

Олимпиада «Физтех» по физике, февраль 2022

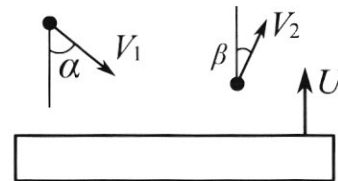
Класс 11

Вариант 11-02

Шифр

(заполняется секретарем)

1. Массивная плита движется с постоянной скоростью U вертикально вверх. К плите подлетает шарик, имеющий перед ударом скорость $V_1 = 6$ м/с, направленную под углом α ($\sin \alpha = \frac{2}{3}$) к вертикали (см. рис.). После неупругого удара о гладкую горизонтальную поверхность плиты шарик отскакивает со скоростью V_2 , составляющей угол β ($\sin \beta = \frac{1}{3}$) с вертикалью.

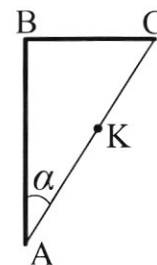


- 1) Найти скорость V_2 .
 - 2) Найти возможные значения скорости плиты U при таком неупругом ударе.
- Действие силы тяжести за малое время удара не учитывать. Ответы допустимы через радикалы из целых чисел.

2. Цилиндрический теплоизолированный горизонтально расположенный сосуд разделен на два отсека теплопроводящим поршнем, который может перемещаться горизонтально без трения. В первом отсеке находится гелий, во втором – неон, каждый газ в количестве $\nu = 6/25$ моль. Начальная температура гелия $T_1 = 330$ К, а неона $T_2 = 440$ К. Температуры газов начинают медленно выравниваться, а поршень начинает медленно двигаться. Оба газа одноатомные, газы считать идеальными. $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

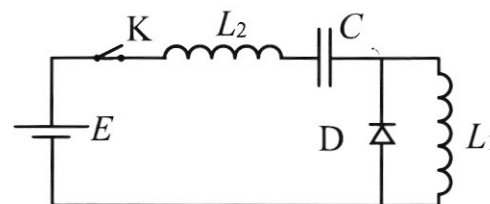
- 1) Найти отношение начальных объемов гелия и неона.
- 2) Найти установившуюся температуру в сосуде.
- 3) Какое количество теплоты передал неон гелию?

3. Две бесконечные плоские прямоугольные пластины АВ и ВС перпендикулярны друг к другу и образуют двугранный угол с ребром В. На рисунке показано сечение угла плоскостью, перпендикулярной ребру В.



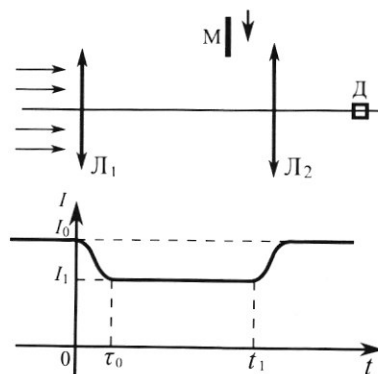
- 1) Пластина ВС заряжена с постоянной поверхностной плотностью заряда. Угол $\alpha = \pi/4$. Во сколько раз увеличится напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС, если пластину АВ тоже зарядить с такой же поверхностной плотностью заряда?
- 2) Пластины ВС и АВ заряжены положительно с поверхностной плотностью заряда $\sigma_1 = 4\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, соответственно. Угол $\alpha = \pi/8$. Найти напряженность электрического поля в точке К на середине отрезка АС.

4. Электрическая цепь собрана из идеальных элементов: источника с ЭДС E , катушек с индуктивностями $L_1 = 3L$, $L_2 = 2L$, конденсатора емкостью C , диода D (см. рис.). Ключ K разомкнут, конденсатор не заряжен, тока в цепи нет. После замыкания ключа возникают колебания тока в L_2 .



- 1) Найти период T этих колебаний.
- 2) Найти максимальный ток I_{01} , текущий через катушку L_1 .
- 3) Найти максимальный ток I_{02} , текущий через катушку L_2 .

