон: $-Q_{отг} = \frac{3}{2} \nu R (T - T_2) + A_H$

- Т.к. сосуд теплоизолирован, а процесс теплопроводности:

$$Q_H = -Q_{отг}$$

- $\delta A_H = p_H dV_H$ $dV_H = -dV_G$ $\Rightarrow A_H = -A_G = -A$
 $\delta A_G = p_G dV_G$; $p_H = p_G$

- $$\begin{cases} -Q_{отг} = \frac{3}{2} \nu R (T - T_2) - A \\ +Q_{отг} = \frac{3}{2} \nu R (T - T_1) + A \end{cases} \rightarrow \text{сложим:}$$

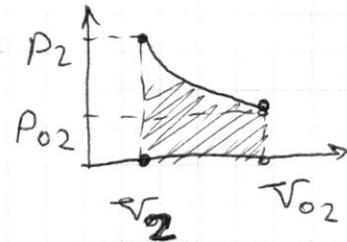
$$0 = \frac{3}{2} \nu R (T - T_2) + \frac{3}{2} \nu R (T - T_1)$$

$$0 = T - T_2 + T - T_1$$

$$T = \frac{T_2 + T_1}{2} = \frac{330 + 440}{2} = 385 \text{ K}$$

3) • $pV = \nu RT \Rightarrow p(V) = \frac{\nu RT}{V}$

$$A_H = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_{02}}$$



- Объем сосуда неизменен: $2V_2 = V_{02} + \frac{3}{4}V_{02}$
 ~~$2V_2 = V_{02} + \frac{3}{4}V_{02}$~~ $\Rightarrow \frac{V_2}{V_{02}} = \frac{7}{8}$
 $2V_2 = \frac{7}{4}V_{02} \Rightarrow \frac{V_2}{V_{02}} = \frac{7}{8}$

$$\Rightarrow A_H = \nu RT \ln \frac{7}{8}$$

$$-Q_{\text{org}} = \frac{3}{2} \nu R (T - T_2) + \nu R T \ln \frac{7}{8}$$

$$-Q_{\text{org}} = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - T_2 \right) + \nu R T \ln \frac{7}{8}$$

$$-Q_{\text{org}} = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{T_1 - T_2}{2} \right) + \nu R T \ln \frac{7}{8}$$

$$-Q_{\text{org}} = \frac{3}{2} \nu R \left(\frac{T_1 - T_2}{2} \right) + \frac{\nu R (T_1 + T_2)}{2} \ln \frac{7}{8}$$

$$Q_{\text{org}} = \frac{3}{4} \nu R (T_2 - T_1) - \frac{1}{2} \nu R (T_1 + T_2) \ln \frac{7}{8}$$

$$\begin{aligned} \ln \frac{7}{8} \approx -1 &\Rightarrow Q_{\text{org}} = \frac{3}{4} \nu R (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} \nu R (T_1 + T_2) = \\ &= \frac{\nu R}{2} \left(\frac{3}{2} T_2 - \frac{3}{2} T_1 + T_1 + T_2 \right) = \frac{\nu R}{2} \left(\frac{5}{2} T_2 - \frac{1}{2} T_1 \right) = \\ &= \frac{\nu R}{4} (5T_2 - T_1) = \frac{6 \cdot 8,31}{25 \cdot 4} (5 \cdot 440 - 330) = \\ &= \frac{1870 \cdot 49,86}{100} = 9450 \text{ Дж} \end{aligned}$$

Ответ: 1) $\frac{3}{4}$

2) $\frac{T_1 + T_2}{2} = 385 \text{ К}$

3) $Q_{\text{org}} = \frac{3}{4} \nu R (T_2 - T_1) - \frac{1}{2} \nu R (T_1 + T_2) \ln \frac{7}{8} =$
 $= 9450 \text{ Дж.}$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\alpha \cong 3$$

