



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

**ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **ФИЗИКА**

ФИО участника олимпиады: **Назаренко Елизавета Сергеевна**

Класс: 10

Технический балл: **83**

Дата проведения: 26 февраля 2022 года

ШИФР РАБОТЫ 9126626

	1	2	3	4	$\Sigma$
Задача	<i>15</i>	<i>15</i>	<i>8</i>	<i>15</i>	<b>83</b>
Вопрос	<i>8</i>	<i>4</i>	<i>10</i>	<i>8</i>	

1.2.1 Дано:  $v_2 = 10 \text{ м/с}$

Черновик

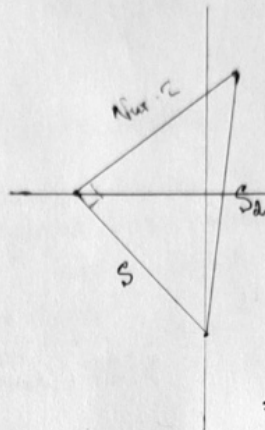
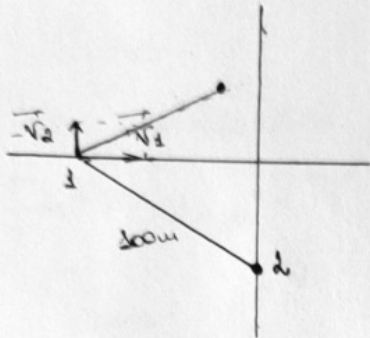
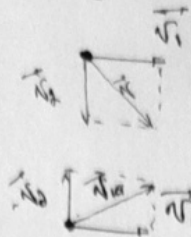
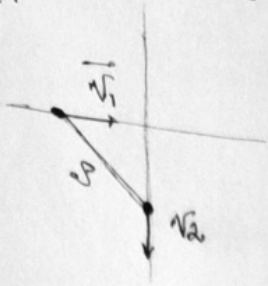
①

$v_1 = ?$   $S = 300 \text{ м}$   $\tau = 10 \text{ с} \rightarrow S_2 = 200 \text{ м}$

Перейдем в систему отсчета второй машины

В этой системе отсчета вторая машина покоится, а первая едет со скоростью

$$\sqrt{v_1^2 + v_2^2}$$



по т. Пифагора

$$S^2 + (v_2 \cdot \tau)^2 = S_2^2 = 4S^2$$

$$v_2 \cdot \tau = 3S$$

$$v_1^2 + v_2^2 = \frac{3S^2}{\tau^2}$$

$$v_1^2 = \frac{3S^2}{\tau^2} - v_2^2$$

$$= \frac{3 \cdot (100 \text{ м})^2}{(10 \text{ с})^2} - (10 \text{ м/с})^2$$

$$= 300^2 - 100^2 = 200^2 \text{ (м/с)}^2$$

$$\Rightarrow v_1 = 200 \text{ м/с} > 0$$

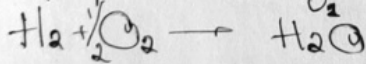
Скорость - векторная физическая величина, равная отношению перемещения тела к времени за которое оно произошло

Закон сложения скоростей: скорость абсолютная складывается алгебраически с относительной и результирующей скоростей

2.8.1 Дано  $V = 0,1 \text{ м}^3$   $\rho_1 = 0,75 \text{ моль/л}$   $\rho_2 = 0 \text{ моль/л}$  еureka воздуха

? f моль еureka воздуха и кислорода до 293 K

$\rho_1$   $\rho_2$   $P_H = 2320 \text{ Па}$   $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$



какая доля кислорода в воздухе 0,23

Мы считаем, что в воздухе только кислород и азот

$$\Rightarrow \omega(\text{O}_2) : \omega(\text{N}_2) = 0,23 : 0,77$$

$$\rho(\text{O}_2) : \rho(\text{N}_2) = \frac{0,23}{32} : \frac{0,77}{28}$$

$$\rho(\text{O}_2) = \rho \Rightarrow \rho = \rho(\text{N}_2) \cdot \frac{0,23 \cdot 28}{0,77 \cdot 32}$$

$$\rho(\text{N}_2) = \rho \cdot \frac{0,77 \cdot 32}{0,23 \cdot 28}$$

$$\rho \left( 1 + \frac{0,77 \cdot 32}{0,23 \cdot 28} \right) = \rho_2$$

$$\rho = \rho_2 \cdot \frac{0,23 \cdot 28}{0,23 \cdot 28 + 0,77 \cdot 32} \approx 0,206 \rho_2 \approx 0,206 \text{ моль/л}$$

