

Олимпиада «Физтех» по физике, с

Вариант 10-01

Класс 10

Бланк задания обязательно должен быть вложен в работу. Работы без вл

1. Камень бросают с вышки со скоростью $V_0 = 8$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. В полете камень все время приближался к горизонтальной поверхности Земли и упал на нее со скоростью $2,5V_0$.

1) Найти вертикальную компоненту скорости камня при падении на Землю.

2) Найти время полета камня.

3) Найти горизонтальное смещение камня за время полета.

Ускорение свободного падения принять $g = 10$ м/с². Сопротивление воздуха не учитывать.

2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 5m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в оси блока можно пренебречь. Коэффициент трения между ящиком и полом μ .



1) С какой силой ящик с человеком давят на пол при движении ящика?

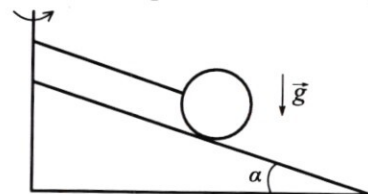
2) С какой минимальной постоянной силой F_0 надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?

3) Какой скорости достигнет ящик, если человек осуществит задуманное, приложив постоянную силу F ($F > F_0$) к канату?

3. Однородный шар массой m и радиусом R находится на гладкой поверхности клина, наклоненной под углом α к горизонту (см. рис.). Шар удерживается нитью длиной L , привязанной к вертикальной оси, проходящей через вершину клина. Нить параллельна поверхности клина.

1) Найти силу натяжения нити, если система покоится.

2) Найти силу натяжения нити, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.

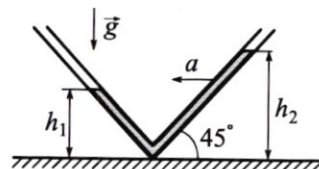


4. Трубка, изогнутая под прямым углом, расположена в вертикальной плоскости и заполнена маслом (см. рис.). Угол $\alpha = 45^\circ$. При равноускоренном движении трубки в горизонтальном направлении уровни масла в коленях трубки устанавливаются на высотах $h_1 = 8$ см и $h_2 = 12$ см.

1) Найдите ускорение a трубки.

2) С какой максимальной скоростью V будет двигаться жидкость относительно трубки после того как трубка внезапно станет двигаться равномерно (ускорение «исчезнет»)?

Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Действие сил трения пренебрежимо мало.



5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 95°C и давлении $P = 8,5 \cdot 10^4$ Па. В медленном изотермическом процессе уменьшения объема пар начинает конденсироваться, превращаясь в воду.

1) Найти отношение плотности пара к плотности воды в условиях опыта.

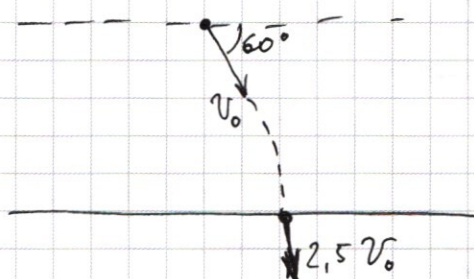
2) Найти отношение объема пара к объему воды к моменту, когда объем пара уменьшится в $\gamma = 4,7$ раза.

Плотность и молярная масса воды $\rho = 1$ г/см³, $\mu = 18$ г/моль.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №1.

- 1) Если камень все время приближался к земле во время полета, то изначально он был брошен вниз.



Пусть камень летел до земли время t . Тогда в момент столкновения с землей его горизонтальная составляющая

скорости была $v_0 \cos 60$, а вертикальная $v_0 \sin 60 + gt$. Тогда его полную скорость найдем по т. Пифагора и приравняем к $2,5 v_0$.

$$\sqrt{(v_0 \cos 60)^2 + (v_0 \sin 60 + gt)^2} = 2,5 v_0$$

$$v_0^2 \cos^2 60 + (v_0 \sin 60 + gt)^2 = 5,25 v_0^2$$

$$(v_0 \sin 60 + gt)^2 = v_0^2 (5,25 - \cos^2 60)$$

$$(v_0 \sin 60 + gt)^2 = v_0^2 (5,25 - 0,25) \Rightarrow \sqrt{(v_0 \sin 60 + gt)^2} = v_0 \sqrt{5}$$

