

Олимпиада «Физтех» по физике, 6

Вариант 10-02

Класс 10

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

1. Гайку бросают с вышки со скоростью $V_0 = 10$ м/с под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В полете гайка все время приближалась к горизонтальной поверхности Земли и упала на нее со скоростью $2V_0$.

- 1) Найти вертикальную компоненту скорости гайки при падении на Землю.
- 2) Найти время полета гайки.
- 3) С какой высоты была брошена гайка?

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

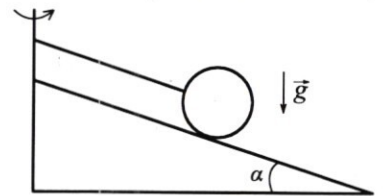
2. Человеку, упирающемуся в ящик ногами, надо передвинуть ящик из состояния покоя по горизонтальному полу на расстояние S к стене (см. рис.). Массы человека и ящика равны соответственно m и $M = 2m$. Натянутые части каната, не соприкасающиеся с блоком, горизонтальны. Массами каната, блока и трением в 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 надо тянуть человеку канат, чтобы осуществить задуманное?
- 3) За какое время 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.

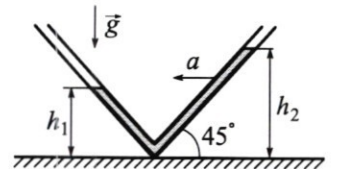
- 1) Найти силу давления шара на клин, если система покоится.
- 2) Найти силу давления шара на клин, если система вращается с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, проходящей через вершину клина, а шар не отрывается от клина.



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 с ускорением $a = 4$ м/с² уровень масла в одном из колен трубки устанавливается на высоте $h_1 = 10$ см.

- 1) На какой высоте h_2 установится уровень масла в другом колене?
- 2) С какой скоростью V будет двигаться жидкость в трубке относительно трубки после того как трубка внезапно станет двигаться равномерно (ускорение «исчезнет») и когда уровни масла будут находиться на одинаковой высоте?

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



5. В цилиндрическом сосуде под поршнем находится насыщенный водяной пар при температуре 27°C и давлении $P = 3,55 \cdot 10^3$ 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 $\gamma = 5,6$ раза.
- Плотность и молярная масса воды $\rho = 1$ г/см³, $\mu = 18$ г/моль.

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№1 Дано:

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

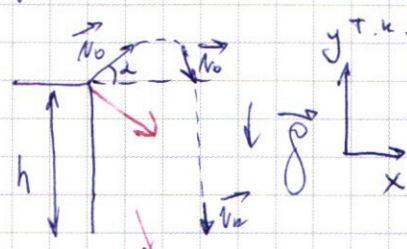
$$v_k = 2v_0$$

$$v_b - ?$$

$$t - ?$$

$$h - ?$$

Решение:



у т.к. тело находится в поле сил тяжести
взвешивать, то оно будет двигаться
по параболе.

Зн. в точке, когда тело находится
на оси x на той же высоте, что и
вершина дуги → скорость будет v_0 .

все время вниз

$$v_{\text{кон}} = v_0 + gt; \quad 2gh = v_{\text{кон}}^2 - v_0^2$$

$$2 \cdot 10 / = 10 + gt \quad \text{Здесь ось } y \text{ и } x,$$

тогда:

$$O_y: \quad v_y = v_0 \sin \alpha$$

$$O_x: \quad v_x = v_0 \cos \alpha. \rightarrow \text{горизонтальная компонента}$$

неуменьшается, т.к. по O_x не действуют никакие внешние силы.

$$v_b = v_0 \sin \alpha + gt = v_0 \cdot \sin 30^\circ + gt = \frac{1}{2} v_0 + gt.$$

$$2gh = v_b^2 - (v_0 \sin \alpha)^2;$$

Запишем ЭД для точки: $\frac{m v_0^2}{2} + mgh = \frac{m v_k^2}{2}$

$$\frac{v_0^2}{2} + gh = \frac{v_k^2}{2}; \quad \frac{v_0^2}{2} + gh = \frac{4v_0^2}{2}; \quad v_0^2 + 2gh = 4v_0^2$$