кислорога на 1 л воздуха

$$\begin{array}{r} \times 23 \\ 28 \\ \hline + 184 \\ 46 \\ \hline 644 \end{array} \quad \begin{array}{r} \times 32 \\ 77 \\ \hline 224 \\ 224 \\ \hline 2464 \end{array}$$

$$\frac{644}{644 + 2464} = \frac{6,44}{31,28} \approx 0,206$$

Черновик

$$\begin{array}{r} 6,44 \\ + 24,64 \\ \hline 31,28 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1,000 \\ - 0,206 \\ \hline \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 6440 \quad | \quad 3128 \\ \underline{6256} \quad | \quad 12058 \approx 0,206 \\ 18400 \\ \underline{15640} \\ 27600 \\ \underline{25024} \\ 2576 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0,206 \\ - 0,003 \\ \hline 0,203 \end{array}$$

(2)

В итоге осталось: 0,05 моль воды, ~~0,203 моль~~ 0,97 моль воздуха (0,203 моль O<sub>2</sub> и 0,794 моль N<sub>2</sub>)

Найдем

Пар поднимается ур-ю Менделеева-Клапейрона

$p_H \cdot V = \nu_{\text{воды}} \cdot R \cdot T$  ← узнаем, сколько нужно воды, тогда вычислить масса 100%

$$\nu_{\text{воды}} = \frac{p_H \cdot V}{R \cdot T} = \frac{2330 \text{ Па} \cdot 0,1 \text{ м}^3}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 293 \text{ К}} = \frac{233 \text{ моль}}{2414,83}$$

$$\begin{array}{r} \times 233 \\ 831 \\ \hline + 233 \\ 2324 \\ \hline 2414,83 \end{array}$$

это меньше 10%

$$\Rightarrow f = \frac{p(t)}{p_H(t)} = \frac{\frac{DRT}{V}}{\frac{\nu_H RT}{V}} = \frac{D}{\nu_H} = \frac{0,05 \text{ моль}}{\frac{233 \text{ моль}}{2414,83}} = \frac{905 \cdot 2414,83}{233} =$$

$$\begin{array}{r} \times 2414,83 \\ 5 \\ \hline 1207215 \end{array}$$

$$= \frac{1207215}{233} \approx 0,52$$

$$\begin{array}{r} 12070 \quad | \quad 2330 \\ \underline{11650} \quad | \quad 0,5180 \\ 4200 \\ \underline{2330} \\ 18700 \\ \underline{18640} \\ 60 \end{array}$$

Ответ: 52%

Уменьшился масса пароводянисто-кислородной смеси, которое нужно передать между собой 1 кг керосина в газобразное нар. Воды пароводянисто: пароводянисто, водгонка, удлинители

Условие

(11)

Пример 3.8.2.

$$k = 4\pi^2 \frac{m}{f^2} + \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^4} = 4 \cdot 9,8596 \cdot \frac{0,01 \text{ кг}}{(1,47)^2 \text{ с}^{-2}} + \frac{10^{-12} \text{ Кл}^2}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}} \cdot (0,5 \text{ м})^4}$$

$$= 0,289 \frac{\text{Н}}{\text{м}} + 0,183 \frac{\text{Н}}{\text{м}} = 0,472 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Ответ  $0,472 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

