

# Олимпиада «Phystech.International» по физике

Декабрь 2017 года

Класс 11

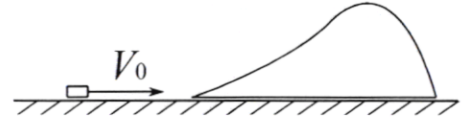
Шифр 1-002

(заполняется секретарём)

## Вариант 11-03

1. Небольшой шарик висит на легкой нити длиной 50 см. Какую минимальную горизонтальную скорость надо сообщить шарiku, чтобы он, двигаясь по окружности, совершил полный оборот в вертикальной плоскости? Принять  $g=10 \text{ м/с}^2$ .

2. Небольшая шайба массой  $m$  скользит по гладкому горизонтальному столу со скоростью  $v_0$  к неподвижной незакрепленной горке массой  $3m$  (см. рис.). Шайба въезжает на горку, движется по ней без трения и отрыва и съезжает с горки в обратном направлении.

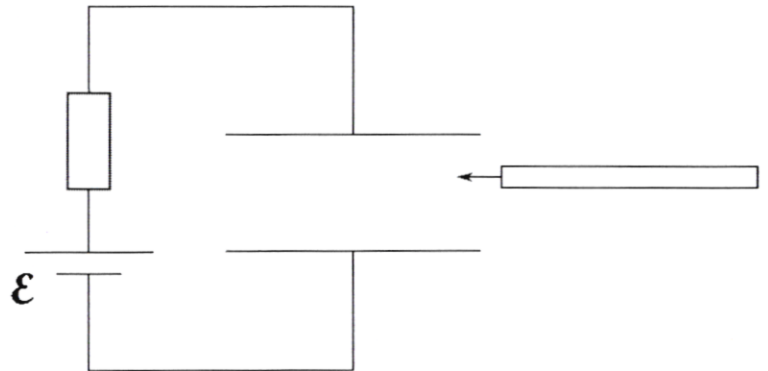


- 1) На какую максимальную высоту поднимается шайба?
- 2) С какой скоростью шайба съезжает с горки?

3. Теплоизолированный сосуд объемом  $V = 8,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  разделен перегородкой на две части с различными объемами. В первой части находится гелий при температуре  $27^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_1 = 0,2$  моль. Во второй части находится гелий при температуре  $7^\circ \text{C}$  в количестве  $\nu_2 = 0,3$  моль. Перегородка прорывается.

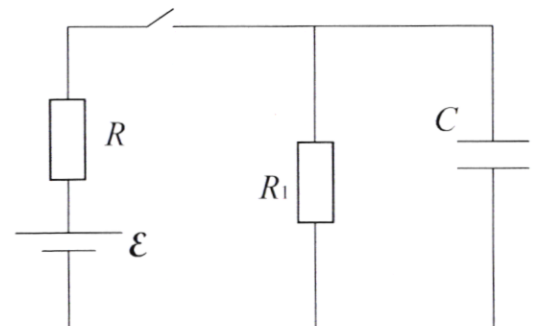
- 1) Какая температура (в градусах Цельсия) установится в сосуде после наступления термодинамического равновесия?
- 2) Найти конечное давление в сосуде.

4. Плоский воздушный конденсатор емкостью  $C_0$  подсоединен через резистор к источнику с ЭДС  $\mathcal{E}$  (см. рис.). В конденсатор вводят параллельно обкладкам незаряженную проводящую пластину и располагают ее напротив обкладок. Форма поверхности пластины совпадает с формой поверхности обкладок. Толщина пластины в 4 раза меньше расстояния между обкладками.



- 1) Найти емкость конденсатора с пластиной.
- 2) Какой заряд пройдет через резистор после начала введения пластины?

5. В цепи, схема которой показана на рисунке, ключ разомкнут. Параметры цепи указаны на схеме. Внутреннее сопротивление источника «содержится» в  $R$ ,  $R_1=3R$ . Ключ замыкают. После достижения в цепи установившегося режима ключ размыкают. Известными величинами считать  $C$ ,  $\mathcal{E}$ ,  $R$ .



- 1) Найти ток через источник сразу после замыкания ключа.
- 2) Найти установившееся напряжение на конденсаторе при замкнутом ключе.
- 3) Какое количество теплоты выделится в цепи после размыкания ключа?