Тогда вертикальная составляющая скорости v_y в момент столкновения с землей равна

$$v_y = v_0 \sin 60 + gt = v_0 \sqrt{5} = 8 \text{ м/с} \cdot \sqrt{5} = 8 \text{ м/с} \cdot 2,2 = 17,6 \text{ м/с}.$$

$$v_0 \sin 60 + gt = 17,6 \text{ м/с}$$

$$t = \frac{17,6 \text{ м/с} - v_0 \sin 60}{g} = \frac{17,6 \text{ м/с} - 8 \text{ м/с} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}}{10 \text{ м/с}^2} = \frac{17,6 \text{ м/с} - 6,8 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2}$$

$$t = \frac{10,8 \text{ м/с}}{10 \text{ м/с}^2} = 1,08 \text{ с} \text{ - время полета.}$$

Тогда горизонтальное смещение камня x равно:

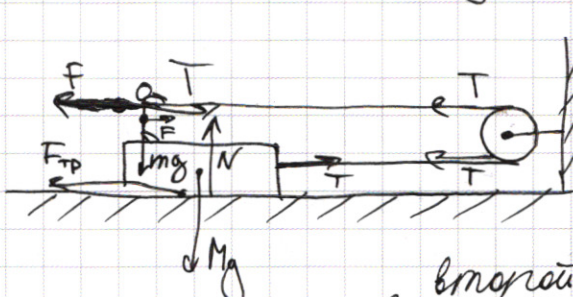
$$x = \cancel{\frac{1}{2}} v_0 \cos 60^\circ t = 8 \text{ м/с} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,08 \text{ с} = 4,32 \text{ м}$$

Ответ: вертикальная компонента

$$v_y = 17,6 \text{ м/с}, \text{ время полета } t = 1,08 \text{ с},$$

$$\text{горизонтальное смещение } x = 4,32 \text{ м}$$

Задача №2



1) Рассмотрим систему
«лирик и человек»,
~~на неё дейс~~ и
заткнем для нее

второй закон Ньютона на вертикальную
ось. $mg + Mg = N$, $M = 5m \Rightarrow \boxed{N = 6mg}$ — с такой
силой эта система давит на пол (N —
сила реакции опоры).

2) Для точки каната, за которую тянет
человек: $F = T$ (горизонтальная ось, F — сила с
которой тянет человек)

Тогда при минимальной F_0 скорость лирика
не постоянна, $a = 0$. Заткнем второй закон
Ньютона для системы лирика и человека.

$$F_{\text{тр}} = \mu N \text{ (лирик движется, поэтому сила трения скольжения)}.$$

$$F_0 + T = \cancel{\mu N} F_{\text{тр}} = \mu N = \mu \cdot 6mg$$

$$2F_0 = 6\mu mg \Rightarrow \boxed{F_0 = 3\mu mg}$$

3) Если человек тянет с силой F , то:

$$F + T - F_{\text{тр}} = 6ma$$

$$2F - 6\mu mg = 6ma \Rightarrow a = \frac{F}{3m} - \mu g$$

Тогда $\&$ Тогда лирик пройдет расстояние S за
время t , такое, что

$$\frac{at^2}{2} = S \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2S}{a}}$$

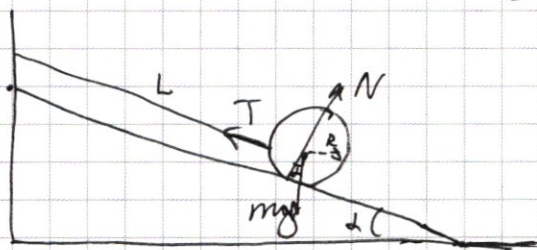
ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Тогда скорость ящика v_k будет равна

$$v_k = at = \sqrt{2Sa} = \sqrt{\frac{2SF}{3m} - 2S\mu g} = \sqrt{2S\left(\frac{F}{3m} - \mu g\right)}$$

Ответ: $N = 6mg$ — сила с которой ящик давит на пол, $v_k = \sqrt{2S\left(\frac{F}{3m} - \mu g\right)}$ — скорость которую достигнет ящик при силе F минимальная сила $F_0 = 3\mu mg$.

