

Олимпиада «Физтех» по физике, фс

Класс 10

Вариант 10-03

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

1. Мальчик бросает стальной шарик с вышки со скоростью $V_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В полете шарик все время приближался к горизонтальной поверхности Земли и упал на нее со скоростью $2V_0$.

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

2) Найти время полета шарика.

3) С какой высоты был брошен шарик?

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

2. На противоположных концах тележки массы M , находящейся на гладкой горизонтальной поверхности, стоят два ученика одинаковой массы m каждый. Длина тележки L . Вначале система неподвижна. Один ученик бросает мяч, а другой ловит. Масса мяча m_1 . В процессе полета горизонтальная составляющая скорости мяча относительно поверхности, на которой находится тележка, равна V_0 .

1) Найдите скорость V_1 тележки после броска.

2) Найдите продолжительность T полета мяча.

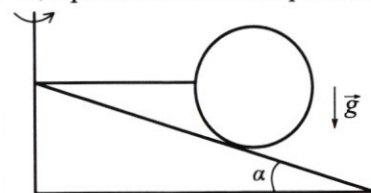
3) Найдите скорость V_2 тележки после того, как второй ученик поймает мяч.

Силу сопротивления воздуха считайте пренебрежимо малой.

3. Однородный шар массой m находится на гладкой поверхности клина, наклоненной под углом α к горизонту (см. рис.). Шар удерживается горизонтально натянутой нитью длиной L , привязанной к вершине 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.



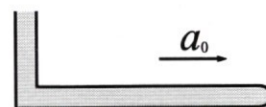
4. Тонкая Г-образная трубка с горизонтальным коленом, закрытым с одного конца, и вертикальным коленом высотой $H = 40$ мм, открытым в атмосферу, заполнена полностью ртутью (см. рис.). Если трубку двигать (в плоскости рисунка) с ускорением, не большим некоторого a_0 , то ртуть из трубки не выливается.

1) Найти давление P_1 внутри трубки в точке А, находящейся от вертикального колена на расстоянии $1/3$ длины горизонтального колена, если трубка движется с ускорением a_0 .

2) Найти давление P_2 в точке А, если трубка движется с ускорением $0,6a_0$.

3) Найти давление P_3 вблизи закрытого конца трубки, если она движется с ускорением $0,8a_0$.

Атмосферное давление $P_0 = 740$ мм рт. ст. Давлением насыщенных паров ртути в условиях опыта пренебречь. Ответы дать в «мм рт. ст.».



5. Поршень делит объем горизонтального герметичного цилиндра на две равные части, в каждой из которых находится вода и водяной пар при температуре $T = 373$ К. Масса воды в каждой части в 5 раз меньше массы пара. Поршень находится на расстоянии $L = 0,6$ м от торцов, площадь поперечного сечения поршня

$S = 20$ см². Масса M поршня такова, что $\frac{Mg}{S} = 0,01P_0$, здесь P_0 – нормальное атмосферное давление.

1) Найдите массу m воды в каждой части в начальном состоянии.

2) Цилиндр ставят на дно. Найдите вертикальное перемещение h поршня к моменту установления равновесного состояния.

Температура в цилиндре поддерживается постоянной. Трение считайте пренебрежимо малым. Молярная масса водяного пара $\mu = 18$ г/моль, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль·К). Объем воды намного меньше объема пара.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

11

Пусть h - высота воллики, T_0 - время падения, $v = 20$ - скорость ~~воллики~~ шарика ~~падающего~~ в момент падения.

