

Олимпиада «Физтех» по физике, ф

Класс 10

Вариант 10-03

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

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.

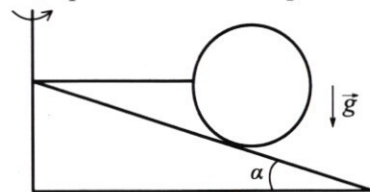
3) Найдите скорость V_2 тележки после того, как второй ученик поймает мяч.

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.

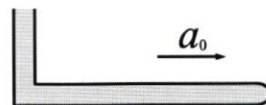


4. Тонкая Г-образная трубка с горизонтальным коленом, закрытым с одного конца, и вертикальным коленом высотой $H = 40$ мм, открытым в атмосферу, заполнена полностью ртутью (см. рис.). Если трубку двигать (в плоскости рисунка) с ускорением, не большим некоторого a_0 , то ртуть из трубки не выливается.

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

1. Дано:

$$V_0 = 10 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$V_k = 2V_0$$

(скорость в конце полёта)

1) V_{yx} - ?

2) t - ?

3) h - ?

Решение:

П.к. сказано, что шарик всё время полёта приближался к горизонтальной поверхности Земли, значит проекция его скорости V_x была:



1.) горизонтальная компонента скорости V_x не менялась и оставалась равной $V_0 \cdot \cos \alpha$,

$$\text{тогда } V_{yk} = \sqrt{V_k^2 - V_x^2} = \sqrt{4V_0^2 - \frac{3}{4}V_0^2} = \sqrt{\frac{13}{4}V_0^2} = \frac{\sqrt{13}}{2}V_0 = \boxed{5\sqrt{13} \text{ м/с}}$$

2.) начальная вертикальная компонента скорости $V_y = V_0 \cdot \sin \alpha = 5 \text{ м/с}$, тогда на протяжении всего полёта из-за g она увеличивалась, пока не стала равна V_{yk} , тогда

$$V_{yk} = V_y + g t$$

$$t = \frac{V_{yk} - V_y}{g} = \frac{\sqrt{4V_0^2 - V_0^2 \cos^2 \alpha} - V_0 \sin \alpha}{g} = \frac{5\sqrt{13} - 5}{10} = \boxed{\frac{\sqrt{13} - 1}{2} \text{ с.}}$$

3.) $h = V_y \cdot t + \frac{g t^2}{2}$ из формулы вычисления пути при равноускоренном движении, тогда

$$h = V_0 \sin \alpha \cdot \frac{\sqrt{4V_0^2 - V_0^2 \cos^2 \alpha} - V_0 \sin \alpha}{g} + \frac{(\sqrt{4V_0^2 - V_0^2 \cos^2 \alpha} - V_0 \sin \alpha)^2}{2g}$$

$$= 5 \cdot \frac{\sqrt{13} - 1}{2} + 5 \cdot \frac{13 - 2\sqrt{13} + 1}{4} = \frac{65 - 10\sqrt{13} + 5 + 10\sqrt{13} - 10}{4} = \frac{60}{4} = \boxed{15 \text{ м.}}$$

Ответ: 1.) $V_{yk} = 5\sqrt{13} \text{ м/с}$; 2.) $t = \frac{\sqrt{13} - 1}{2} \text{ с.}$; 3.) $h = 15 \text{ м.}$

N2 Дано:

M, m, m_1, L, v_0

1) v_1 - ?

2) T - ?

3) v_2 - ?