1) ~~Врада~~

$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

2) $\sigma_1 = 4\sigma - BC$

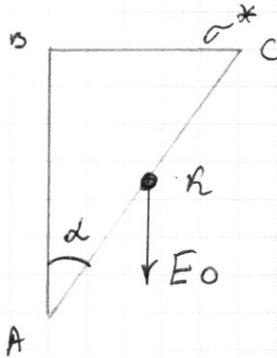
$AB - \sigma_2 = \sigma$

$$\alpha = \frac{\pi}{8}$$

1) $\frac{E_1}{E_0} = ?$

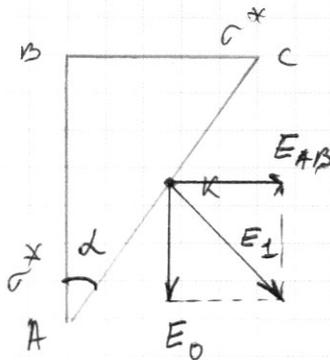
2) $E_2 = ?$

1) Зарядка только BC с $\sigma^* > 0$



$$E_0 = \frac{\sigma^*}{2\epsilon_0}$$

Зарядка и BC, и AC с $\sigma^* > 0$.



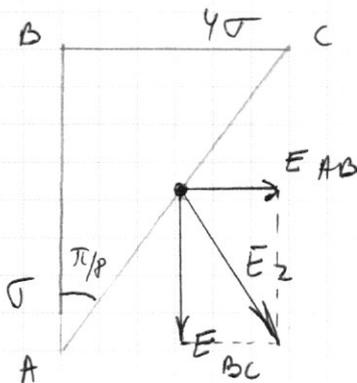
$$E_{AB} = \frac{\sigma^*}{2\epsilon_0} = E_0$$

$$E_1 = \sqrt{E_0^2 + E_{AB}^2} \text{ по принципу суперпоз.}$$

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

$$\Rightarrow \frac{E_1}{E_0} = \sqrt{2} = 1,4 \text{ раза}$$

2)



$$E_2 = \sqrt{E_{AB}^2 + E_{BC}^2}$$

$$E_{AB} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}; E_{BC} = \frac{4\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{2\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E_2 = \sqrt{\frac{\sigma^2}{4\epsilon_0^2} + \frac{4\sigma^2}{\epsilon_0^2}} = \sqrt{\frac{\sigma^2 + 16\sigma^2}{4\epsilon_0^2}} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{17}$$

Ответ: 1) $\sqrt{2}$ ^{увеличится} = 1,4 раз ~~а~~

2) $\frac{\sigma}{2\epsilon_0} \sqrt{17}$

см. следующую страницу

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\sqrt{\epsilon} = 4.$$

Е

$$L_1 = 3L$$

$$L_2 = 2L$$

С

$$1) T = ?$$

$$2) I_{01} = ?$$

$$3) I_{02} = ?$$

1) Сначала тока нет. Затем он будет увеличиваться от 0 до макс значения. До этого момента диод будет ~~закрывается~~ закрыт.

Когда ток начнет падать, на протяжении на катушке

L_1 станет < 0 . Это значит, что потенциал

анода у диода D станет $>$ потенциала катода,

и диод D откроется. Направление на катушке

L_1 станет постоянным и равным нулю, а

из-за того, что ток на ней скачкообразно не изменяется, он останется равным значению перед открытием

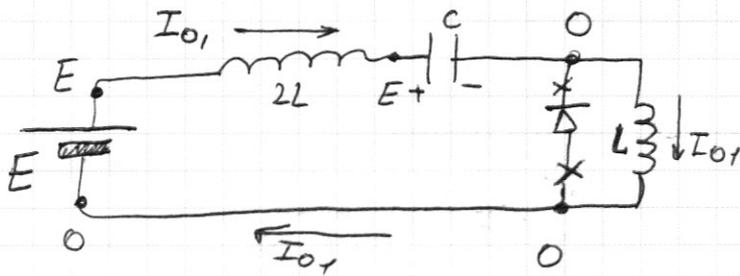
диода. Диод уже не закроется, а ток через L_1 всегда будет равен I_{01} .

$$2) T = 2\pi \sqrt{L_2 C_2} \text{ — формула Томсона}$$

$$T = 2\pi \sqrt{3LC}$$

3) Расим. момент времени, когда $I_1 = I_{01}$, но диод еще не открылся $t = t_1$.