N 3



I случай: система не вращается.

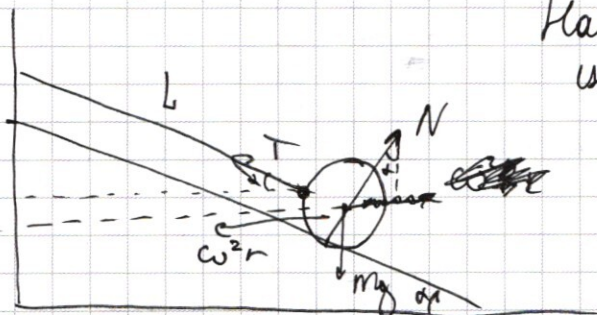
Тогда запишем второй закон Ньютона на оси вдоль поверхности

кинны. ~~и перпендикулярно ей:~~

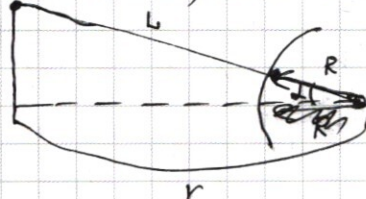
$$N = mg \cos \alpha, \quad T = mg \sin \alpha$$

II случай: система вращается.

Найдем радиус вращения центра масс шара r



$$r = (L + R) \cos \alpha$$



Тогда ~~мы имеем~~

$$T \cos \alpha + N \sin \alpha = m \omega^2 r \quad \text{— на горизонтальную ось}$$

$$mg = N \cos \alpha + T \sin \alpha \quad \text{— на вертикальную ось.}$$

$$N \cos \alpha = mg - T \sin \alpha$$

$$N = \frac{mg - T \sin \alpha}{\cos \alpha} \Rightarrow N \sin \alpha = (mg - T \sin \alpha) \cdot \tan \alpha$$

$$T \cos \alpha - (mg - T \sin \alpha) \tan \alpha = m \omega^2 r$$

$$T \cos \alpha - mg \tan \alpha + T \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} = m \omega^2 r$$

$$T \left(\cos \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \right) = m \omega^2 r + mg \tan \alpha$$

$$T = m \frac{\omega^2 r + g \tan \alpha}{\cos \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha}}, \text{ теперь подставим } r = (L+R) \cos \alpha$$

$$T = m \frac{\omega^2 (L+R) \cos \alpha + g \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}}{\cos \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha}} = m \frac{\omega^2 (L+R) \cos^2 \alpha + g \sin \alpha}{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} =$$

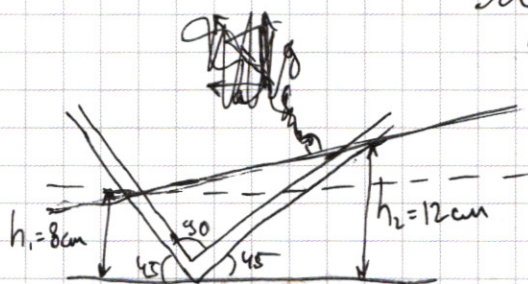
$$= m \omega^2 (L+R) \cos^2 \alpha + mg \sin \alpha$$

Ответ: Если система не вращается, то

$T = mg \sin \alpha$, если вращается, то

$$T = m (\omega^2 (L+R) \cos^2 \alpha + g \sin \alpha)$$

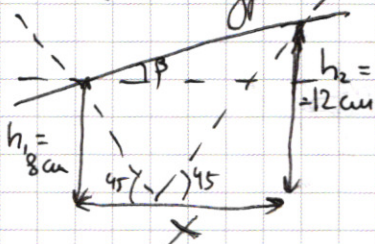
Задача N4



Уровень жидкости
1) Поверхность жидкости перпендикулярна направлению эффективного ускорения