Решение:



1) Из закона сохр. импульса, учитывая, что 2 тела не имеют гориз. скорости

$$P_H = P_1 + P_2$$

$$0 = m_1 v - (M + 2m) \cdot v_1$$

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

и то, что вертикальная скорость мшш не влияет на горизонтальную

2) $T = \frac{L}{v_{относ}}$, где $v_{относ}$ - скорость мшш относительно мшш

меньш, тогда

$$T = \frac{L}{v + v_1} = \frac{L}{v + \frac{m_1 v}{M + 2m}} = \frac{L \cdot (M + 2m)}{v(M + 2m + m_1)}$$

3) Из 3-го сохр. импульса для системы, неупр. соударения:

$$m_1 v = (M + 2m) \cdot v_1 = (M + 2m + m_1) \cdot v_2$$

$$v_2 = \frac{m_1 v - (M + 2m) \cdot v_1}{M + 2m + m_1} = \frac{m_1 v - \frac{m_1 v \cdot (M + 2m)}{M + 2m + m_1}}{M + 2m + m_1} =$$

$$= 0$$

Ответ: 1) $v_1 = \frac{m_1 v}{M + 2m}$; 2) $T = \frac{L \cdot (M + 2m)}{v \cdot (M + 2m + m_1)}$; 3) $v_2 = 0$.

N3 Дано:

m, L, g, ω

1) T_H - ? - сила натяжения нити

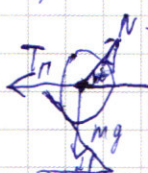
2) T_g - ? - сила тяжести вращающаяся

Решение:



1) Система покоится, значит шар тоже, тогда

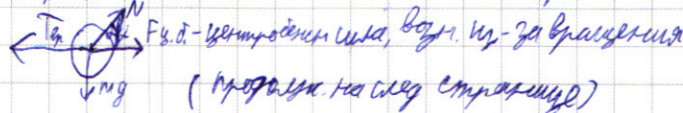
сумма сил действующих на тело = 0



$$\begin{cases} N \cdot \cos \alpha = m \cdot g; \\ N \cdot \sin \alpha = T_H; \end{cases}$$

$$T_H = \frac{m \cdot g}{\sin \alpha}$$

2) Шар движется по окружности, равномерно, без ускорения, тогда сумма сил действующих на него сил должна равна 0:



(прозраки на след странице)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

(продолжение задания 3)

тогда.

$$\begin{cases} N \cdot \sin \alpha + F_{\text{упр}} \cdot \cos \alpha = T_{\text{упр}} \\ N \cdot \cos \alpha = mg \end{cases}$$

$$T_{\text{упр}} = F_{\text{упр}} \cdot \cos \alpha + \frac{mg}{\sin \alpha} = m \omega^2 L + \frac{mg}{\sin \alpha} = m \left(\omega^2 L + \frac{g}{\sin \alpha} \right)$$

Ответ: 1) $T_H = \frac{mg}{\sin \alpha}$; 2) $T_{\text{упр}} = m \left(\omega^2 L + \frac{g}{\sin \alpha} \right)$.

№4 Дано:

$$R_0 = 740 \text{ мм рт.ст.}$$

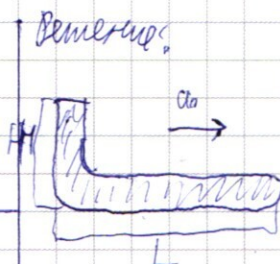
$$H = 40 \text{ мм рт.ст.}$$

$$\alpha_0$$

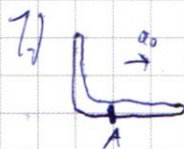
1) P_1 ?, если $\alpha_0, L = \frac{1}{3}L$
при L - длине горизонтальной части

2) P_2 ?, если $0,6\alpha_0$
 $L = \frac{1}{3}L$

3) P_3 ?, если $0,8\alpha_0$
 $L = L$



П.к. в задаче не рассматриваются случаи, где ускорение $a > a_0$, то значит кинематический рисунок не выполнялся из трубки



т.е. α_0 - предел ускорения при котором рисунок не выполнялся, то

$$P_{\text{атм}} \cdot g \cdot (H + R_0) = P_{\text{атм}} \cdot \alpha_0 \cdot L$$

$$L = \frac{g}{\alpha_0} \cdot (H + R_0)$$

тогда $P_{\text{атм. А слева}} = R_0 + H - \frac{1}{3} \frac{\alpha_0}{g} \cdot L = \frac{2}{3} (H + R_0)$

$$P_{\text{атм. А справа}} = \frac{2}{3} L \cdot \frac{\alpha_0}{g} = \frac{2}{3} (H + R_0)$$

$$\text{тогда } P_1 = \frac{2}{3} (H + R_0) = \frac{2 \cdot 780}{3} = 520 \text{ мм рт.ст.}$$