Напряжения на катушках = 0.



метод потенциалов

- Энергия в катушке
- $W(0) = 0$, т.к. нет ни заряда, ни ~~тока~~.

$$W(t_1) = \frac{2L \cdot I_{01}^2}{2} + \frac{L \cdot I_{01}^2}{2} + \frac{C \cdot E^2}{2}$$

$$q^* = C E$$

$\sigma_{\text{вн}} = 0$
 $\sigma_{\text{вн}} = -CE$

$$q^* = C E \Rightarrow A\sigma = E^2 \cdot C$$

$$\text{Зумэ: } E^2 \cdot C = \frac{3L I_{01}^2}{2} + \frac{C E^2}{2}$$

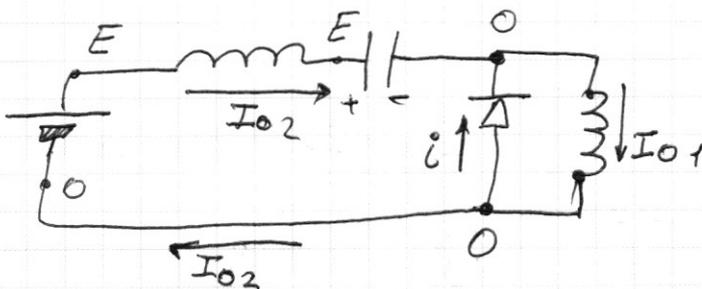
$$2C E^2 = 3L I_{01}^2 + C E^2$$

$$3L I_{01}^2 = C E^2$$

$$I_{01}^2 = \frac{C E^2}{3L} \Rightarrow$$

$$I_{01} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

4) Рассм. мом. времени $t = t_2$, когда ток через L_2 максимален и равен I_{02} :



метод потенциалов

$$W(t_2) = \frac{2L I_{02}^2}{2} + \frac{C E^2}{2} + \frac{L I_{01}^2}{2}$$

$$A\sigma = C E^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

• Зумэ: $CE^2 = \frac{2LI_0^2}{2} + \frac{CE^2}{2} + \frac{LI_0^2}{2} - 0$

$$CE^2 = \frac{2LI_0^2}{2} + \frac{CE^2}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{CE^2}{3} \quad | \cdot 6$$

$$6CE^2 = 6LI_0^2 + 3CE^2 + CE^2$$

$$2CE^2 = 6LI_0^2 \Rightarrow I_0^2 = \frac{CE^2}{3L}$$

$$I_0 = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$$

Ответ: 1) $T = 2\pi \sqrt{3LC}$

2) $I_{01} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

3) $I_{02} = E \sqrt{\frac{C}{3L}}$

$\sigma = 1$

$u = \text{const}$

$v_1 = 6 \frac{m}{c}$

$\sin \alpha = \frac{2}{3}$

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

1) $v_2 = ?$

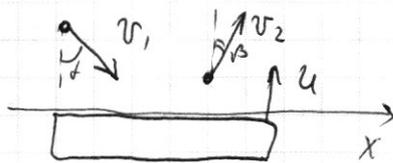
2) $u = ?$

удар неупругий

1) $\vec{R}_{\text{внеш}} \cdot dt = \Delta \vec{P}_{\text{ш}} \rightarrow \Delta \vec{P}_{\text{ш}} = (\vec{N} + m\vec{g}) \cdot dt$

~~на шарик не действует горизонтальных~~

~~сил~~ $\Delta P_x = 0 \cdot dt \Rightarrow P_{\text{ш}x} = \text{const}$



ЗСУ: $m v_1 \cdot \sin \alpha = m v_2 \cdot \sin \beta \Rightarrow$

$$\Rightarrow v_2 = \frac{v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}}{1} = 6 \cdot \frac{2 \cdot 3}{3 - 1} = 12 \frac{m}{c}$$

~~шарик не движется, если~~

Ответ: 1) $v_2 = v_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \frac{m}{c}$