Черновик

(12)

$$\begin{array}{r} 392 \\ \times 986 \\ \hline 4 \\ \hline 3944 \end{array}$$

$$44 \quad 2,16$$

$$\frac{0,3944}{2,16} = 0,183$$

$$\begin{array}{r} 29440 \quad | \quad 21600 \\ \underline{21600} \\ 178400 \\ \underline{172800} \\ 56000 \\ \underline{43200} \\ 128000 \\ \underline{108000} \end{array} \quad 0,1825 \approx 0,183$$

$$25 \times 25 = 625$$

$$0,0625$$

$$\begin{array}{r} 14 \\ \times 628 \\ \hline 885 \\ \hline 3140 \\ 5006 \\ \hline 5006 \\ \hline 553800 \end{array}$$

$$55,38$$

$$\begin{array}{r} 214 \\ \times 5538 \\ \hline 625 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 27690 \\ + 1076 \end{array}$$

$$33228$$

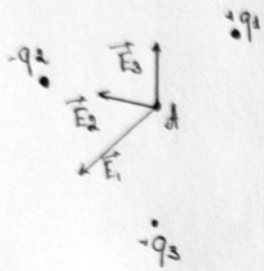
$$\frac{3460250}{,} \approx 346$$

$$\begin{array}{r} 1000 \quad | \quad 346 \\ \underline{692} \\ 3080 \\ \underline{2768} \\ 3120 \\ \underline{3114} \\ 6 \end{array} \quad 0,2890 \approx 0,289$$

$$\begin{array}{r} + 0,289 \\ + 0,183 \\ \hline 0,472 \end{array}$$

3.3.2. Напряженность э.п. векторная физическая чертвенн  $\odot$   
 величина, равная отношению силы, действующей на  
 пробный заряд, помещенный в это поле к величине  
 этого заряда.

Принцип суперпозиции полей - напряженность поле в данной  
 точке может быть рассчитана как геометрическая  
 сумма напряженностей вызванных каждым зарядом  
 в отсутствие других источников зарядов.



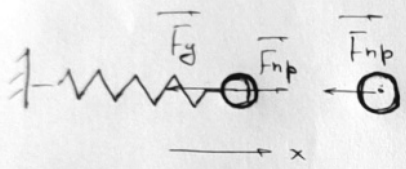
$$\vec{E}_\Sigma = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

В общем случае

$$\vec{E}_\Sigma = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$

$$f = 1,47 \text{ Гц}$$

$$f = \frac{1}{T} \quad f = 2\pi\omega$$



ИЗН.  $\vec{F}_\Sigma = m\vec{a}$

состояние равновесия

$$\vec{F}_\Sigma = m\vec{a} \quad \vec{a} = \vec{0} \quad \vec{F}_\Sigma = \vec{0}$$

$$\Rightarrow \vec{F}_g + \vec{F}_{np} = \vec{0}$$

$$0x: -F_g + F_{np} = 0 \quad k \cdot \Delta l = \frac{|q_1 q_2|}{4\pi\epsilon_0 \cdot l^2}$$

$$\Rightarrow k \cdot x_0 = \frac{|q_1 q_2|}{4\pi\epsilon_0 \cdot l^2}$$

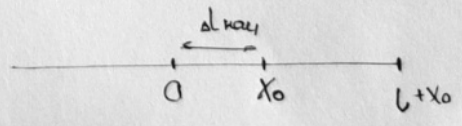
x - координата.

Точнее, когда  
 шарик касается на  
 недеформированной пружине  
 будет соответствовать  
 нулю ко ox

Используя соотношение шарик можно averнать  
 исследовать

$$m\vec{a} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 \epsilon r^2} - kx$$

$$m\vec{a} = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (l-x)^2} - kx$$



$$\ddot{x} = \omega x + A$$

$$f = 2\pi\omega$$

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{k/m}$$

Handwritten calculations:  

$$\begin{matrix} \times 314 & \times 314 \\ \times 314 & \times 147 \\ \hline + 1256 & 46138 \\ + 314 & 5888 \\ \hline 942 & 147 \\ \hline 98596 & 609 \end{matrix}$$

$\otimes$

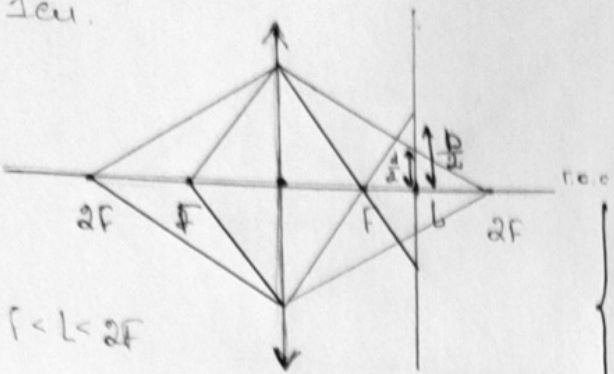
4.11.