5. Оптическая система состоит из двух соосных тонких линз L_1 и L_2 (см. рис.) с фокусными расстояниями F_0 и $F_0/3$, соответственно. Расстояние между линзами $1,5F_0$. Диаметры линз одинаковы и равны D , причем D значительно меньше F_0 . На линзу L_1 падает параллельно оси системы пучок света с одинаковой интенсивностью в сечении пучка. Прошедший через обе линзы свет фокусируется на фотодетекторе D , на выходе которого сила тока пропорциональна мощности падающего на него света. Круглая непрозрачная мишень M , плоскость которой перпендикулярна оси системы, движется с постоянной скоростью перпендикулярно оси системы так, что центр мишени пересекает ось на расстоянии $5F_0/4$ от L_1 . На рисунке показана зависимость тока I фотодетектора от времени t (секундомер включен в момент начала уменьшения тока). $I_1 = 8I_0/9$.



- 1) Найти расстояние между линзой L_2 и фотодетектором.
- 2) Определить скорость V движения мишени. 3) Определить t_1 .

Известными считать величины F_0 , D , τ_0 .

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача 2.

Дано:

He, Ne — одноатомные, идеальные

$$\nu_{He} = \nu_{Ne} = \nu = \frac{v}{\lambda} = 0,24 \text{ моль}$$

$$T_1 = T_{He} = 330 \text{ К} \quad i_1 = i_2 = i = 3$$

$$T_2 = T_{Ne} = 440 \text{ К}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$$

1) $\frac{V_{He0}}{V_{Ne0}} - ?$ 2) $T - ?$

3) $|Q_{He}| - ?$

ма: $\vec{F}_{g1} + \vec{F}_{g2} = 0$, где $F_{g1} = p_1 S$ — сила давления газа на поршень
 $Ox: F_{g1} - F_{g2} = 0; F_{g2} = p_2 S$ — сила давления газа на поршень

$$F_{g1} = F_{g2} \Rightarrow p_1 S = p_2 S, p_1 = p_2 = p$$

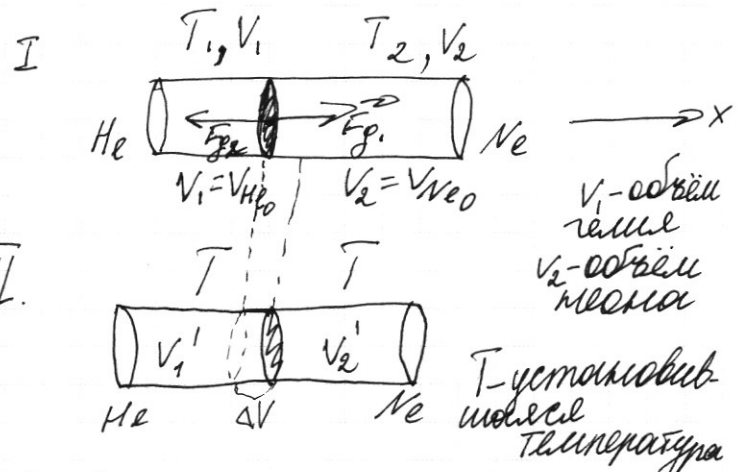
т.к. по уравнению Менделеева-Клапейрона

$$pV_1 = \nu R T_1 \quad (1) \quad \text{и} \quad pV_2 = \nu R T_2 \quad (2) \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{\nu R T_1}{\nu R T_2} = \frac{330}{440} = \frac{3}{4} = 0,75$$

2) Из уравнения теплового баланса: $|Q_{He}| = |Q_{Ne}|$
 (т.к. теплопотери можно пренебречь)

т.к. поршень движется медленно, считаем, что это процесс при постоянном давлении: $p = const$
 $\Rightarrow p_1' = p_1 = p_2 = p_2'$, где p_1' и p_2' — давление газов после установившегося теплового равновесия.