$$2gh = 3v_0^2; \quad h = \frac{3v_0^2}{2g} = \frac{3 \cdot (10 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{3 \cdot 10}{2} \text{ м} = 15 \text{ м}.$$

$$2 \cdot g \cdot h = v_b^2 - v_0^2 \cdot \sin^2 30^\circ; \quad 2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 15 \text{ м} = v_b^2 - (10 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2 \cdot \frac{1}{4}$$

$$v_b^2 = \frac{(10 \frac{\text{м}}{\text{с}})^2}{4} + 2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 15 \text{ м} = \frac{100}{4} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + 300 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 325 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}$$

$$v_b = \sqrt{325} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 18 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 5\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\sqrt{325} \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot t; \quad \sqrt{325} \frac{\text{м}}{\text{с}} - 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = t = \frac{\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}} - 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2} \approx$$

$$\approx \frac{18 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{13}{10} \text{ с} = 1,3 \text{ с}$$

Ответ: $v_b = 5\sqrt{13} \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 18 \frac{\text{м}}{\text{с}}; t \approx 1,3 \text{ с}; h = 15 \text{ м}.$

N2 Дано:

S ; m ; $M=2m$;

M

F_g - ?

F_{min} - ?

$F \rightarrow t$ - ?

$F = \text{const}$
 $F > F_{min}$

Решение:

$$2 + 1 + 0 = 3$$

Сумма $3 \cdot 3H$ гравитационных моментов (человек-мат-букс):

$$\vec{F}_{min} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{N} + \vec{m}\vec{g} + \vec{M}\vec{g} + \vec{F}_{TP} = 0$$

$$\sum y: N - mg - Mg = 0.$$

$$N = mg + Mg = (m + M)g = (m + 2m)g = 3mg.$$

Увидено, что $N = F_g$, а-но $F_g = 3mg$.

т.к. нас просят найти F_{min} , то если человек будет тянуть с F_{min} , то по оси x не будет никакого ускорения, т.е. движение будет равноускоренным:

$$\text{Для человека: } \sum x: T - F_{min} = 0; F_{min} = T.$$

т.к. нить однородная, то $T_1 = T_2 = T$, а-но:

$$\sum x: T - F_{TP} = 0; T = F_{TP} = \mu N = \mu \cdot 3mg$$

$$F_{min} = T = \mu \cdot 3mg.$$

— глва каната!

Следующий пункт $\rightarrow F > F_{min}$, а-но по оси x возникает ускорение, т.к. $F = \text{const}$, то $a = \text{const}$.

$$3H: \vec{m}\vec{g} + \vec{M}\vec{g} + \vec{N} + \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{F} + \vec{F}_{TP} = (m + M)\vec{a}$$

$$\text{Для человека: } \sum x: T - F = ma$$

$$\text{Для троса: } T - F_{TP} = Ma$$

$$\text{Система: } \sum x: F - F_{TP} = (m + M)a$$

$$F - \mu \cdot N = -(m + M)a; F - \mu \cdot 3mg = -3ma.$$

$$\text{Этот же элемент: } F_{TP} \cdot S = \frac{(m + M)V^2}{2}$$

$$\mu \cdot 3mg \cdot S = \frac{3mV^2}{2}; V^2 = 2\mu g S$$

$$V_k = 0 \rightarrow \text{а-но}$$

$$S = \frac{V_k + V}{2} \cdot t$$

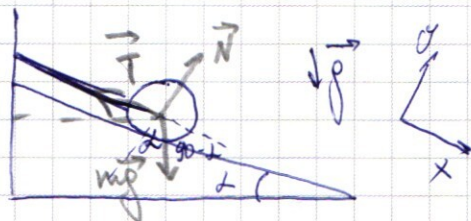
$$2S = (V_k + V)t; t = \frac{2S}{V_k + V} = \frac{2S}{V + 0} = \frac{2S}{\sqrt{2\mu g S}} =$$

$$= \frac{\sqrt{2S}}{\sqrt{\mu g}} = \sqrt{\frac{2S}{\mu g}}$$

$$\text{Ответ: } F_g = 3mg; F_{min} = 3\mu mg; t = \sqrt{\frac{2S}{\mu g}}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№3 Дано: Решение:
 m ; R ;
 L ; h
 F_g -?
 ω ; F_{g2} -?