т.к. ~~узел~~ броска по мере вои, то

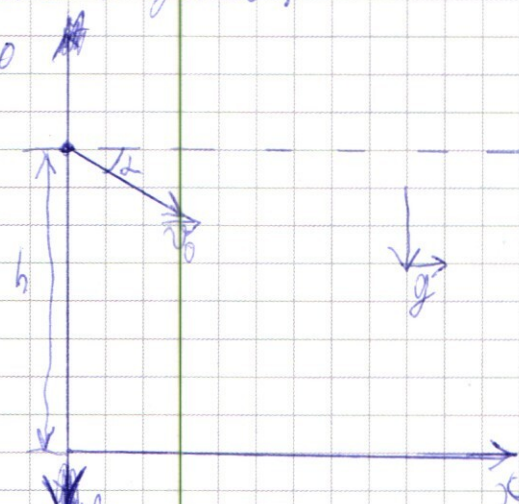
2020年

По данному системному координат:

начальное положение мяча $(0, h)$, а

комплексное $(x', 0)$, где x' — расстояние

продвигное по горизонтали



т.к. $L \neq 0$, то $v_{0y} \neq 0$; т.к. шарик все время приближался к Земле, то в любой момент времени на протяжении всего полета $v_y \neq 0$, где v — мгновенная скорость в любой момент времени полета, $\Leftrightarrow v_{0y} \neq 0 \Rightarrow$ вектор начальной скорости направлен к Земле (см. рис.).

П.к. по горизонтальной ускорение равно 0, то $v_x = \text{const} = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$; тогда

$$v^{12} = v_y^{12} + v_x^{12} = v_y^{12} + v_{ox}^2 = v_y^{12} + (v_o \cos \alpha)^2 \text{ ПЛ.К. } v^1 = 2v_o, \text{ мо}$$

$$v_4'^2 = (2v_0)^2 - (v_0 \cos \alpha)^2$$

$$v'_y = \sqrt{v_0^2 - v_0^2 \cos^2 2} = \sqrt{v_0^2 (4 - \cos^2 2)} = v_0 \sqrt{4 - \cos^2 2}; \text{ Тогда получим}$$

мисла.

$$v_y' = 10 \text{ м/с} \cdot \sqrt{4 - \cos^2 30^\circ} = 10 \cdot \sqrt{4 - \frac{3}{4}} = 10 \cdot \sqrt{\frac{13}{4}} = \frac{10 \sqrt{13}}{2} = 5 \sqrt{13} \approx 18 \text{ м/с}.$$

~~Поскольку~~ Т.к. по вертикали действует ускорение свободного падения g , то

$$\frac{v_y' - v_{0y}}{T} = g$$

$$\boxed{\text{из формулы } v_{0y} = v_0 \sin \alpha}$$

$$T = \frac{v_y' - v_{0y}}{g} = \frac{v_y' - v_0 \sin \alpha}{g}; \text{ Подставим числа:}$$

$$T = \frac{18 \text{ м/с} - 10 \text{ м/с} \cdot \sin 30^\circ}{10 \text{ м/с}^2} = \frac{18 - \frac{10}{2}}{10} = \frac{13}{10} = 1,3 \text{ с.}$$

Высота вышки равна перемещению по вертикали, поэтому

$$h = \frac{v_y'^2 - v_{0y}^2}{2g} = \frac{4v_0^2 - v_0^2 \cos^2 \alpha - v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{v_0^2}{2g} \cdot (4 - \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha) =$$

$$= \frac{v_0^2}{2g} \cdot (3 - \cos^2 \alpha + (1 - \sin^2 \alpha)) = \frac{v_0^2}{2g} (3 - \cos^2 \alpha + \cos^2 \alpha) = \frac{3v_0^2}{2g}$$

$$= \frac{3}{2} \frac{v_0^2}{g}; \text{ Подставим числа.}$$

$$h = \frac{3 \cdot (10 \text{ м/с})^2}{2 \cdot 10 \text{ м/с}^2} = \frac{3 \cdot 100}{20} = 15 \text{ м.}$$

Ответ: $v_y' = 18 \text{ м/с}$; $T = 1,3 \text{ с}$; $h = 15 \text{ м}$.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 3