Чертежник

(4)

Дано:  $L=0,08\text{м}$   ~~$D=5\text{мм}$~~   $D=0,05\text{м}$   $d=0,03\text{м}$  ?F

1cu.



$F < L < 2F$

$\frac{1}{F} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{d}$ , где F - сила, f - расстояние, d - расстояние

Используем принцип Р

$$\left. \begin{aligned} \frac{\frac{d}{2}}{2F-L} &= \frac{R}{2F} \\ \frac{\frac{D}{2}}{L-F} &= \frac{R}{F} \end{aligned} \right\}$$

0,22/4

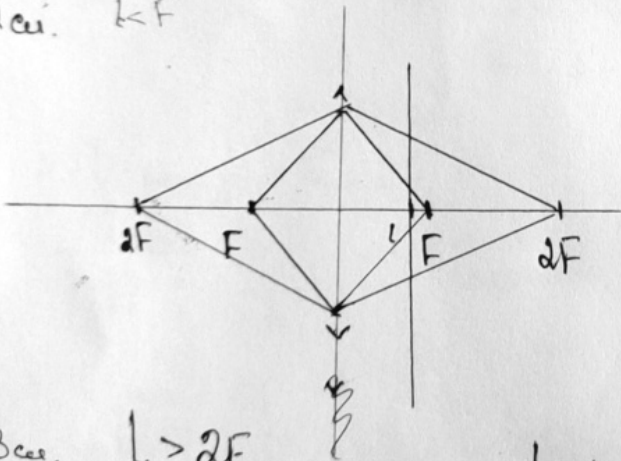
$$\Rightarrow R = \frac{FD}{2(L-F)} \Rightarrow \frac{d}{2(2F-L)} = \frac{D}{4(L-F)}$$

$$4dL - 4dF = 4DF - 2LD \quad F(4D+4d) = L(2D+4d)$$

$$\Rightarrow F = L \frac{2D+4d}{4d+4D} = 0,08\text{м} \cdot \frac{0,1\text{м}+0,12\text{м}}{0,2\text{м}+0,12\text{м}} = 0,08\text{м} \cdot \frac{0,22\text{м}}{0,32\text{м}} = 0,055\text{м}$$