2) $P_{\text{атм. А слева}} = R_0 + H - \frac{1}{3} \cdot \frac{0,6\alpha_0}{g} \cdot L = 0,8(R_0 + H) = 0,8 \cdot 780 = 624 \text{ мм рт.ст.}$

$$P_{\text{атм. А справа}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{0,6\alpha_0}{g} \cdot L = 0,4(H + R_0) = 372 \text{ мм рт.ст.}$$

тогда $P_2 = \frac{P_{\text{слева}} + P_{\text{справа}}}{2} = 468 \text{ мм рт.ст.}$

3) $P_3 = R_0 + H - \frac{0,8\alpha_0}{g} \cdot L = 0,2(R_0 + H) = 156 \text{ мм рт.ст.}$ (показано на след. странице)

Состояние: 1) $P_1 = 520$ мм рт.ст.; 2) $h = 68$ мм рт.ст.; 3) $P_3 = 756$ мм рт.ст.

15) Дано:

$T = 373^\circ K$;
 $5m = m_p$
 (масса воды в 5 раз меньше
 массы пара)
 $L = 0,6$ м
 $S = 20$ см²
 $\mu = 18$ г/моль
 М.к. вода, m_0
 $\frac{m_0}{S} = 0,07 P_0$
 P_0 - атм. давл.
 $R = 8,31$ Дж/моль·К
 1) m - ?
 2) h - ?

Решение:



1) Масса воды в обеих частях цилиндра и равна m , в силу насыщенности паров воды и равности объемов, тогда поз-ку Менделеева-Клапейрона:

$PV = \nu RT$, где P - давл. пара, V - объем одной части цилиндра, ν - кол-во вещества водяного пара в одной части сосуда.

т.к. $T = 373^\circ K = 100^\circ C$, то водяные пары имеют P равное давлению

норм. атмосферного $= P_0$
 тогда

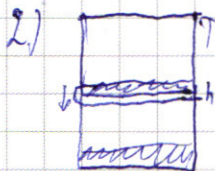
$$P_0 \cdot L \cdot S = \nu RT$$

$$\nu = \frac{P_0 \cdot L \cdot S}{RT} \text{ /м}$$

$m_p = \frac{P_0 \cdot L \cdot S \cdot \mu}{RT}$ - масса пара, а масса воды в 5 раз меньше

тогда $m = \frac{P_0 \cdot L \cdot S \cdot \mu}{5RT}$, если учесть, что $P_0 = 10^5$ Па, то

$$m \approx 0,0742$$



↑
 поршень будет двигаться вверх, т.к. сверху на него действует P_0 , $\frac{m_p}{S}$, $\frac{m_p}{S}$, а снизу только P_0 , после испарения воды вверх поршень будет двигаться, а внизу по-прежнему P_0 , поэтому и после испарения поршень будет двигаться вверх

↑
 в нижней части сосуда давление не меняется, т.к. паров насыщенный и всегда остается P_0

В верхней же части через некоторое время вся вода испарится и перейдет в пар и при дальнейшем расширении пар перестанет быть насыщенным и со временем система придет в равновесие.