$|Q_{He}| = \Delta U_{He} + A_{He} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{He} + p \Delta V_{He}$ — кол-во теплоты, отданное газом теплому, $\Delta T_{He} = T - T_2 < 0$ и $\Delta V_{He} = V_2' - V_2 < 0$, так





черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №__
(Нумеровать только чистовики)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

как изначально неон имел большую температуру и объём, \Rightarrow , он нагрел газы.

$$|Q_{не}| = \Delta U_{не} + A_{не} = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{не} + p \Delta V_{не}; \quad \Delta V_{не} = |\Delta V_{не}|$$

$$\Rightarrow, A_{не} = A_{не} \text{ (т.к. } p = \text{const)} \Rightarrow, \frac{3}{2} \nu R |\Delta T_{не}| = \frac{3}{2} \nu R \Delta T_{не}$$

$$|\Delta T_{не}| = T_2 - T \text{ — изменение температуры неона}$$

$$\Delta T_{не} = T - T_1 \text{ — изменение температуры газа}$$

$$\frac{3}{2} \nu R (T_2 - T) = \frac{3}{2} \nu R (T - T_1)$$

$$T_2 - T = T - T_1 \Rightarrow, 2T = T_2 + T_1$$

$$T = 385 \text{ К}$$

$$\Rightarrow, \Delta T_{не} = \Delta T_{не} = 55 \text{ К}$$

3). по ур-ю Менделеева-Клайперона для газа:

$$(3) \Delta V \cdot p = \nu R \Delta T \text{ и } p = \frac{\nu R T_1}{V_1} \text{ (1)}$$

V_1' — объём газа после установившегося теплового равновесия

$$p V_1' = \nu R T \Rightarrow, p = \frac{\nu R T}{V_1'} \text{ (4)}$$

$$V_1' = V_1 + \Delta V$$

\Rightarrow , из (3) и (4):

$$V_2' = V_2 + \Delta V$$

$$\frac{\Delta V \cdot \nu R T}{V_1 + \Delta V} = \nu R \Delta T, \text{ откуда } \frac{V_1}{\Delta V} = 6 \Rightarrow, \Delta V = \frac{1}{6} V_1$$

~~3~~

$$V_1 = \frac{3}{4} V_2 \Rightarrow, \Delta V = \frac{V_2}{8}$$

$$\Rightarrow, |A_{не}| = p \Delta V = p \frac{V_2}{8}, \text{ из (2)} \Rightarrow, |A_{не}| = \frac{\nu R T_2}{8}$$

$$|\Delta U_{не}| = \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T)$$

$$\text{Тогда, } |Q_{не}| = |\Delta U_{не}| + |A_{не}| =$$

$$= \frac{3}{2} \nu R (T_2 - T) + \frac{\nu R T_2}{8} = 264,23 \text{ Дж}$$

Ответ: 1) 0,75;
2) 385 К; 3) 264,23 Дж

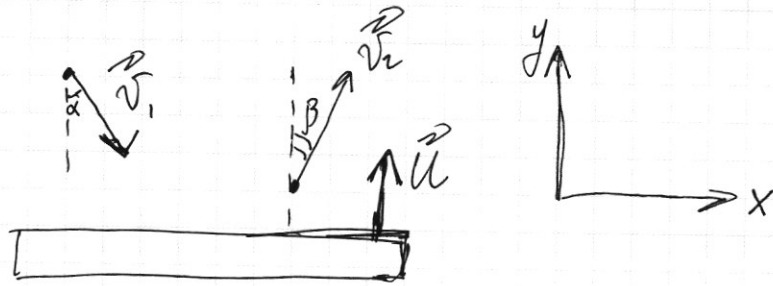
Задача 1

$u, v_1 = 6 \text{ м/с}$

$\sin \alpha = \frac{2}{3}$

$\sin \beta = \frac{1}{3}$

$v_2 - ?$ $u - ?$



1.) По закону сохранения импульса, т.к. тела взаимодействуют, $\vec{p}_0 = \vec{p}$, где p_0 - импульс системы тел до соударения; p - после соударения; в проекции на ось x :

$p_{0x} = p_x$

где $p_{0x} = m v_1 \sin \alpha + 0$ - проекция начального импульса системы тел на ось Ox (m - масса шарика)

$p_x = m v_2 \sin \beta + 0$ - проекция импульса системы тел после соударения на ось Ox

Тогда: $m v_1 \sin \alpha + 0 = m v_2 \sin \beta + 0$

$\Rightarrow v_2 = \frac{v_1 \sin \alpha}{\sin \beta} = 12 \text{ м/с}$

2.) В проекции на ось Oy : $p_{0y} = p_y$, $p_{0y} = m v_1 \cos \alpha + M u$, где M - масса плиты

u - скорость плиты после соударения $M u - m v_1 \cos \alpha = M u' + m v_2 \cos \beta$

Откуда $u = \frac{m(8\sqrt{2} + 2\sqrt{5})}{M} + u'$

если учесть, что $M \gg m$, то

$0 \approx \frac{m}{M} (8\sqrt{2} + 2\sqrt{5}) \ll 1, \Rightarrow u \approx u'$

$u' \leq v_{2y}$ т.к. плита не должна ударить шарик, который движется вверх

$\cos \alpha = \frac{\sqrt{5}}{3}$
 $\cos \beta = \frac{\sqrt{8}}{3} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$
 по основному тригонометр. тождеству.