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3

He $V_1, T_1, \nu_1$	He $V_2, T_2, \nu_2$
-------------------------	-------------------------

1) После того, как перегородка прорвалась, внутренняя энергия газа в каждой отсеке

уменьшалась, то есть происходил теплообмен.

Т.к. сосуд теплоизолирован, полная внутренняя энергия газов в сосуде сохранилась.

Пусть  $\Delta Q_1$  и  $\Delta Q_2$  — уменьшения внутр. энергии газа 1 и 2. По закону сохранения энергии:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2$$

$$\frac{3}{2} \nu_1 R (T_1 - T_x) = \frac{3}{2} \nu_2 R (T_x - T_2)$$

$$\nu_1 T_1 - \nu_1 T_x = \nu_2 T_x - \nu_2 T_2$$

$$\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2 = T_x (\nu_1 + \nu_2)$$

$$T_x = \frac{\nu_1 T_1 + \nu_2 T_2}{\nu_1 + \nu_2}$$

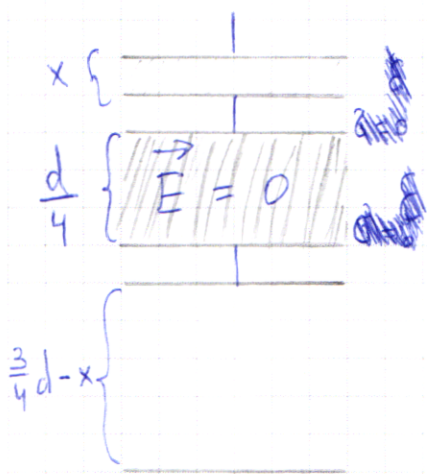
$$T_x = \frac{0,2 \cdot 300 + 0,3 \cdot 280}{0,5} = \frac{60 + 84}{0,5} = 288 \text{ (K)}$$

2) Закон Менделеева-Клапейрона для газа после наступления теплового равновесия:

$$pV = (\nu_1 + \nu_2) R T_x; \quad p = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 288}{8,31 \cdot 10^{-3}} = 144 \cdot 10^3 \text{ (Pa)}$$

Ответ: 1) 288 K      2)  $1,44 \cdot 10^5$  Па

ш4



1) Параллельный конденсатор можно представить как 2 последовательно соединенных конденсатора емкостью

$$\frac{\epsilon_0 S}{\frac{3}{4}d - x} \text{ и } \frac{\epsilon_0 S}{x}$$

$$\frac{1}{C_x} = \frac{\frac{3}{4}d - x}{\epsilon_0 S} + \frac{x}{\epsilon_0 S} =$$

$$= \frac{\frac{3}{4}d}{\epsilon_0 S} = \frac{3}{4} \frac{1}{C_0}$$

$$C_x = \frac{4C_0}{3}$$

2) Работа источника равна изменению энергии конденсатора

$$\epsilon \Delta q = A = W_2 - W_1$$

$$W_2 = \frac{U_2^2 C_x}{2}; \quad W_1 = \frac{U_1^2 C_0}{2}$$

$$U_2 = U_1 = \epsilon \text{ (установившееся напряжение)}$$

$$\epsilon \Delta q = \frac{C_x \epsilon^2}{2} - \frac{C_0 \epsilon^2}{2} = \frac{\epsilon^2}{2} \left( \frac{4C_0}{3} - \frac{3C_0}{3} \right) = \frac{\epsilon^2 C_0}{6}$$

$$\Delta q = \frac{C_0 \epsilon}{6}$$

Ответ: 1)  $C_x = \frac{4C_0}{3}$     2)  $\Delta q = \frac{C_0 \epsilon}{6}$

ш5

1) Сразу после замыкания ключа напряжение на конденсаторе еще равно нулю, значит через него протекает заряд и сила тока

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

В этот момент максимальна и равна

$$I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R} \text{ (ток через } R_1 \text{ не идёт)}$$

2) При установившемся напряжении на конденсаторе ток через него не идёт, а идёт через резистор  $R_1$ .