системы $\vec{g} + \vec{a} = \vec{g}'$ $\vec{g} = \vec{a} = \vec{g}'$

Угол β между поверхностью воды и горизонтом

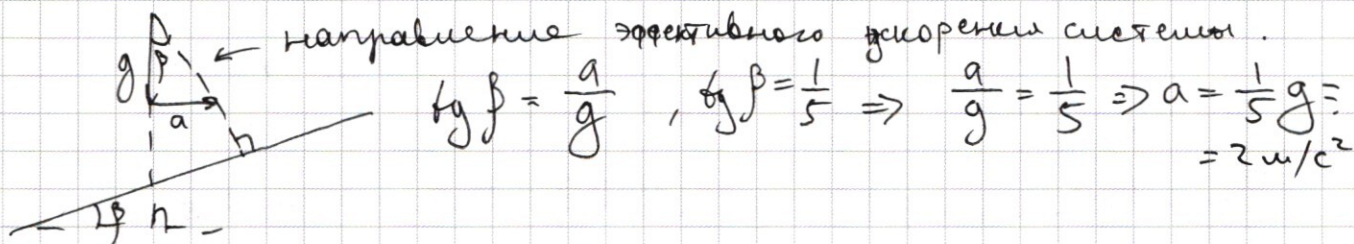


$$\tan \beta = \frac{h_2 - h_1}{X}$$

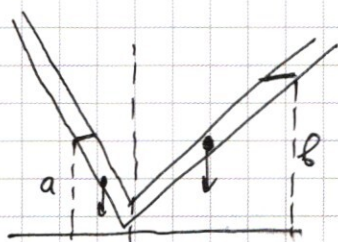
$$X = h_1 \cot 45 + h_2 \cot 45 = h_1 + h_2$$

$$\tan \beta = \frac{h_2 - h_1}{h_2 + h_1} = \frac{4 \text{ см}}{20 \text{ см}} = \frac{1}{5}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



- 2) Рассмотрим момент, когда ускорение пропадет, перейдем в систему отсчета, связанную с сосудом и запишем закон сохранения энергии. Для начала найдем изменение потенциальной энергии ~~системы~~ воды. Для этого найдем центр масс воды.



a, b - уровни воды в двух трубках,
 m - масса всей воды.

Центр масс правой части находится на высоте $\frac{b}{2}$, его масса $m \frac{b}{a+b}$, для левой части аналогично,

высота $\frac{a}{2}$, масса $m \frac{a}{a+b}$. Тогда центр масс системы находится на высоте H от пола

$$H = \frac{\frac{a}{2} m \frac{a}{a+b} + \frac{b}{2} m \frac{b}{a+b}}{m} = \frac{a^2}{2(a+b)} + \frac{b^2}{2(a+b)} = \frac{a^2 + b^2}{2(a+b)}$$

Когда $a = h_1 = 8 \text{ см}$, $b = h_2 = 12 \text{ см}$, высота центра масс

$$\frac{144 \text{ см}^2 + 64 \text{ см}^2}{2 \cdot 20 \text{ см}} = 5,2 \text{ см}$$

$(a+b) = \text{const}$, т.е. масса и объем воды не меняются

Тогда по закону сохранения энергии

$$mg \cdot 5,2 \text{ см} = \frac{mV^2}{2} + mg \frac{a^2 + b^2}{2(a+b)}$$

(Каждая часть воды имеет одинаковую по модулю скорость, иначе в ней образовались дыры).

П.к. нужно найти максимальное V , то

Нужно понять, когда $\frac{a^2+b^2}{2(a+b)}$ минимально. при $a+b=\text{const}$

$$\frac{a^2+b^2}{2(a+b)} = \frac{(a+b)^2 - 2ab}{2(a+b)}$$

В ~~то~~ знаменателе $(a+b)=\text{const}$, в числителе $(a+b)^2=\text{const}$, значит нужно определить, когда $2ab$ максимально.

~~Но $a+b=\text{const}$ и a^2+b^2 не равно константе~~

~~$a+b=\text{const}$ — не константа.~~

~~$2ab = 2a(\text{const} - a)$~~

Тогда $a = \frac{a+b}{2} + \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)$ $b = \frac{a+b}{2} - \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)$

$ab = \left(\frac{a+b}{2}\right)^2 - \left(\frac{b}{2} - \frac{a}{2}\right)^2$ — формула разности квадратов.
 ab ^{$=\text{const}$} максимально, когда $\frac{b}{2} - \frac{a}{2}$ минимально, то есть $a=b$.