$0,055\text{м} < 0,08\text{м} < 0,16\text{м}$

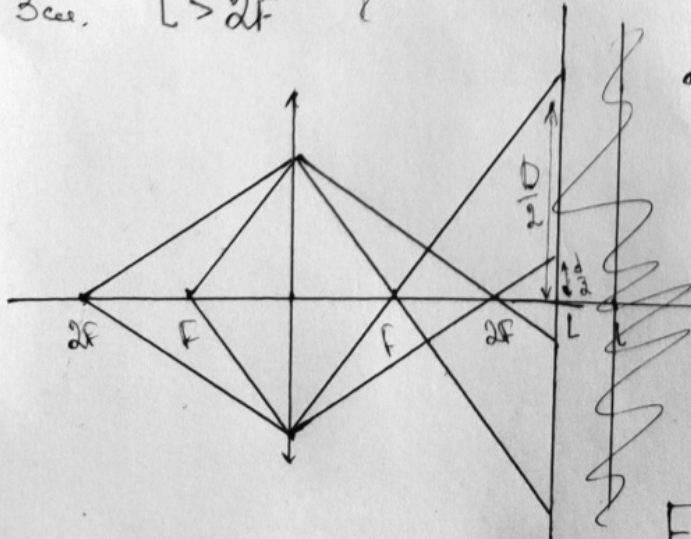
2cu.  $L < F$



d должно быть больше D



3cu.  $L > 2F$



$$\frac{\frac{D}{2}}{L-F} = \frac{R}{F}$$

$$\frac{\frac{d}{2}}{L-2F} = \frac{R}{2F}$$

$$R = F \cdot \frac{D}{2(L-F)}$$

$$\frac{d}{2(L-2F)} = \frac{D}{4(L-F)}$$

$$4dL - 4dF = 2DL - 4DF$$

$$F(4D-4d) = L(2D-4d)$$

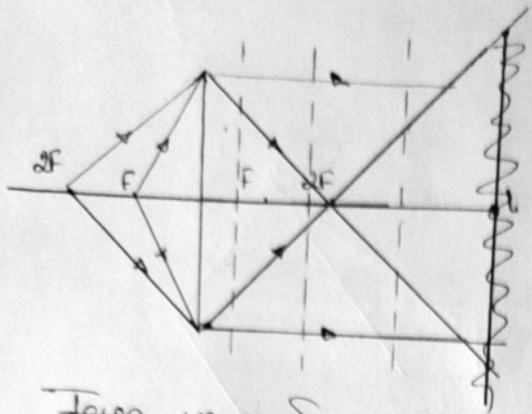
$$F = L \cdot \frac{2(D-2d)}{4D-4d} = \frac{0,01\text{м}}{0,08\text{м}}$$

<0 (?!)



Дано  $l=0,08\text{м}$ ,  $D=0,05\text{м}$ ,  $d=0,03\text{м}$  ? F

Черезок



Разберем 3 случая

Тогда берем, из условия, что, берем же из ее условия, что и т.д.

$\Rightarrow \frac{D}{2} = R$ , где R - радиус кривизны

~~В первом случае при  $l < 2F$~~

~~$d$  не может быть больше  $2R$ , и т.д.  $\Rightarrow l < 2F$~~

Тогда из условия  $\Delta$   $\frac{d}{2}$

~~Тогда при этом рассмотрим между  $F$  и  $2F$  или  $2F$~~

1. Между  $F$  и  $2F$

Разберем 3 случая

1.  $l < F$

$$\frac{2F-l}{\frac{d}{2}} = \frac{2F}{\frac{D}{2}} \quad 2FD - lD = 2Fd$$

$$2F(D-d) = lD$$

$$F = l \frac{D}{2(D-d)} = 0,08\text{м} \cdot \frac{0,05\text{м}}{2 \cdot (0,05\text{м} - 0,03\text{м})} = 0,1\text{м}$$

$0,1\text{м} > 0,08\text{м}$

2.  $l$  между  $F$  и  $2F$

$$\frac{2F-l}{\frac{d}{2}} = \frac{2F}{\frac{D}{2}} \leftarrow \text{но не берем, не подходит по условию}$$

3.  $l$  больше  $2F$

$$\frac{l-2F}{\frac{d}{2}} = \frac{2F}{\frac{D}{2}} \quad 2Dl - 2Fb = 2Fd$$

$$2Dl = 2F(D+d) \quad F = \frac{2Dl}{2(D+d)} = 0,08\text{м} \cdot \frac{0,05\text{м}}{2 \cdot (0,05\text{м} + 0,03\text{м})}$$

$$= 0,025\text{м}$$

$0,025\text{м} < 0,08\text{м}$

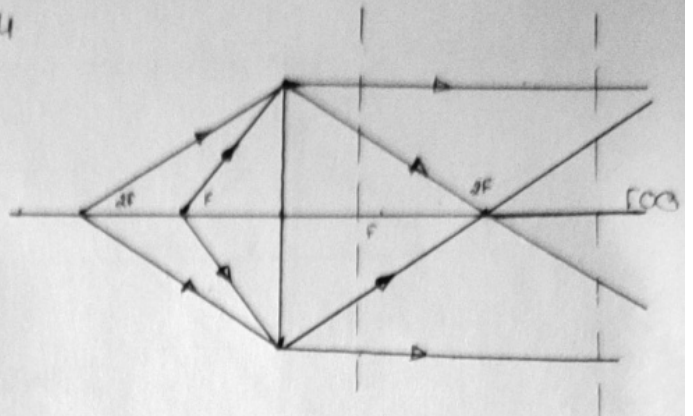
Ответ:  $0,1\text{м}$

6

411 Чистовик  
 $L = 0,08 \text{ м}$ ,  $D = 0,05 \text{ м}$ ,  $d = 0,03 \text{ м}$  ?F

Выполним свойства фокуса и  
 двойного фокуса

фокус: все лучи из  
 точки параллельно оси



дв. фокус: все лучи из  
 встречаются во втором  
 двойном фокусе

Тогда можно найти радиус кривизны  $R = \frac{D}{2}$

Тогда есть 2 варианта расположения экрана: до двойного  
 фокуса и после него.