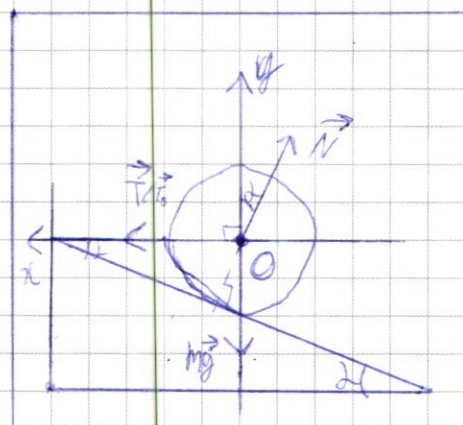
Введем обозначения: T_0 - сила натяжения нити, когда система покоится; T - сила натяжения нити, когда система вращается; N - реакция силы реакции опоры; a - центростремительное ускорение.

Второй закон Ньютона для шара, если система покоится.

$$\text{на } O_x: T_0 - N \sin \alpha = 0$$

$$\text{на } O_y: N \cos \alpha - mg = 0$$

$$\begin{cases} T_0 = N \sin \alpha (1) \\ mg = N \cos \alpha (2) \end{cases} \text{ делим (1) на (2)}$$



$$\frac{T_0}{mg} = \frac{N \sin \alpha}{N \cos \alpha} = \tan \alpha$$

$$T_0 = mg \tan \alpha.$$

Второй закон Ньютона для шара, если система вращается.

$$\text{на } O_x: T - N \sin \alpha = ma$$

$$\text{на } O_y: -mg + N \cos \alpha = 0$$

$$\begin{cases} T - N \sin \alpha = m \omega^2 L \\ mg = N \cos \alpha \quad | \cdot \tan \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = m \omega^2 L + N \sin \alpha \\ mg \tan \alpha = N \tan \alpha \cdot \cos \alpha \end{cases}$$

$$\begin{cases} T = m \omega^2 L + N \sin \alpha \\ mg \tan \alpha = N \sin \alpha \end{cases}$$

$$T = m \omega^2 L + mg \tan \alpha$$

$$T = m (\omega^2 L + g \tan \alpha)$$

Ответ: $T_0 = mg \tan \alpha$, $T = m (\omega^2 L + g \tan \alpha)$

$\sqrt{2}$

т.к. изначально система покоилась ^(и она замкнута), то сумма импульсов всех тел системы в любой момент времени равна 0 (из закона сохранения импульса), тогда

$$(M+2m) \vec{v}_1 + m_1 \vec{v}_0 = 0$$

$$(M+2m) v_1 - m_1 v_0 = 0$$

$$(M+2m) v_1 = m_1 v_0$$

$$v_1 = \frac{m_1 v_0}{M+2m}$$

После того, как ученик поймает мяч его (мяча) скорость также будет равна v_2 , то есть $(M+2m+m_1) v_2 = 0$, т.к. $M+2m+m_1 \neq 0$, то $v_2 = 0$.

Для нахождения времени полета перейдем в систему отсчета, связанную с тележкой: в ней мяч

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

^{горизонтальная}
Имеет скорость $v_0 + v_1$ и за время T по горизонтали
пройдет путь L .

Тогда ~~$\frac{L}{v_0 + v_1}$~~ $T = \frac{L}{v_0 + v_1} = \frac{L}{v_0 + v_0 \frac{m_1}{2m+M}} = \frac{L}{v_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{m_1}{2m+M}} =$

$$= \frac{L}{v_0} \cdot \frac{1}{\frac{2m+M+m_1}{2m+M}} = \frac{L}{v_0} \cdot \frac{2m+M}{2m+M+m_1}$$

Ответ: $v_1 = v_0 \cdot \frac{m_1}{2m+M}$; $v_2 = 0$, $T = \frac{L}{v_0} \cdot \frac{2m+M}{2m+M+m_1}$
✓ 5

При температуре T давление насыщенных водя-
ных паров равно P_0 (пары насыщенный, т.к. он находи-
тся в термостатном сосуде вместе со своей
жидкостью).