$$4 + 4 = 8$$

система покоится, $\vec{a} = 0$.

$$4 + 4 + 2 = 10$$

Запишем $\sum \vec{M}_M$ в центре масс:

$$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{T} = \vec{0}$$

Введем y и x направления в наклонной плоскости:

$$\begin{aligned} O_y: N - mg \cdot \cos \alpha &= 0 \\ O_x: mg \sin \alpha - T &= 0 \end{aligned}$$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$N = F_g \rightarrow F_g = mg \cos \alpha$$

Если система начинает вращение, то появляется центростремительное ускорение:

$$O_y: N_2 - mg \cdot \cos \alpha = -m a_y \cdot \sin \alpha$$

$$O_x: mg \sin \alpha - T_2 = -m a_y \cos \alpha$$

$$N_2 = mg \cos \alpha - m a_y \sin \alpha = m (g \cos \alpha - a_y \sin \alpha) =$$

$$= m (g \cos \alpha - \omega^2 \cdot (R+h) \cos \alpha \cdot \sin \alpha)$$

$$\text{т.к. } a_y = \omega^2 \cdot r = \omega^2 \cdot (R+h) \cos \alpha$$

$$N_2 = m (g \cos \alpha - \omega^2 (R+h) \cos \alpha \sin \alpha) = m \cos \alpha (g - \omega^2 (R+h) \sin \alpha)$$

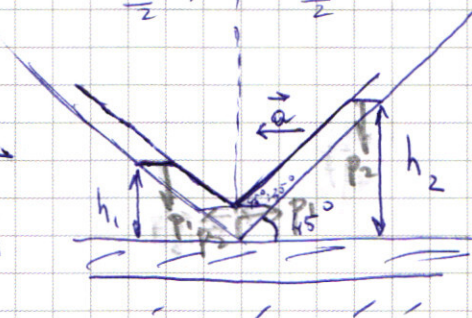
$$; F_{g2} = N_2$$

$$\text{Ответ: } F_{g2} = m \cos \alpha (g - \omega^2 (R+h) \sin \alpha); F_g = mg \cos \alpha$$

№4 Дано:
 $\alpha = 45^\circ$; $g = 10 \frac{м}{с^2}$
 $a = 4 \frac{м}{с^2}$
 $h_1 = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$
 $h_2 = ?$
 $\sqrt{(\vec{a} = \vec{0}; h_1 = h_2) - ?}$

Решение:
 $l_1 = \frac{h_1}{\frac{\sqrt{2}}{2}}; l_2 = \frac{h_2}{\frac{\sqrt{2}}{2}}$

$3 + 1 = 4$



Рассмотрим равнение действующее на элемент вертикально через поверхность между двумя

x координат соединяющих соеда.

по закону Паскаля равнение в жидкостях передаётся неизменно во всех направлениях, тогда рассмотрим элемент, действующее на эту поверхность:

$\vec{F}_{g1} + \vec{F}_{g2} = m \vec{a}$; $p = \frac{F}{S}$, м-но

$F_{g1} = p_1 S$; $F_{g2} = p_2 S$

а: $F_{g2} - F_{g1} = ma$

$p_2 S - p_1 S = ma$

$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho V g}{S} = \frac{\rho g V_z}{S}$

чтобы посчитать V_z примем элемент жидкости, которая находится в углубке:

$V_z = l_2 \cdot S$; $V_z = l_1 \cdot S$

$\frac{\rho g l_2 S^2}{S} - \frac{\rho g l_1 S^2}{S} = ma$, $\frac{\rho g l_2 S^2 - \rho g l_1 S^2}{S} = ma$

$S \rho g (l_2 - l_1) = ma$; $S \rho g (l_2 - l_1) = \rho a (l_1 S + l_2 S)$

$S \rho g (l_2 - l_1) = \rho a (l_1 + l_2) S$; $\rho g (l_2 - l_1) = a (l_1 + l_2)$