$$a=b = \frac{h_1 + h_2}{2} = 10 \text{ см.}$$

$$\frac{a^2+b^2}{2(a+b)} = \frac{200 \text{ см}^2}{40 \text{ см}} = 5 \text{ см.}$$

Тогда вернемся к закону сохранения энергии

$$g \cdot 5,2 \text{ см} = \frac{v_{\text{max}}^2}{2} + g \cdot 5 \text{ см}$$

$$2 \cdot g \cdot 0,2 \text{ см} = v_{\text{max}}^2 \Rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{g \cdot 0,4 \text{ см}}$$

$$v_{\text{max}} = \sqrt{1000 \text{ см/с}^2 \cdot 0,4 \text{ см}} = 20 \text{ см/с} = 0,2 \text{ м/с.}$$

Ответ: Ускорение трубки $a=2 \text{ м/с}^2$,
 максимальная скорость ^{водной} ~~трубки~~ $v_{\text{max}} = 0,2 \text{ м/с.}$

Задача №5

1) Температура в процессе не меняется, значит давление насыщенного пара тоже постоянно.
 и плотность

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

В процессе, т.к. пар стискивается, то он всегда остается насыщенным. В итоге для данного изотермического процесса $P = \text{const}$, $T = \text{const}$, $\rho = \text{const}$.

$$PV = \nu RT$$

$$PV_{\rho} = \nu_{\rho} RT$$

$$P m = \nu_{\rho} RT \Rightarrow P = \frac{\nu}{m} \rho RT \Rightarrow P = \frac{\rho RT}{M}$$

П.к. как ~~уже~~ в опыте ~~уже~~ насыщенным

водяной пар, его молярная масса равна молярной массе воды, откуда получаем, что

$$\rho = \frac{MP}{RT} = \frac{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 18 \text{ г/моль}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot (95^{\circ} + 273) \text{ К}}$$

$$\rho = \frac{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 0,018 \text{ кг/моль}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 368 \text{ К}} \approx \left(10^4 \cdot \frac{1}{2 \cdot 10^5} \right) \text{ кг/м}^3 = 0,5 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho = \frac{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 0,018 \text{ кг/моль}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 368 \text{ К}} = 0,5 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{0,5 \text{ кг/м}^3}{1000 \text{ кг/м}^3} = \frac{1}{2000} = 0,0005$$

$$2) PV = \nu RT \Rightarrow P = \frac{\nu}{V} RT \Rightarrow \frac{\nu}{V} = \frac{P}{RT} = \text{const.}$$

$\frac{\nu}{V} = \text{const}$. В процессе опыта объем пара уменьшился

в $\gamma = 4,7$ раза, значит ~~то~~ количество газа ν тоже уменьшилось в 4,7 раза, а остальные молекулы превратились в воду. Их количество $\nu - \frac{\nu}{\gamma}$.
Тогда объем воды равен $\frac{M}{\rho} \left(\nu - \frac{\nu}{\gamma} \right)$.

А объем пара к этому моменту был ~~равен~~ равен

$$PV_1 = \frac{\gamma}{\gamma-1} RT, \quad V_1 = \frac{\gamma RT}{\gamma P}$$

Отношение объема пара к объему воды.

$$\frac{V_2}{\frac{M}{\rho} \left(1 - \frac{V}{V_1}\right)} = \frac{\frac{\gamma RT}{\gamma P}}{\frac{M}{\rho} \left(1 - \frac{V}{V_1}\right)} = \frac{\gamma RT \rho}{\gamma P \cdot \mu \left(1 - \frac{V}{V_1}\right)} = \frac{RT \rho}{P \mu \left(1 - \frac{V}{V_1}\right)} =$$

$$= \frac{RT \rho}{P \mu (\gamma - 1)} = \frac{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot (99 + 273) \text{ К} \cdot 1242,37}{18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{кг} \cdot (\gamma - 1)}$$

$$= \frac{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}} \cdot 368 \text{ К} \cdot 1 \text{ м}^3}{8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 3,7} = \frac{8,31 \cdot 368}{8,5 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot 3,7} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{Па}} =$$

$$= \frac{8,31 \cdot 368 \cdot 10^6}{8,5 \cdot 10^4 \cdot 18 \cdot 3,7} \frac{\text{Дж}}{\text{Па} \cdot \text{м}^3} = 10^2 \cdot \frac{8,31}{8,5} \cdot \frac{368}{3,7} \cdot \frac{1}{18} = 10^2 \cdot 10 \cdot 10 =$$