Тогда согласно уравнению состояния идеального
газа

$$P_0 \cdot S \cdot L = \frac{5m}{\nu} \cdot R \cdot T, \text{ т.к. в обеих частях все величины}$$

равны, то равны и массы.

$$1) P_0 S L = \frac{5m}{\nu} \cdot R \cdot T$$

$$m = \frac{P_0 S L \nu}{5 R T};$$

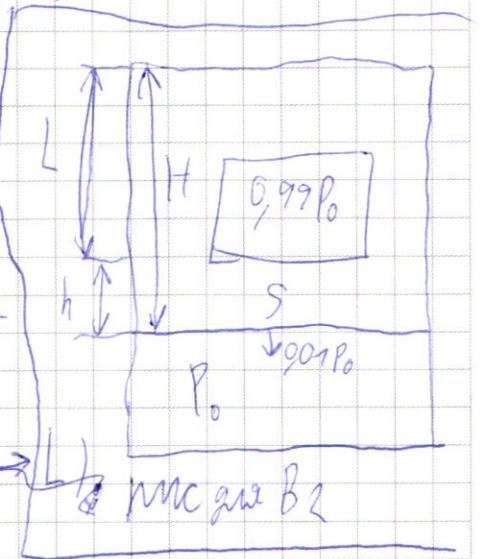
Подставим числа.

$$m = \frac{10^5 \text{ Па} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 \cdot 0,6 \text{ м} \cdot 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{5,8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 373 \text{ К}} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 18 \cdot 10}{5,8,31 \cdot 373} = \frac{432}{3099,63} \approx 0,142$$

$$\approx 0,142$$

$H = L + h$ - высота верхней части цилиндра

При перемене поршня вниз в нижней части цилиндра давление будет оставаться P_0 пока весь пар не сконденсируется (тогда $h \rightarrow 0$ и $H \rightarrow L$).



Пока и над и под поршнем есть вода и пар он будет опускаться, т.к. давление насыщенного пара при данной температуре постоянно.

При этом в верхней части будет испаряться вода, а в нижней конденсироваться пар.

Движение поршня остановится в один из случаев: (1) Вся весь пар в нижней части превратится в воду. (2) Вся вода сверху превратится в пар и давление этого пара станет равным $P_0 - \frac{mg}{S} = 0,99 P_0$.

Рассмотрим случай (1): для верхней ^{и части} ~~части~~ цилиндра

$P' S H' = \frac{m'}{\nu} \cdot R \cdot T$, где P' - давление в ~~данной~~ верхней части цилиндра, H' - ее высота, а m' - масса пара в ней.

Заметим, что в нижней части цилиндра масса ~~жидкой~~ воды $m = 0,842$, а ее объем ^(V) $0,84 \text{ м}^3$; т.к. $S = 20 \text{ см}^2$, то

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

$\frac{V}{S} < 0,1L \Rightarrow H > 19L$; Также отметим, что $P' \geq P_0$ (иначе ~~уменьшится~~ поршень остановится бы раньше при $P' = 0,99P_0$). А также заметим, что $m' \leq 6m$ (т.к. ~~если $m' > 6m$, то откуда масса~~ ~~идет~~, т.к. в каждой части ~~имеется~~ всего $6m$ ~~идет~~ в виде жидкости и/или пара). Тогда получаем такую систему:

$$\begin{cases} P'SH' = \frac{m'}{S}RT \\ P' \geq 0,99P_0 \\ H' > 19L \\ m' \leq 6m \end{cases}$$