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+R_1} = \frac{\mathcal{E}}{4R}$$

Напряжение на  $R_1$  равно напряжению на конденсаторе, т.к. они соединены параллельно.

$$U_{R_1} = I^2 R_1 = \frac{\mathcal{E}^2 \cdot 3R}{16R^2} =$$

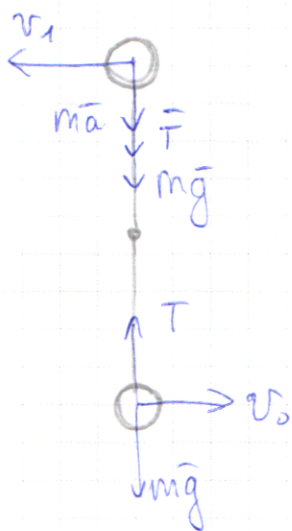
$$U_{R_1} = I R_1 = \frac{\mathcal{E} \cdot 3R}{4R} = \frac{3}{4} \mathcal{E} = U_C$$

3) После размыкания ключа конденсатор будет разряжаться через резистор  $R_1$ . Вся энергия выделится на резисторе в виде теплоты.

$$\frac{CU_C^2}{2} = Q; \quad Q = \frac{C \cdot 9\mathcal{E}^2}{16 \cdot 2} = \frac{9}{32} C\mathcal{E}^2$$

$$\text{Ответ: 1) } I_0 = \frac{\mathcal{E}}{R} \quad 2) U_C = \frac{3}{4} \mathcal{E} \quad 3) Q = \frac{9}{32} C\mathcal{E}^2$$

51



ЗСЭ:

$$\frac{mv_0^2}{2} = 2Rmg + \frac{mv_1^2}{2}$$

II Закон Ньютона для верхней точки:

$$m\bar{a} = \bar{T} + m\bar{g}$$

$$a = \frac{v_1^2}{R}$$

В положении равновесия (нижняя точка)  $T = mg$   
 В верхней точке  $\bar{T}$  также должна быть равно  $m\bar{g}$ , т.к. иначе шари будет провисать и шарик не совершит полный оборот по окружности.

Отсюда  $a = 2g$ ;

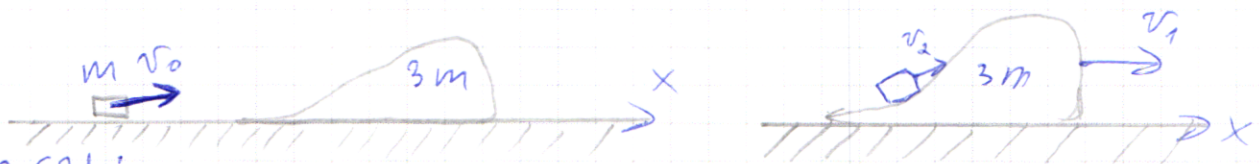
$$v_1^2 = 2gR$$

$$v_0^2 = 4mgR + 2gR$$

$$v_0 = \sqrt{6gR} = \sqrt{0,5 \cdot 6 \cdot 10} = \sqrt{30} \left(\frac{m}{c}\right) \approx 5,5 \frac{m}{c}$$

Ответ:  $v_0 = \sqrt{30} \frac{m}{c} \approx 5,5 \frac{m}{c}$

$\sqrt{2}$



ЗСЭ:

$$\bar{p}_0 = \bar{p}_1 + \bar{p}_2$$

$$m\bar{v}_0 = 3m\bar{v}_1 + m(\bar{v}_1 + \bar{v}_2)$$

$v_1$  - скорость горки,  $v_2$  - скорость шара относительно горки в тот момент, когда она только

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

заезда на горку.

ЗСЭ:

$$E_0 = E_1 + E_2$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{3mv_1^2}{2} + \frac{m(v_1+v_2)^2}{2}$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + (v_1+v_2)^2$$

$$v_0 = 3v_1 + (v_1+v_2)$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + (v_0 - 3v_1)^2$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + v_0^2 - 6v_1v_0 + 9v_1^2$$

$$6v_1v_0 = 12v_1^2; \quad 6v_0 = 12v_1$$

$$v_1 = \frac{v_0}{2}; \quad v_2 = v_0 - 4v_1 = \frac{v_0}{2}$$

1) ЗСЭ для шайбы:  $\frac{mv_2^2}{2} = mgh$   
$$h = \frac{v_2^2}{2g} = \frac{v_0^2}{4 \cdot 2g} = \frac{v_0^2}{8g}$$

2) Перейдём в систему отсчёта, связанную с горкой. Начальный импульс  $\vec{p}_0 = 0$ .