и, $v_{2y} = v_2 \cos \beta = 8\sqrt{2}$ - проекция на ось Oy скорости

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

Задача №3

Дано:

$$AB \perp BC$$

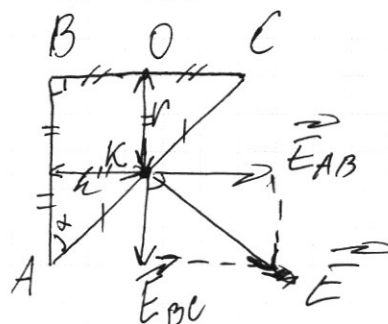
1) BC заряжена, $\sigma_{BC} = \text{const}$.

$$\alpha = \frac{\pi}{4} = 45^\circ$$

E_0 - начальная напряжённость в т.к. середине AC

E - напряжённость в т.к. после того, как зарядим AB

$$\sigma_{BC} = \sigma_{AB}$$



r - расстояние от т.к. до плоскости BC

в $\triangle ABC$: r - ср. линии

$\Rightarrow BO = OC$, если провести

h - расстояние от т.к. до плоскости AB, то h - тоже будет ср. линией; $h = \frac{1}{2} BC$, $r = \frac{1}{2} AB$, но $BC = AB$ т.к.

$\angle \alpha = 45^\circ$ (по св-ву прямоугольного треугольника) \Rightarrow
 $h = r$

т.к. плоскости имеют одинаковую поверхность плотность σ и расположены на одинаковом расстоянии h от т.к. \Rightarrow напряжённость

в т.к. плоскости AB: $|\vec{E}_{AB}| = |\vec{E}_{BC}|$ и $\vec{E}_{AB} \perp \vec{E}_{BC}$

т.к. $AB \perp BC$, а $\vec{E}_{BC} \perp BC$
 $\vec{E}_{AB} \perp AB$

\Rightarrow результирующая напряжённость равна:

$$\vec{E} = \vec{E}_{AB} + \vec{E}_{BC}; \quad |\vec{E}| = \sqrt{E_{BC}^2 + E_{AB}^2} = E_{AB} \sqrt{2} = E_{BC} \sqrt{2}$$

где $E_{BC} = E_0$ - начальной напряжённости, $\Rightarrow \frac{E}{E_0} = \sqrt{2}$

Ответ: 1) в $\sqrt{2}$ раз.

Задача 1

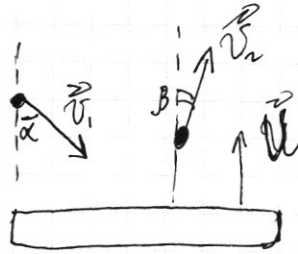
Решо:

и

$$v_1 = 6 \text{ м/с}; \sin \alpha = \frac{2}{3}$$

$$1) v_2 = ? \quad \sin \beta = \frac{1}{3}$$

2) и-?



1) Так как шарик и плита взаимодействуют, то по закону сохранения импульса $\vec{p}_0 = \vec{p}$, где p_0 - импульс до удара, p - импульс после удара.