, Она преобразуется в неравенство:

$$\frac{6m}{S}RT \geq \frac{m'}{S}RT = \cancel{P'SH'} P'SH' > 0,99P_0 \cdot S \cdot 19L, \text{ или без промежуточных выражений}$$

$$\frac{6m}{S}RT > 0,99P_0 \cdot S \cdot 19L \text{ разделим на}$$

$$0,99 \cdot 19 P_0 SL < 6 \cdot \frac{m}{S}RT \text{ /разделим на равенство (1)}$$

$$\frac{0,99 \cdot 19 P_0 SL}{P_0 SL} < \frac{6 \frac{m}{S}RT}{5 \frac{m}{S}RT}$$

$$0,99 \cdot 1,2 < \frac{6}{5}$$

$1,881 < 1,2$, что неверно, $\Rightarrow$ ~~1-й~~ вариант (1) отражает и верным является вариант 2

Согласно варианту 2 над поршнем в объёме $S \cdot H$ под давлением $0,99 P_0$ находится 6 м водяного пара. Тогда уравнение состояния:

$$0,99 P_0 S \cdot H = \frac{6 \text{ м}}{5} RT \quad / \text{разделим на равенство (1)}$$

$$\frac{0,99 P_0 S H}{P_0 S L} = \frac{6 \frac{\text{м}}{5} RT}{5 \frac{\text{м}}{5} RT}$$

$$\frac{0,99 H}{L} = \frac{6}{5}$$

$$5 \cdot 0,99 H = 6L$$

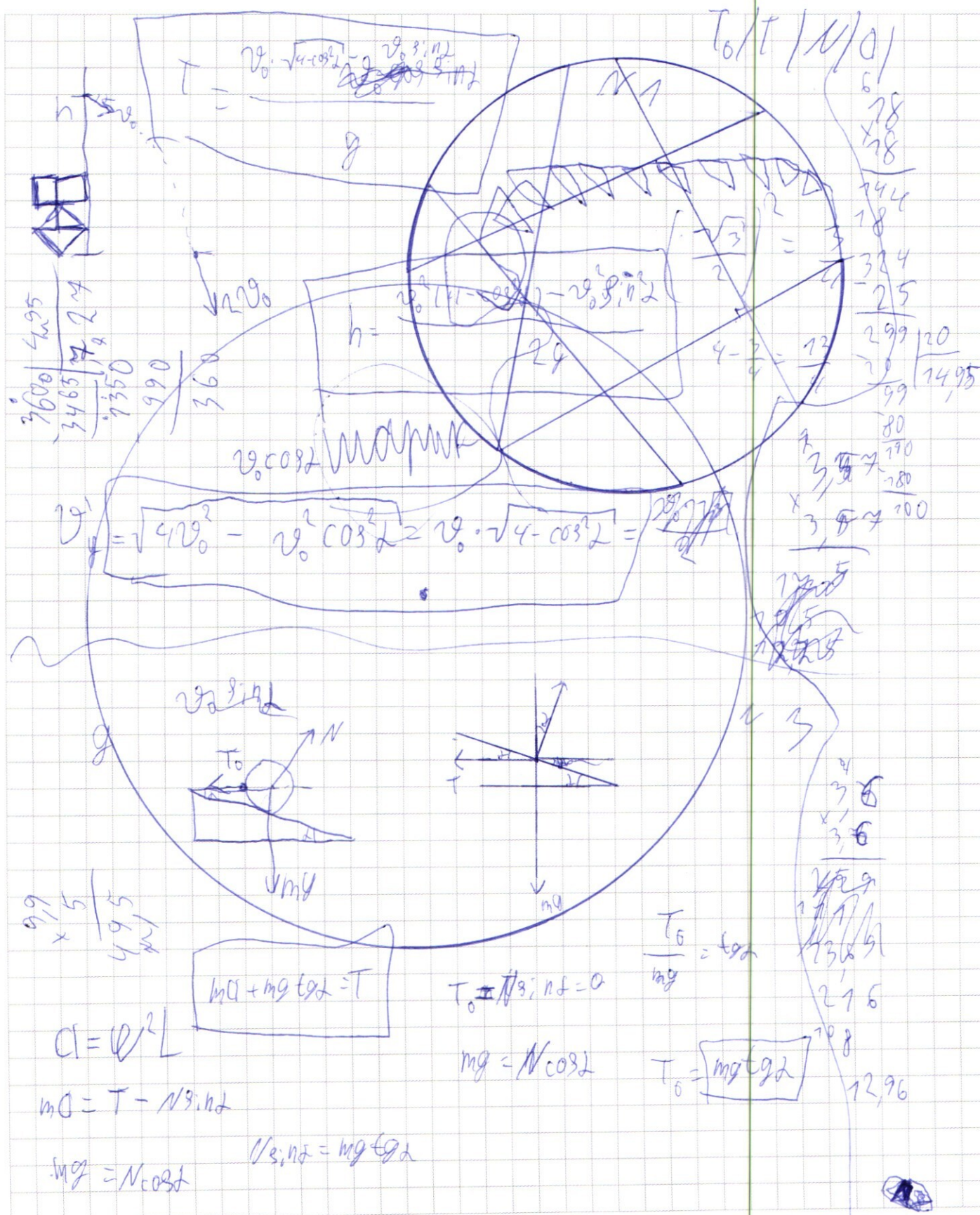
$$H = \frac{6L}{5 \cdot 0,99}, \text{ подставим числа:}$$