$$\vec{0} = m\vec{v}_x + 3m\vec{v}_{2x}$$

$v_x = v_2$ , т.к.  $mgh = \frac{mv_2^2}{2}$  ( $v_2$  — скорость шайбы у основания горки)

$$m\vec{v}_x = -3m\vec{v}_{2x}; \quad m\vec{v}_2 = -3m\vec{v}_{2x}$$

$$v_{2x} = -\frac{v_2}{3}. \quad \text{Относительно неподвижной}$$

системы отбоя шайба движется со скоростью

$$v' = \frac{2}{3} v_2 - v_1 = v_2 - \frac{1}{3} v_2 - v_1$$

↓  
скорость шайбы  
относительно СО

↓  
скорость системы  
относительно НСО (земли)

$$v' = \frac{v_0}{2} - \frac{v_0}{6} - \frac{v_0}{2} = -\frac{v_0}{6}$$



4-002

черновик     чистовик  
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №\_\_  
(Нумеровать только чистовики)

## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + \frac{3mv_1^2}{2}$$

$$v_0^2 = v_2^2 + 3v_1^2$$

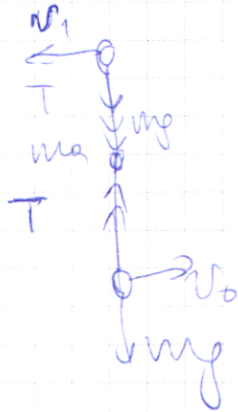
$$v_0 = v_2 + 3v_1$$

$$v_1 = \frac{v_0}{2}$$

$$v_0 = \frac{3v_0}{2} + v_2$$

$$v_2 = \frac{v_0}{2}$$

$$mv_0 = mv_x + \frac{3mv_0}{2}$$



$$2mgR = \frac{mv_0^2}{2}$$

$$4mgR = mv_0^2$$

$$v_0 = \sqrt{4gR}$$

(стержень)

$$\begin{cases} \frac{mv_0^2}{2} = \frac{3mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} \\ mv_0 = 3mv_1 + mv_2 \end{cases}$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + v_2^2$$

$$v_0 = 3v_1 + v_2$$

$$v_2 = v_0 - 3v_1$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + (v_0 - 3v_1)^2$$

$$v_1 = \frac{v_0}{2}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgR + \frac{mv_1^2}{2}$$

$$ma = T + mg = 2mg$$

$$T = ma - mg = \frac{mv_1^2}{R} - mg = mg$$

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

$$v_1^2 = 2gR$$

$$v_2 = v_0 - 3v_1 = v_0 - \frac{3v_0}{2}$$

II.  $ma_0 = T - mg$

$$T < mg$$

$$ma = T + mg$$

$$m(a - g) = 2mg$$

(T min = mg)

$T \geq mg$ , т.к. иначе нить будет не натянута

~~4mg~~

$$\frac{3}{4} v_0$$

$$\frac{1}{4} v_0$$

~~3/5 v\_0~~

$$\frac{4}{5} v_0 = v_1$$

$$\frac{1}{5} v_0 = v_2$$

$$mv_0 = 3mv_1 + mv_2$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{3mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}$$

$$v_0 = 3v_1 + v_2$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + v_2^2$$

$$v_2 = v_0 - 3v_1$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + (v_0 - 3v_1)^2$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$$v_2 = v_0$$

$$mv_0 = 3mv_1 + mv_1 + mv_2$$

$$v_0 = 4v_1 + v_2$$



$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{4mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2}$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + v_1^2 + 2v_1v_2 + v_2^2$$

$$v_2 = v_0 - 4v_1$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{3mv_1^2}{2} + \frac{m(v_1 + v_2)^2}{2}$$

$$v_0^2 = 4v_1^2 + 2v_1(v_0 - 4v_1) + (v_0 - 4v_1)^2$$

$$v_0^2 = 4v_1^2 + 2v_1v_0 - 8v_1^2 + v_0^2 - 8v_0v_1 + 16v_1^2$$

$$0 = 12v_1^2 - 6v_0v_1$$

$$6v_0 = 12v_1$$

$$v_1 = \frac{v_0}{2}$$

$$mv_0 = 4mv_1$$

$$v_1 = \frac{v_0}{4}$$

$$mv_0 = 3mv_1 + mv_2$$

$$v_2 = \frac{v_0}{4}$$

$$\begin{aligned} 12x^2 - 6x - 6 &= 0 \\ 2x^2 - x - 1 &= 0 \\ D = 1 + 8 = 9 & \quad \frac{1 \pm 3}{4} = \end{aligned}$$