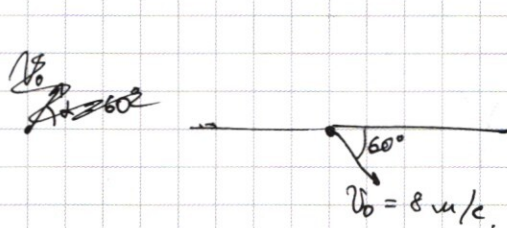
$$\approx 1000 \quad \approx 1000 \quad = 540$$

Ответ: отношение плотностей равно

$$\frac{1}{2000} = 0,0005, \quad \text{отношение объема пара}$$

к объему воды 540.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$\sqrt{57}$

2,3

2, 4.

$$\begin{array}{r} 125 \\ 25 \end{array}$$

$$\left(\frac{12}{5}\right)^2 = \frac{144}{25}$$

$$2,25 \cdot 2,2$$
$$4,4 + 0,45$$

$$(2,3)^2 = 4,6 + 2,3 \cdot 0,3$$

023-3

C, 69

$$\frac{100}{20} = 5.$$

$$2,2 \cdot 8 =$$

$$16 + 1,6$$

17,6

$72 + 32$

$$\frac{104}{26} = 4$$

$$4.1,73 = 4 + 28$$

$$(12)^2 = 144 + 64 = \underline{208}$$

$$18,4 - 6,8$$

३३

116

42 0,08.4

0,32 g

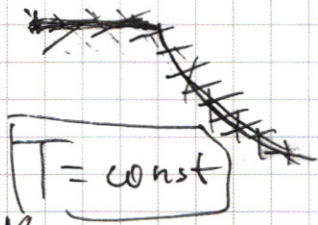
$$\text{K.E.} = \frac{mv^2}{2}$$

$$\sqrt{2gh} = v$$

$$\frac{8+18}{5} = \frac{26}{5} = 5,2$$

$$\frac{2}{5} \cdot 4 + \frac{3}{5} \cdot 6$$

$$\frac{8.2m \cdot 4 + 12.5m \cdot 6m}{1.4m \cdot 20m}$$



$$\rho = 12 \text{ г/см}^3$$

$$\mu = 18 \text{ г/моль}$$

Плотность насыщенного пара не меняется! $\gamma = 4,7$ раза.

$$PV = \nu RT$$

$$P = \text{const.}$$

$$\nu = \text{const.}$$

$$PV\rho = \nu\rho RT$$

$$Pm = \nu\rho RT$$

$$P = \frac{\nu}{m} \rho RT$$

$$P = \mu \rho RT$$

$$8,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot 0,08 \text{ м/м}$$

$$0,018 \text{ г/см}^3 \cdot 368 \text{ К} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$\frac{0,91}{18} \cdot 1000$$

$$\frac{8,31}{8,5 \cdot 18} \cdot 1000$$

$$\frac{0,98}{18} = 0,55$$

$$\frac{\text{Па} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}}$$

$$\frac{\text{Па} \cdot \text{моль}^2}{\text{кг} \cdot \text{Дж}}$$

$$\frac{\text{моль}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}^3}$$

$$\begin{array}{r} 831,0 \\ - 765,0 \\ \hline 66,0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 850 \\ 0,91 \end{array}$$

$$66 : 8,5$$

$$\begin{array}{l} 17 \quad 2 \\ 34 \quad 4 \\ 51 \quad 6 \\ 68 \quad 8 \end{array}$$

$$\frac{\text{Дж}}{\text{см}^3 \cdot \text{Па}}$$

$$10^4$$

$$\frac{18}{368 \cdot 1000}$$

$$\frac{18}{1000} = 0,018$$

$$\frac{1}{20 \cdot 1000}$$

$$\begin{array}{r} 850,0 \\ 831 \quad 1 \\ \hline 19,0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 831 \\ 1,0 \end{array}$$

$$\frac{18 \text{ г/моль}}{368} = \frac{1}{20}$$