~~5~~ $\sqrt{5}$

$d_1 = F_0$

$d_2 = \frac{F_0}{2}$

$I_1 = \frac{F}{g} I_0$

1) $s_2 = ?$

2) $v = ?$

3) $t_1 = ?$

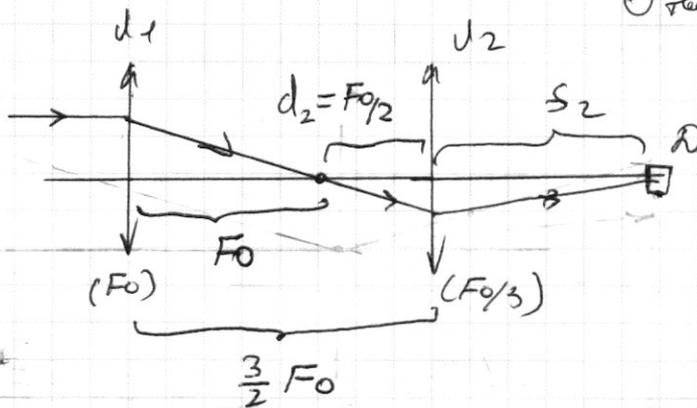
⓪ Ⓣ⓪

• 11-й лучок прилетел в фокусе d_1 на расстоянии F_0

⓪ ответ: 1) F_0

2) $\frac{D}{2\tau_0}$

3) $\frac{3}{2} \tau_0$

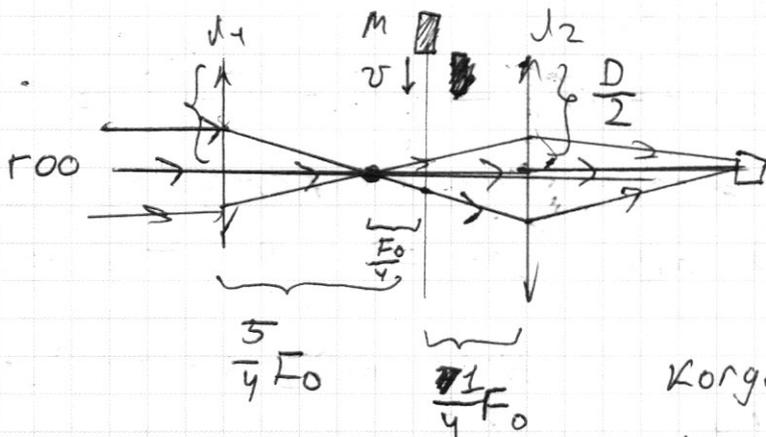


• $d_2 = \frac{F_0}{2} > \frac{F_0}{3} \Rightarrow \frac{1}{d_2} + \frac{1}{s_2} = \frac{3}{F_0}$

$\frac{2}{F_0} + \frac{1}{s_2} = \frac{3}{F_0}$

$\frac{1}{s_2} = \frac{1}{F_0} \Rightarrow s_2 = F_0$

2)

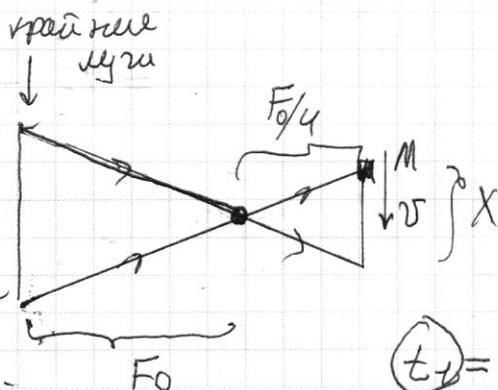


• $\frac{D}{2} = v \cdot \tau_0 \Rightarrow$

$v = \frac{D}{2\tau_0}$

Когда M оказывается на Γ_{00} , итерка внаер круга наименьшая.