1.  $L < 2F$ : тогда из подобия треугольников  $\frac{2F-L}{\frac{d}{2}} = \frac{2F}{\frac{D}{2}}$

$$2FD - LD = 2Fd \quad 2F(D-d) = LD$$

$$F = L \cdot \frac{D}{2(D-d)} = 0,08 \text{ м} \cdot \frac{0,05 \text{ м}}{2 \cdot (0,05 \text{ м} - 0,03 \text{ м})} = 0,1 \text{ м}$$

$$0,08 \text{ м} < 0,1 \text{ м} \cdot 2$$

2.  $L > 2F$ : тогда из подобия треугольников  $\frac{L-2F}{\frac{d}{2}} = \frac{2F}{\frac{D}{2}}$

$$DL - 2FD = 2Fd \quad 2F(d+D) = D \cdot L$$

$$F = L \cdot \frac{D}{2(D+d)} = 0,08 \text{ м} \cdot \frac{0,05 \text{ м}}{2(0,05 \text{ м} + 0,03 \text{ м})} = 0,025 \text{ м} < 0,08 \text{ м} \quad \varnothing$$

Ответ: 0,1 м

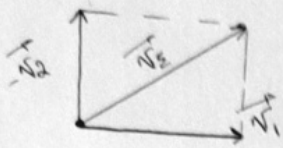
Оптическая сила тонкой линзы - величина, обратная  
 фокусному расстоянию, характеризующая кривизну  
 увеличения/отражения линзы. Измеряется в  
 диоптриях.

Фокусное расстояние - расстояние от оптического центра  
 линзы до точки, находящейся в основании перпендикуляра,  
 опущенного из точки пересечения лучей, вошедших параллельными  
 лучами в линзу. (т.е. фокуса)

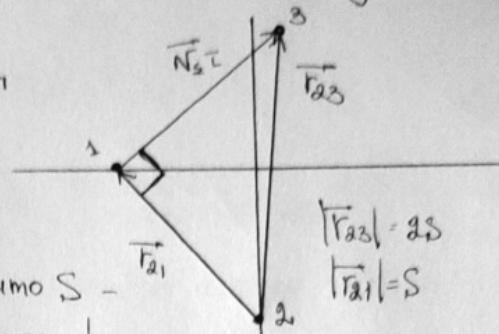
## Чистовик

12.1 Дано  $v_2 = 10 \text{ м/с}$   $S = 100 \text{ м}$   $t = 10 \text{ с}$   $S_2 = 2S = 200 \text{ м}$  ?  $v_1$

Перейдем в систему отсчета второй машины, т.е. добавим ко всем скоростям вектор  $-\vec{v}_2$



$$\vec{v}_\Sigma = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$$



Известно, что  $S$  -

- минимальное расстояние

между машинками  $\Rightarrow$  скорость  $\vec{v}_\Sigma$  направлена перпендикулярно вектору  $\vec{r}_{21}$  (такое

расстояние

Т. Пифагора

$$(\vec{v}_\Sigma t)^2 + (S)^2 = (2S)^2$$

$$\Rightarrow 3S^2 = v_\Sigma^2 t^2 \Rightarrow \frac{3S^2}{t^2} = v_1^2 + v_2^2 \Rightarrow v_1^2 = \frac{3S^2}{t^2} - v_2^2$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{3S^2}{t^2} - v_2^2} = \sqrt{\frac{3(100 \text{ м})^2}{(10 \text{ с})^2} - (10 \text{ м/с})^2} = \sqrt{200^2 - 10^2} = 10\sqrt{2} \text{ м/с}$$

Ответ:  $10\sqrt{2} \text{ м/с}$

Скорость - векторная физическая величина, равная отношению перемещения тела ко времени, за которое было совершено это перемещение.

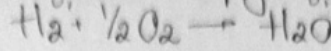
(Это определение средней скорости, т.к. просто понятие скорость не определено. Конечно, можно определить его, как быстроту изменения положения в пространстве)

Закон сложения скоростей - абсолютная скорость тела является координатной суммой относительной и переносной скоростей, при переходе в другую систему отсчета.