• рассмотрим сначала процесс, где при пот. давлении вся вода в верхней части испаряется:

$m \cdot R \cdot 5m = m$, то кол-во вещества после полного испарения стало $\nu_1 = \nu \cdot \frac{5m+m}{5m} = 7,2\nu$, тогда теперь пойдет обычный изотерм. процесс (поз-ку бойля-Мариотта):

$$PV = \text{const}, \text{ тогда } P_0 \cdot V_0 = P_1 \cdot V_1,$$

где V_0 - объем верхней части после испарения, P_1 - давление в верхней части после установ. равновесия, V_1 - объем верхней части после установ. равновесия; чтобы равновесие установилось должно достигнуться равенства давлений, тогда

$$P_1 + P_{\text{пор}} = P_0, \text{ где } P_{\text{пор}} = \text{давл поршня} = \frac{m_p}{S}$$

$$\text{тогда } P_1 = 0,99 P_0$$

(продолжим решение след. стр.)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

При этом т.к. $p_0 \cdot V_0 = \nu RT$, тогда

$p_0 \cdot L_0 \cdot S = \nu RT$, L_0 — разн. от поршня до верхнего торца после
вытеснения

$$L_0 = \frac{\nu RT}{p_0 \cdot S} = 1,2 \frac{\nu RT}{p_0 \cdot S}$$

тогда

$$p_0 \cdot V_0 = p_1 V_1$$

$$p_0 \cdot 1,2 \frac{\nu RT}{p_0 \cdot S} \cdot S = 0,99 p_0 \cdot L_1 \cdot S$$