$$H = \frac{6 \cdot 0,6 \text{ м}}{5 \cdot 0,99} \approx \text{или} \approx 0,73 \text{ м}$$

$$\text{тогда } h = H - L = 0,73 \text{ м} - 0,6 \text{ м} = 0,13 \text{ м}$$

$$\text{Ответ: } m = 0,142; h = 0,13 \text{ м}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА



$$T_1 = 100^\circ\text{C} \quad P_H = P_0$$

$$P' S h = \frac{6m}{5} RT$$

$$P_0 V = \frac{m}{\mu} RT$$

$$m = \frac{P_0 V \mu}{RT} \text{ нагр}$$

2

$$\begin{array}{r} 4132000 \mid 309963 \\ - 309963 \\ \hline 1032337 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1220340 \\ 929889 \\ \hline 2904870 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2904870 \\ - 24896 \\ \hline (2m-4) \nu_1 + m_1 \nu_0 = 0 \end{array}$$

$$115143$$

$$\begin{array}{r} 324074 \\ \times 78^4 6 \\ \hline 7920842 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 7920842 \\ + 24 \\ \hline 432 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 324074 \\ \times 78^4 6 \\ \hline 24 \end{array}$$

$$20 \text{ см} = 0,2 \text{ м} = 2 \cdot 10^{-1}$$

$$\begin{array}{r} 837 \\ \times 373 \\ \hline 2493 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2493 \\ 5814 \\ \hline 101725 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 10^5 \\ 2493 \\ \hline 101725 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 101725 \\ 509963 \end{array}$$

5

$$81 \cdot 2,2 = 160$$

$$\begin{array}{r} 3 \cdot 6 \cdot 9,9 \\ 0,99 P_0 \end{array}$$

$$0,99 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 6 \cdot 10^3 P_0$$

$$0,99$$

$$\begin{array}{r} 79 \\ \times 0,99 \\ \hline 779 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 779 \\ 1077 \\ \hline 1887 \end{array}$$

$$1887$$

$$837$$

$$6$$

$$23$$

$$21$$

$$21$$

$$373$$

$$577$$

$$0,14$$

$$0,14$$

$$0,99 P_0 S H = \frac{6m}{5} RT$$

$$0,99 P_0 S H = \frac{6 P_0 S L \mu}{5 \mu R T} \cdot RT$$

$$0,99 H = \frac{6L}{5}$$

$$H - h = L$$

$$h = H - L$$

$$H = \frac{600L}{995}$$

$$\frac{105}{495} \cdot L - L = \frac{705}{495} L = h$$

$$P' S h > 0,99 P S \cdot 1,5L$$

$$\frac{m}{\mu} RT < \frac{6m}{\mu} \cdot RT = \frac{6 \cdot 0,14}{38} \cdot 8,31 \cdot 373$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