$g l_2 - g l_1 = a l_1 + a l_2$; $(g - a) l_2 = (g + a) l_1$
 $(g - a) \frac{h_2}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = (g + a) \frac{h_1}{\frac{\sqrt{2}}{2}}$
 $= \frac{14 \frac{м}{с^2} \cdot 0,1 \text{ м}}{6 \frac{м}{с^2}} = \frac{4 \cdot 0,1 \text{ м}}{3} = \frac{4}{30} \text{ м}$

После того, как судно вышло с поверхности — уровень жидкости будет меньше, а-но это судно находится со скоростью, которая будет изменяться с ускорением a' . Когда жидкость установится на одном уровне $V_k = 0$
 $2 \vec{g} \cdot \vec{r}' = V_k^2 - u^2$; $2 \vec{g} \cdot \vec{r}' = -V_k^2$; $2 \vec{g} \cdot \vec{r}' = V_k^2$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

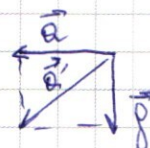
$\Delta h'$ - это расстояние, на которое сойдет уровень воды - оно одинаково для обоих стоек: $h' = h_1' = h_2' =$

$$= \frac{h_1 + h_2}{2} \rightarrow \Delta h' = h_2 - h' = h_2 - \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{2h_2 - h_1 - h_2}{2} =$$

$$= \frac{h_2 - h_1}{2} ; \Delta \varphi' = \frac{\Delta h'}{\frac{\sqrt{2}}{2}}$$

$$2 \cdot \Delta \varphi' = \Delta \varphi = \Delta \varphi'$$

$$2 \cdot \frac{\Delta h'}{\frac{\sqrt{2}}{2}} = \Delta \varphi = \Delta \varphi'$$



$$4 \frac{\Delta h'}{\sqrt{2}} = \Delta \varphi = \Delta \varphi' ; 2\sqrt{2} \frac{h_2 - h_1}{2} = \Delta \varphi = \Delta \varphi'$$

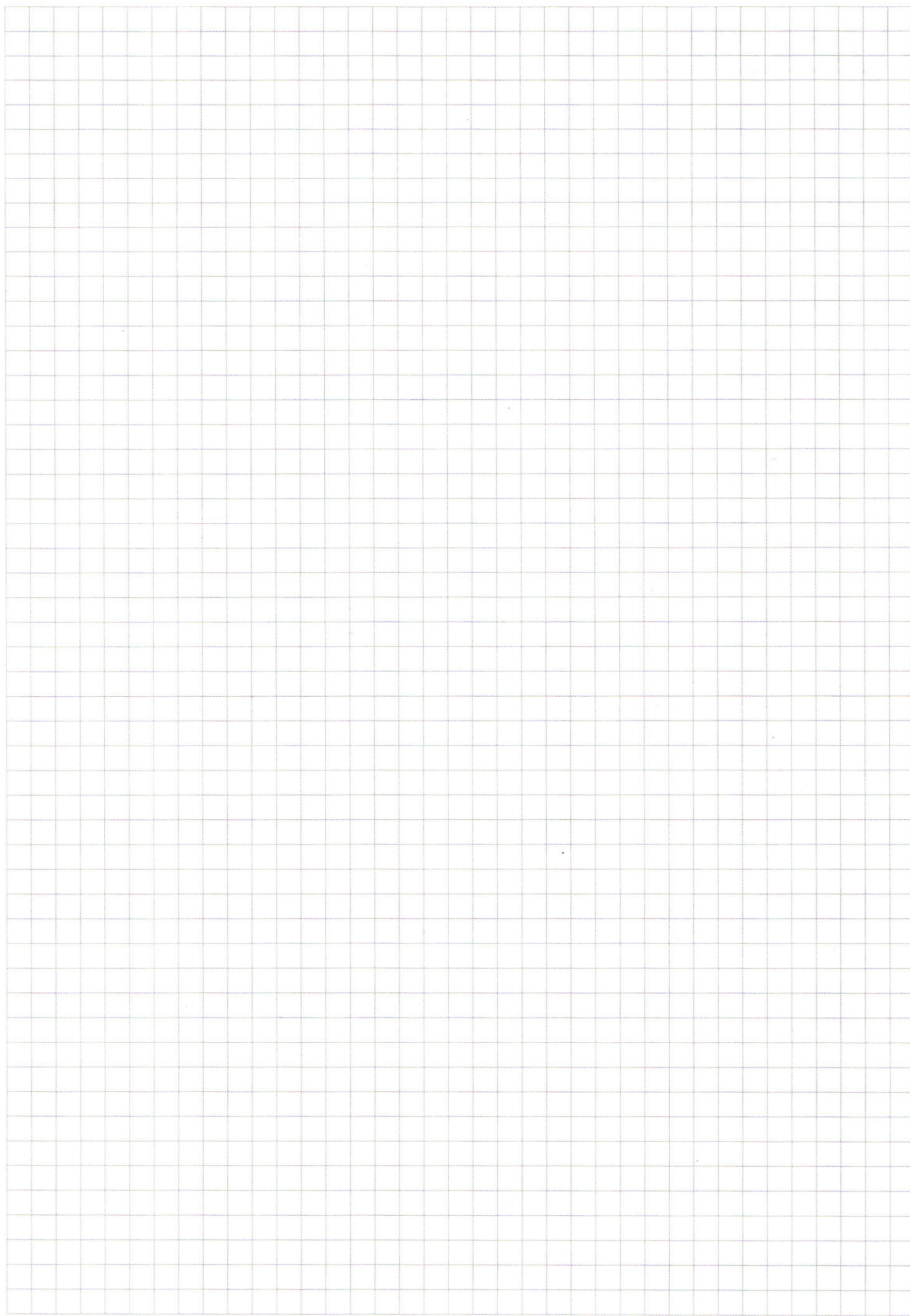
$$\sqrt{2} \sqrt{a^2 + g^2} (h_2 - h_1) = \Delta \varphi = \Delta \varphi' ; \sqrt{2} \sqrt{16 \frac{m^2}{s^2} + 100 \frac{m^2}{s^2}} \left(\frac{4}{30} m - \frac{3}{30} m \right) = \Delta \varphi = \Delta \varphi'$$