## Условие

28.1. Дано:  $V = 0,1 \text{ м}^3$ ,  $\nu_1 = 0,05 \text{ моль}$  (на),  $\nu_2 = 1 \text{ моль}$  (чистый воздух),  $w(\text{O}_2) = 0,23$ ,  $T = 293 \text{ К}$ ,  $p_H = 2330 \text{ Па}$

Мы считаем, что в воздухе можно считать  $\text{H}_2$  и азот (других газов пренебрежимо мало)



$$w(\text{O}_2) : w(\text{N}_2) = 0,23 : 0,77 \Rightarrow \nu(\text{O}_2) : \nu(\text{N}_2) = \frac{0,23}{32} : \frac{0,77}{28}$$

$$\nu(\text{O}_2) = \nu \Rightarrow \nu(\text{N}_2) = \nu \cdot \frac{0,77 \cdot 32}{0,23 \cdot 28}$$

$$\Rightarrow \nu \left( 1 + \frac{0,77 \cdot 32}{0,23 \cdot 28} \right) = \nu_2 \quad \nu = \nu_2 \cdot \frac{0,23 \cdot 28}{0,23 \cdot 28 + 0,77 \cdot 32} \approx 0,203 \nu_2$$

- 0,203 моль

$\Rightarrow$  кислорода хватит, чтобы сгорел весь воздух

$\Rightarrow$  после  $p_H$  остались: 0,05 моль  $\text{H}_2$ , 0,203 моль кислорода, 0,794 моль азота

Пар подчиняется ур-ю Менделеева-Клапейрона

$$p_H \cdot V = \nu_{\text{воздух}} \cdot T R \leftarrow \text{если влажность } 100\% \quad \nu_{\text{воздух}} = \frac{p_H \cdot V}{T R} = \frac{2330 \text{ Па} \cdot 0,1 \text{ м}^3}{293 \text{ К} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}$$

$\uparrow$  это меньше ~~0,1 моль~~, но больше ~~0,05 моль~~

$$\Rightarrow f = \frac{p_H}{p_H(T)} = \frac{\frac{\nu_1 R T}{V}}{\frac{\nu_{\text{воздух}} R T}{V}} = \frac{\nu_1}{\nu_{\text{воздух}}} = \frac{0,05 \text{ моль}}{\frac{2330 \text{ Па} \cdot 0,1 \text{ м}^3}{293 \text{ К} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}} \text{ (E)}$$

$$\text{(E)} \quad \frac{0,05 \cdot 2414,83}{233} = \frac{120,7415}{233} \approx 0,52$$

Ответ: 52%

Удельная теплота парообразования - скалярная физическая величина, численно равная количеству теплоты, необходимому для перехода в ~~пар~~ газообразное агрегатное состояние 1 кг данного вещества при переходе в ~~пар~~ газообразное агрегатное состояние.

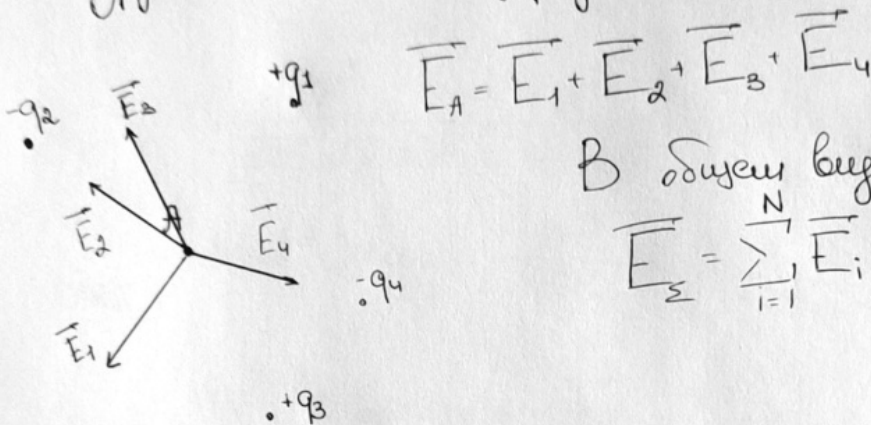
Виды парообразования - возгонка, сублимация, парообразование

## Чистовик

③

3.8.2. Напряженность Э.П. - векторная физическая величина, равная отношению силы, действующей на пробный заряд, помещенный в это поле, к величине этого заряда.