↑ разн. от верхнего торца до поршня после дост.
равновесия

Вспомогат. что $p_0 \cdot L \cdot S = \nu RT$

$$L = \frac{\nu RT}{p_0 S}$$

тогда

$$p_0 \cdot 1,2 L \cdot S = 0,99 p_0 \cdot L_1 \cdot S$$

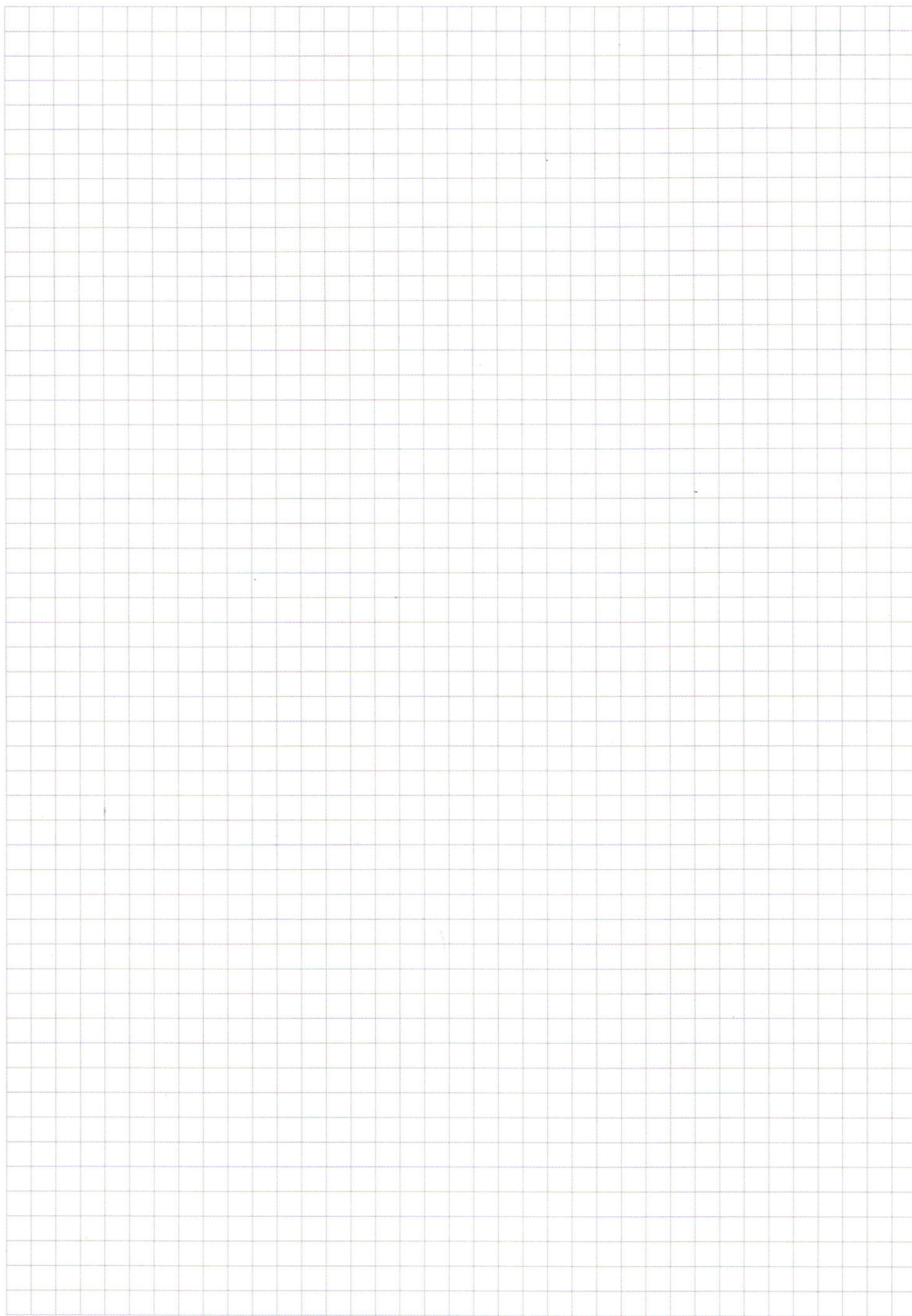
$$1,2 L = 0,99 L_1$$

$$L_1 = \frac{1,2 L}{0,99}$$

$$\text{тогда } h = L_1 - L = \frac{1,2 L}{0,99} - L = \frac{1,2 L - 0,99 L}{0,99} = \frac{0,21 L}{0,99} = \frac{7}{33} L = \boxed{\frac{7}{55} \text{ м}}$$

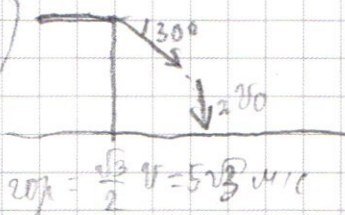
Ответ: 1.) $m = \frac{p_0 \cdot L \cdot S \cdot M}{5 RT}$ (если взять p_0 за 10^5 Па , то $m \approx 0,0142$);

$$2.) h = \frac{7}{55} \text{ м.}$$



ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

1.



$$20m = \frac{\sqrt{3}}{2} v = 5\sqrt{3} \text{ м/с}$$

$$v_y^2 = 400 - 75 = 325$$

$$v_y = 5\sqrt{13} \text{ м/с}$$

$$5 + gt = 5\sqrt{13}$$

$$t = \frac{\sqrt{13} - 1}{2} \text{ с}$$

$$20v = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}}{2} v_0\right)^2 + \left(\frac{1}{2} v_0 + gt\right)^2}$$

$$4v_0^2 = \frac{3}{4} v_0^2 + \frac{1}{4} v_0^2 + v_0 \cdot gt + g^2 t^2$$

$$70v_0^2(2 + 10\sqrt{13}t - 3v_0^2 = 0$$

$$D = 100 + 7200 = (70\sqrt{13})^2$$

$$t = \frac{70\sqrt{13} + 70\sqrt{13}}{200} = \frac{\sqrt{13} - 1}{2}$$

$$m_1 v_1$$

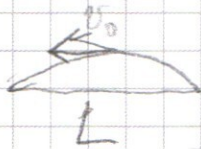
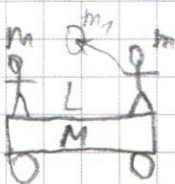
$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$h = v_{y0} t + \frac{gt^2}{2} = 5 \cdot \frac{\sqrt{13} - 1}{2} + 5(13 - 2\sqrt{13} + 1) = 2,5\sqrt{13} - 2,5 + 65 - 70\sqrt{13} + 5$$

$$= 87,5 - 7,5\sqrt{13} = \frac{135 - 15\sqrt{13}}{2} \text{ м}$$

$$\frac{135 - 15\sqrt{13}}{2} \text{ м}$$

2.