$$\sqrt{2} \sqrt{16 + 100} \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{30} m = \Delta \varphi = \Delta \varphi' ; \sqrt{2 \cdot 116} \cdot \frac{1}{30} = \Delta \varphi = \Delta \varphi'$$

$$= \sqrt{4 \cdot 58} \cdot \frac{2}{15} = \sqrt{4 \cdot 2 \cdot 29} \cdot \frac{2}{15} = \sqrt{2 \cdot 58} \cdot \frac{2}{15} = \sqrt{58} \cdot \frac{4}{15}$$

после того, как уровень будет находиться на h' , когда он остановится, то скорость воды относительно трубки будет равна 0.

Ответ: $h_2 = \frac{4}{30} m$; $v = \sqrt{\frac{58 \cdot 4}{15}}$, а затем 0.



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

№ 5 Дано:

массу водяной пар
 $T = 273^\circ\text{C} = (273 + 273)^\circ\text{K} = 546^\circ\text{K}$
 $= 300^\circ\text{K}$

$p = 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па}$

$V \downarrow$; утеряна $\rightarrow$ в воду.

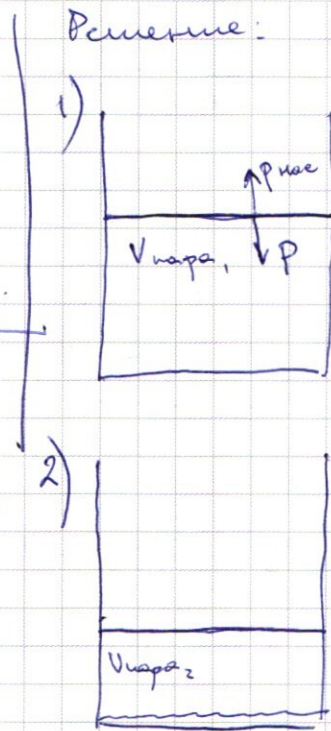
$\frac{g_{\text{пара}}}{g_{\text{вода}}} = ?$

$\frac{V_{\text{пара}}}{V_{\text{вода}}} = ?$

$\gamma = 5,6$; $\rho = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; $M = 18 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$

$\frac{V_{\text{пара}}}{V_{\text{вода}}} = ?$

Решение:



$\rho = \frac{m}{V}$

$T = 300^\circ\text{K}$; $p = 3,55 \cdot 10^3 \text{ Па}$

$T = \text{const}$; $p = \text{const}$
 $u = 0$

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

$V = \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{К}}$
 $= \frac{M M}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{К}} = \frac{M M}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{К}}$

т.к. процесс изотермический, то $p_{\text{паре}} = \text{const} = p$.
 $V_{\text{пара}} = 5,6 \cdot V_{\text{пара}2}$ пар воды можно считать идеальным газом:
 закон Клапейрона-Менделеева:

1) $p V_{\text{пара}} = \nu_1 R T$

2) $p V_{\text{пара}2} = \nu_2 R T$

$\frac{V_{\text{пара}}}{\nu_1} = \frac{R T}{p}$

$\frac{V_{\text{пара}2}}{\nu_2} = \frac{R T}{p}$

$\nu_1 = \frac{p 5,6 V_{\text{пара}2}}{R T}$

$\nu_2 = \frac{p V_{\text{пара}2}}{R T}$

$\nu_1 = 5,6 \nu_2$; $\frac{g_{\text{пара}}}{g_{\text{вода}}} = \frac{\nu_2 M}{\nu_1 M} = \frac{\nu_2 M}{5,6 \nu_2 M} = \frac{1}{5,6}$

$= \frac{\nu_1 M}{5,6 \nu_2 M} = \frac{p 5,6 V_{\text{пара}2}}{R T \cdot 5,6 \nu_2 M} = \frac{p M}{R T g_{\text{вода}}} =$

$= \frac{3,55 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300^\circ\text{K} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \frac{3,55 \cdot 18}{1000 \cdot 8,314 \cdot 300} = \frac{3,55 \cdot 9}{500 \cdot 8,314 \cdot 30} =$

$$= \frac{3,55 \cdot 3}{800 \cdot 8,314 \cdot 100} = \frac{0,71 \cdot 3}{10000 \cdot 8,314} = \frac{2,13}{10000 \cdot 8,314} = \frac{213}{10000 \cdot 831,4} = \frac{213}{8314 \cdot 1000}$$

$$= \frac{213}{8314000}$$

$$\frac{V_{\text{пара}}}{V_{\text{вгор}}} = \frac{V_{\text{пара}2}}{V_x} = \frac{V_{\text{пара}1}}{5,6 \cdot V_x} = \frac{D_1 R T}{p \cdot 5,6 \cdot V_x} = \frac{D_1 R T}{p \cdot 5,6 \cdot \frac{M_{\text{вгор}}}{\rho_b}} =$$

$$= \frac{D_1 R T}{p \cdot 5,6 \cdot \frac{(D_1 - D_2) \cdot M}{\rho_b}} = \frac{D_1 R T \cdot \rho_b}{p \cdot 5,6 \cdot (D_1 - D_2) M} = \frac{5,6 D_2 R T \cdot \rho_b}{5,6 \cdot p (5,6 D_2 - 1) M} =$$

$$= \frac{D_2 R T \cdot \rho_b}{p D_2 (5,6 - 1) M} = \frac{R T \rho_b}{p \cdot 4,6 \cdot M} = \frac{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 300 \text{ К} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{5,55 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 4,6}$$

$$= \frac{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}} = \frac{8,314 \cdot 300 \cdot 1000}{3,55 \cdot 10^3 \cdot 4,6 \cdot 18 \cdot 10^{-3}} = \frac{8314 \cdot 300}{3,55 \cdot 4,6 \cdot 18} =$$

$$= \frac{8,314 \cdot 300}{65,9 \cdot 4,6} = \frac{8314 \cdot 300}{29394} = \frac{8314 \cdot 300 \cdot 100}{29394} = \frac{249420000}{29394} =$$

$$= \frac{124710000}{14697} \approx 8,5 \cdot 10^3$$

Ответ: $\frac{\rho_{\text{пара}}}{\rho_{\text{вгор}}} = \frac{213}{8314000} ; \frac{V_{\text{пара}}}{V_{\text{вгор}}} \approx 8,5 \cdot 10^3$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ)»

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