Принцип суперпозиции полей - напряженность поле в данной точке пространства может быть рассчитана, как векторная сумма напряженностей, вызванных каждым из зарядов, в отсутствие других источников заряда.



$$\vec{E}_A = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$$

В общем виде:

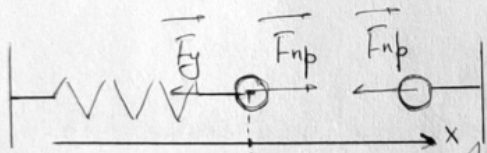
$$\vec{E}_\Sigma = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i$$

Дано:  $m = 0,01 \mu\text{г}$ ,  $q = 10^{-6} \text{Кл}$ ,  $L = 0,5 \mu\text{м}$ ,  $f = 1,47 \text{ТГц}$  ?  $k$

II З.Н. в этой задаче нужно ввести  $\ddot{x} + \omega^2 x = A$

Знаем  $\omega$  из  $f = 2\pi\omega^{-1}$

И из II З.Н. мы сможем найти  $k$ , т.к.  $k$  гарантировано содержится в  $\omega$ .



II З.Н.  $\vec{F}_\Sigma = m\vec{a}$

~~$kx$~~   $\vec{F}_\Sigma = \vec{F}_{\text{пр}} + \vec{F}_{\text{упр}}$

оx:  $ma = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} - kx$

$$a + \frac{k}{m}x = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} \Rightarrow f = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$\Rightarrow f^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k}$$

$$k = \frac{4\pi^2 \cdot m}{f^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 0,01 \mu\text{г}}{(1,47)^2 \cdot \text{с}^2} = 0,18 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Положение, когда пружина растянута и шарик находится в равновесии будет соответствовать 0 на оx

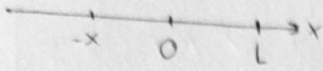
## Учетовик

10

Продолжение 382.

] Пластина, в которой шарик находится соответственно

O на OX

шарик находится  $\Rightarrow \vec{a} = 0 \quad \vec{F}_2 = m\vec{a} = \vec{0}$ 

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} = k \cdot \Delta l \Rightarrow \Delta l = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2 k}$$

$$\Rightarrow ma = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2} - k \cdot \left( x + \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2 k} \right) =$$

$$= \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L-x)^2} - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} - kx \approx \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 (L^2 - 2x)} - \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} - kx$$

$$maL^2 - 2max = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} - \frac{q^2(L^2 - 2x)}{4\pi\epsilon_0 L^2} - kx(L^2 - 2x)$$

$$maL^2 - 2max = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0} - \frac{q^2 L^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} + \frac{2xq^2}{4\pi\epsilon_0 L^2} - kx(L^2 - 2x)$$

$$maL^2 - 2max = \frac{xq^2}{2\pi\epsilon_0 L^2} - kxL^2 + 2kx^2$$

$\downarrow$   
0 (2 степени малости)

$$maL^2 - kxL^2 = \frac{xq^2}{2\pi\epsilon_0 L^2} + 2kx^2$$

$$mL^2 \cdot \ddot{x} + x \left( kL^2 - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 L^2} \right) = 0$$

$$\ddot{x} + x \left( \frac{k}{m} - \frac{q^2}{2\pi\epsilon_0 mL^4} \right) = 0$$

$$\Rightarrow f = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{2\pi\epsilon_0 mL^4}{2\pi\epsilon_0 L^4 k - q^2}} \quad f^2 = 4\pi^2 \cdot \frac{2\pi\epsilon_0 mL^4}{2\pi\epsilon_0 L^4 k - q^2}$$

$$2\pi\epsilon_0 L^4 f^2 k - f^2 q^2 = 8\pi^3 \epsilon_0 mL^4$$

$$k = \frac{8\pi^3 \epsilon_0 mL^4 + f^2 q^2}{2\pi\epsilon_0 L^4 f^2}$$