$$v_1 = \frac{v_0 - v_2}{3}$$

$$1; -\frac{1}{2}$$

$$p_0 = p_1 + p_2$$

$$mv_0 = mv_2 + 3mv_1$$

$$v_0^2 = v_2^2 + 3v_1^2$$

$$v_0^2 = v_2^2 + 3(v_0 - v_2)^2$$

$$9v_0^2 = 9v_2^2 + 3v_0^2 + 3v_2^2 - 6v_0v_2$$

$$6v_0^2 = 12v_2^2 - 6v_0v_2$$

$$12v_2^2 - 6v_0v_2 - 6v_0^2 = 0$$

$$= 120 + 180 = 0.12 \cdot 600 + 0.08 \cdot 560 = 60.2 + 56.3 = 116.5$$

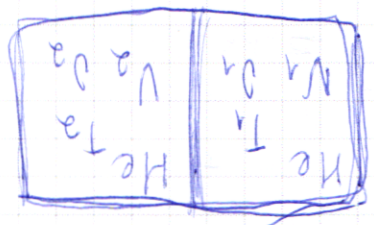
$$x = \frac{0.12 \cdot 300 + 0.08 \cdot 280}{0.15}$$

$$\Delta V_1 = \frac{2}{3} \Delta R (T_1 - T_2)$$

$$\Delta V_2 = \frac{2}{3} \Delta R (T_2 - T_1)$$

$$P_1 V_1 = \nu_1 R T_1$$

$$P_2 V_2 = \nu_2 R T_2$$



$$\nu_2^0 = \nu_1^0 + \nu_2^0$$

$$\nu_2^0 = (\nu_1 + \nu_2)^2 + 3\nu_2^0$$

$$\nu_2^0 = \nu_1^0 + \nu_2^0$$

$$\nu_2^0 = \nu_1^0 + \nu_2^0$$

$$\nu_2^0 = \nu_1^0 + \nu_2^0$$

$$\nu_2^0 = \nu_1^0 + \nu_2^0$$

$$\nu_2^0 = \nu_1^0 - \nu_2^0$$

~~$$\nu_2^0 = \nu_1^0 + \nu_2^0$$

$$\nu_2^0 = \nu_1^0 + \nu_2^0$$

$$\nu_2^0 = \nu_1^0 + \nu_2^0$$~~



## ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$mgh = \frac{mv_0^2}{2}$   
 $v_2 = v_1$   
 $mv_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$   
 $mv_0 = 3mv_1$   
 $v_0 = 3v_1$   
 $p_i = p_k$   
 $mv_0 = mv_2 + 3mv_1$   
 $v_0 = v_2 + 3v_1$   
 $v_0^2 = v_2^2 + 3v_1^2$   
 $\frac{mv_0^2}{2} = mgy + \frac{mv_2^2}{2}$   
 $\frac{v_0^2}{2} = 2gR + \frac{v_1^2}{2}$   
 $v_0^2 = 4gR + v_1^2$   
 $\frac{mv_1^2}{R} = T + mg$   
 $ma = T + mg$   
 $T_2 = ma - mg$   
 $T_1 = mg$   
 $ma_1 = T - mg$   
 $a_1 = 2g$   
 $\frac{v_1^2}{R} = 2g$   
 $v_1 = \sqrt{2gR}$   
 $v_0^2 = 4gR + 2gR$   
 $v_0 = \sqrt{6gR}$

**ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА**

$$4) \quad \frac{1}{C_{\text{эк}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{\frac{3}{4} d_0}{\epsilon_0 S} + \frac{\frac{1}{4} d_0}{\epsilon_0 \epsilon S} =$$

$$\frac{\epsilon_0 S}{d} = \frac{d_0}{\epsilon_0 S} \left( \frac{3}{4} + \frac{1}{\epsilon} \right) =$$