$$m_1 v = (M + 2m) \cdot v_1$$

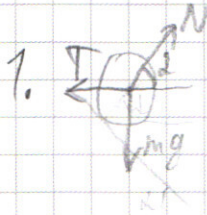
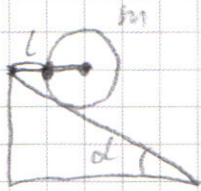
$$v_1 = \frac{m_1 v}{M + 2m}$$

$$T = \frac{L}{v_{\text{cart}}} = \frac{L}{v - v_1} = \frac{L}{v - \frac{m_1 v}{M + 2m}} = \frac{L}{\frac{M + 2m - m_1}{M + 2m}} = \frac{L \cdot (M + 2m)}{v(M + 2m - m_1)}$$

$$m_1 v - \frac{M + 2m}{M + 2m} \cdot \frac{m_1 v}{M + 2m} = (m_1 + M + 2m) \cdot v_2$$

$$v_2 = 0$$

3.

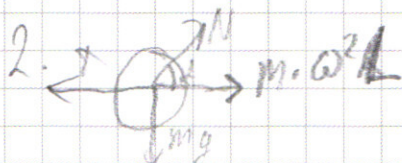
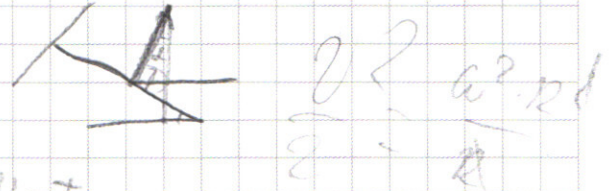


$$T = N \cdot \cos \alpha$$

$$mg = N \cdot \sin \alpha$$

$$\frac{T}{mg} = \cot \alpha$$

$$T = \cot \alpha \cdot mg$$



$$N \cdot \cos \alpha + m \omega^2 L = T$$

$$N \cdot \sin \alpha = mg$$

$$N = \frac{mg}{\sin \alpha}$$

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

0,5

$$480 - 0,5 = 479,5$$

$$624$$

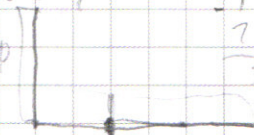
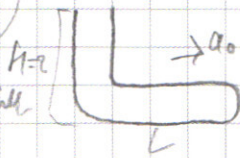
$$0,0579 \cdot 378$$

$$\begin{array}{r} 273 \\ - 1460 \\ \hline 770 \\ - 3570 \\ \hline \end{array}$$

$$700000 \cdot 0,5 \cdot 0,002 = 700$$

$$5,8,37,373$$

4.



$$L \cdot \frac{a_0}{g} = p_0 + H$$

$$\frac{27}{99} - \frac{1}{33} = \frac{26}{99}$$

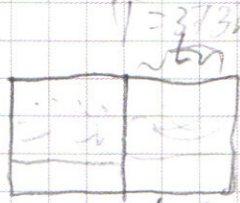
$$L = p_0 \frac{g}{a_0} + H \frac{g}{a_0}$$

$$\frac{42}{330} = \frac{7}{55}$$

$$2. \quad p_0 + H - 0,6(p_0 - 0,6H) = 0,4(p_0 + H) = 0,4 \cdot 720 = 288$$

$$3. \quad 0,2 \cdot (p_0 + H) = \frac{720}{5} = 144$$

5.