3)

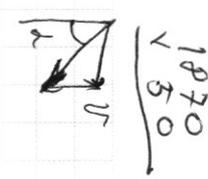
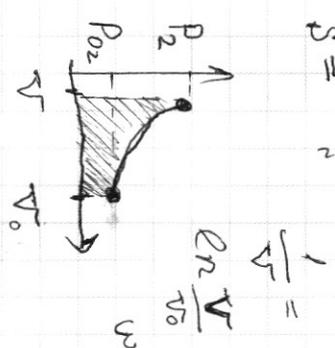


$\frac{X}{D} = \frac{F_0}{4 \cdot F_0} \Rightarrow X = \frac{D}{4}$

$\tau = \frac{X}{v} = \frac{D/4}{D/2\tau_0} = \frac{\tau_0}{2}$

$t_1 = \tau_0 + \tau = \frac{3}{2} \tau_0$

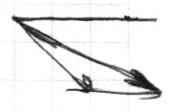
ПРТМ
 $G \cdot L = 2 \cdot v_0$
 F



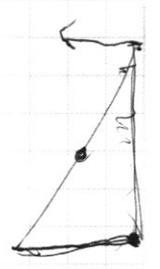
30 см:

$$-Q = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_{1,2}^2}{2}$$

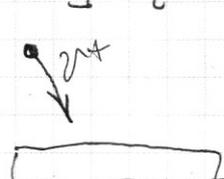
933
 $\frac{v}{v_0}$



$\Delta H = 0$
 Δz



$\Delta p = -m v$



$\Delta p = N \cdot \Delta t$

$\sum \Delta p = \sum F \Delta t$

$C = 0$

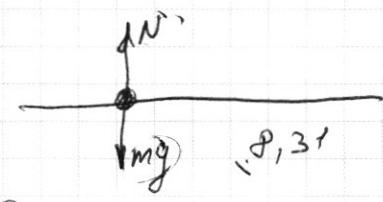
$H = H'$



93500
 $\times 50$
 46750

$Q = 3 \cdot 20 \cdot 7 + 0$

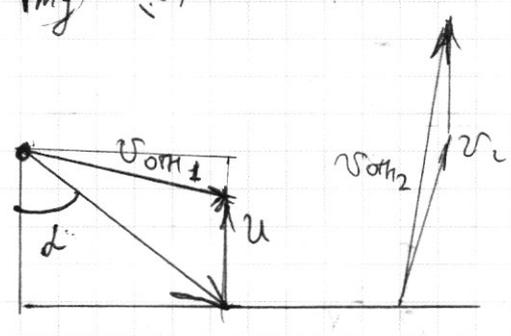
30 см
 $R_{внеш} \cdot \Delta t = \Delta p$



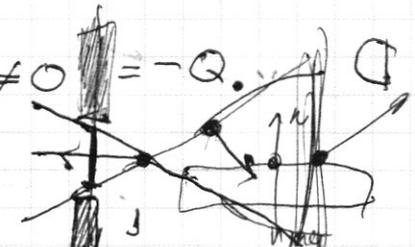
$49,86$

$8,31$

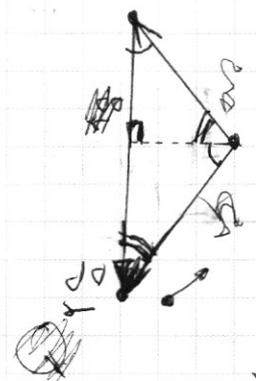
$\frac{440}{2}$
 $\times 5$
 $\frac{2200}{-330}$
 $\frac{1870}{}$



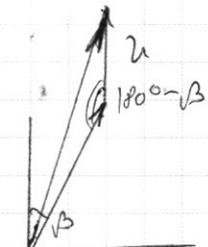
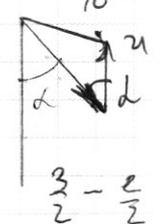
$A_{внеш} \neq 0 = -Q$



$\frac{440}{2}$
 $\times 5$
 $\frac{2200}{-330}$
 $\frac{1870}{}$

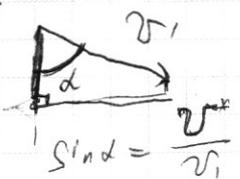


$\frac{25}{100} \times \frac{4}{100}$



$P(\tau) = ?$
 $P \cdot V = PRT$
 $P = \frac{PRT}{V}$

$8,31$
 $\times 6$
 $49,86$



$-Q = \frac{m v_2^2}{2} - \frac{m v_{1,2}^2}{2}$

9150
 $\times 50$
 45750