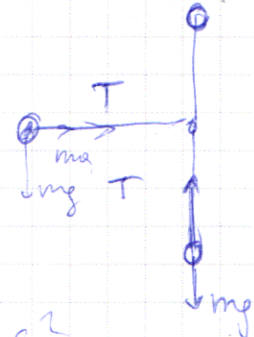
$$= \frac{1}{C_0} \left( \frac{3}{4} + \frac{\epsilon}{4} \right) = \frac{3 + \epsilon}{4} \frac{1}{C_0}$$

$$C = \frac{4 C_0}{3 + \epsilon}$$

$$T = ma = \frac{mv^2}{R}$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \frac{mv_1^2}{2}$$

$$v_0^2 = 2gR + v_1^2$$



$$\begin{array}{r} \times 5,5 \\ 5,5 \\ \hline 275 \\ \times 275 \\ \hline 30125 \end{array}$$

$$\Delta W = \epsilon \Delta q$$

$$W_2 - W_1 =$$

$$\text{или} \quad \frac{C \epsilon^2}{2} - \frac{C_0 \epsilon^2}{2} = \frac{mv_0^2}{R} = T - mg$$

$$\leq \frac{\epsilon}{2} \left( C_0 \left( \frac{4}{\epsilon + 3} - 1 \right) \right) \Delta q$$

$$\frac{mv_1^2}{R} = T_0 + mg$$

$$\frac{m(v_0^2 + v_1^2)}{R} = T_1 + T_2$$

$$\Delta q = \frac{\epsilon C_0 \left( \frac{4}{\epsilon + 3} - 1 \right)}{2}$$

$$mv_0 = 3mv_1 + mv_2$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + v_2^2$$

$$v_2 = v_0 - 3v_1$$

$$v_1 = \frac{v_0}{2}$$

$$1) \quad I_0 = \frac{\epsilon}{R}$$

$$2) \quad I = \frac{\epsilon}{R + R_1} \quad U_{R_1} = \frac{\epsilon^2 R_1}{(R + R_1)^2} = U_C$$

$$3) \quad \frac{U_C^2}{2} = Q$$

$$\frac{mv_0^2}{2} = \frac{3mv_1^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} + mgh$$

$$v_0^2 = 4v_1^2 + 2gh$$

$$\begin{cases} m v_0 = 3m v_1 + m(v_1 + v_2) \\ m v_0^2 = 3m v_1^2 + m(v_1 + v_2)^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_0 = 3v_1 + v_1 + v_2 \\ v_0^2 = 3v_1^2 + \cancel{m^2} (v_1 + v_2)^2 \end{cases}$$

$$v_0 = 4v_1 + v_2 \quad \underline{288}$$

$$v_0 - 3v_1 = v_1 + v_2$$

$$v_0^2 = 3v_1^2 + (v_0 - 3v_1)^2$$

$$\cancel{v_0^2} = 3v_1^2 + \cancel{v_0^2} - 6v_0 v_1 + 9v_1^2$$

$$6v_0 v_1 = 12v_1^2$$

$$v_1 = \frac{v_0}{2}$$

$$\begin{matrix} m & & 4m \\ \frac{1}{5}v_0 & & \frac{4}{5}v_0 \end{matrix}$$

$$m v_0 = 4m v_1 + m v_2$$

$$v_0 = 4v_1 + v_2$$

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{4m v_1^2}{2} + \frac{m v_2^2}{2}$$

$$5v_0^2 = 4v_1^2 + v_2^2$$

$$v_2 = (v_0 - 4v_1)^2$$

$$v_0^2 = 4v_1^2 + \cancel{v_0^2} - 8v_0 v_1 + 16v_1^2$$

$$8v_0 v_1 = 20v_1^2$$

$$v_1 = \frac{8v_0}{20} = \frac{2v_0}{5}$$

$$pV = (D_1 + D_2)RT$$

$$p = \frac{0,5 \cdot \cancel{8,31} \cdot 288}{\cancel{8,31} \cdot 1 \cdot 10^{-3}} =$$

$$0,5 \cdot 288 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$\text{s } 144 \cdot 10^3 \text{ s}$$

$$\text{s } 144000 \text{ Pa s}$$

$$\text{s } 1,44 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\begin{aligned} \frac{3}{2} D_1 R (T_1 - T_x) &= \\ &= \frac{3}{2} D_2 R (T_x - T_2) \end{aligned}$$

$$D_1 T_1 - D_1 T_x =$$

$$= D_2 T_x - D_2 T_2$$

$$D_1 T_1 + D_2 T_2 = (D_1 + D_2) T_x$$

$$T_x = \frac{0,2 \cdot 300 + 280 \cdot 0,3}{0,5} =$$

$$= \frac{60 + 84}{0,5} \text{ s } \frac{144}{0,5} =$$

$$= 288 =$$

$$\frac{128}{84}$$