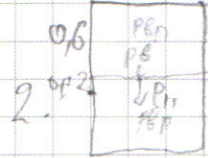


$$p_{\text{применя}} = 0,07 p_0$$

$$L \cdot S \cdot p = \Delta p \cdot T$$

$$p_0 \cdot L \cdot S \cdot M$$

$$M = \frac{p_0 \cdot L \cdot S \cdot M}{5RT}$$



$$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1$$

$$V_0 = \frac{p_1 \cdot V_1}{p_0}$$

$$V_0 = 7,2 \text{ L}$$

$$p_0 \cdot V_0 = p_1 \cdot V_1$$

$$p_1 = p_0 - 0,07 p_0$$



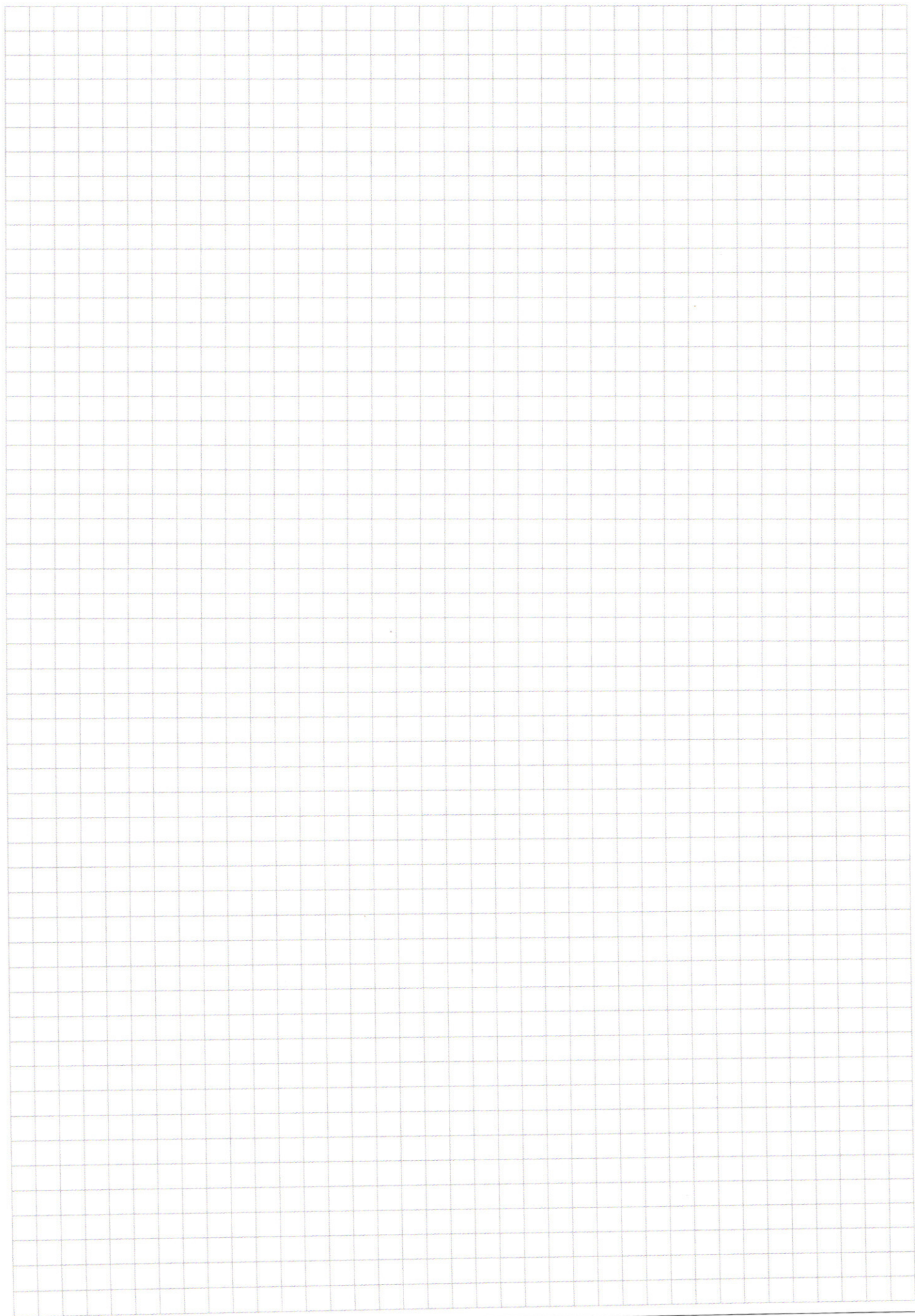
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)



☐ черновик ☐ чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)