~~$p_{0x} = 0$~~
 ~~$p_{0x} = m v_1 \sin \alpha$~~
 ~~$p_x = m v_2 \sin \beta$~~

~~$m v_1 \sin \alpha = m v_2 \sin \beta$~~

где m - масса шарика

$p_{0x} = m v_1 \sin \alpha + 0$ - проекция на ось x импульса шара до удара

~~$p_x = m v_2 \sin \beta + 0$~~ - после удара

$$p_{0x} = p_x$$

~~$m v_1 \sin \alpha = m v_2$~~ $v_2 = 12 \text{ м/с}$

377
5
385

$$\gamma RT = p_1 V_1$$

$$\gamma RT = p_2 V_2$$

$$\gamma RT_1 = p V_1$$

$$\gamma RT = p V_2$$

$$\rho = \frac{\gamma RT_1}{V_1}$$

$$\frac{3}{2} \gamma R (T - T_1) + p \Delta V = \frac{3}{2} \gamma R (T_2 - T) + p \Delta V$$

$$T - T_1 = T_2 - T$$

$$2T = T_2 + T_1 \Rightarrow T = \frac{T_2 + T_1}{2}$$

$$\rho = \frac{\gamma RT}{V_1 + \Delta V}$$

$$\gamma RT = p(V_2 - \Delta V)$$

$$\rho = \frac{\gamma RT}{V_2 - \Delta V} = \frac{\gamma RT}{V_1 + \Delta V}$$

$$= \frac{7775}{385} = 385K$$

$$= \frac{4460}{55} K$$

$$Q_{inc} = -\Delta U + A$$

$$\Delta U = \left(\frac{3 \cdot 385 \cdot 8,31 \cdot 1155}{5} \right), A = p \Delta V = \frac{p V_2}{8}$$

$$\rho = \frac{6 \gamma RT}{7 V_1} =$$

$$\Delta V p = \gamma R \Delta T$$

$$\Delta V \cdot \frac{\gamma RT}{V_1 + \Delta V} = \gamma R \Delta T$$

$$\frac{\gamma RT_1}{V_1} = \frac{\gamma RT}{V_1 + \Delta V}$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_1 + \Delta V}{T}$$

$$\frac{V_1}{330} = \frac{V_1 + \Delta V}{385}$$

385
35

$$Q_{inc} = \frac{9 \cdot 8,31 \cdot 11}{5} + \frac{p V_2}{8}$$

99
+66
165
15
15 133

$$\frac{\Delta V}{V_1 + \Delta V} = \frac{\Delta T}{T}$$

$$\frac{V_1 + \Delta V}{\Delta V} = \frac{T}{\Delta T}$$

$$\frac{V_1}{\Delta V} + 1 = \frac{T}{\Delta T} = \frac{38577}{5811} =$$

$$\frac{V_1}{\Delta V} = 6$$

$$\frac{\Delta V}{V_1} = \frac{1}{6} \Rightarrow \Delta V = \frac{1}{6} V_1 = \frac{1}{6} \cdot \frac{8}{8} V_2 = \frac{1}{6} V_2$$

$$V_2 - \frac{1}{6} V_2 = \frac{5}{6} V_2$$

$$= \frac{9 \cdot 8,31 \cdot 11}{5} + \frac{\gamma R T_2}{8} =$$

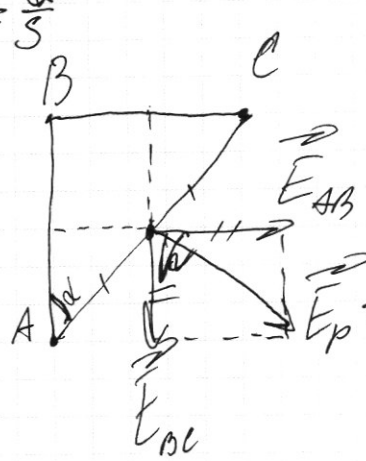
$$= \frac{99 \cdot 8,31}{5} + \frac{3 \cdot 8,31 \cdot 22}{5} =$$

$$= \frac{8,31(99 + 66)}{5} = 8,31 \cdot 33$$

8,31
1,33
2493
2493
Q_{inc} = 26423

1.

$$a = \frac{Q}{S}$$



$$E = \frac{kq}{r^2}$$

$$\rho = \frac{\gamma R T}{V_1} = \frac{\gamma R \Delta T}{\Delta V} \Rightarrow$$

$$E_p = \sqrt{2} E_{oc} \Rightarrow 6\sqrt{2} \text{ ппк}$$

$$I_{0 \text{ max}} = \frac{U_{\text{max}}}{R} =$$

$$\frac{T}{V_1 + \Delta V} = \frac{\Delta T}{\Delta V}$$

$$\frac{V_1 + \Delta V}{T} = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 2\pi \sqrt{L \cdot C}$$

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

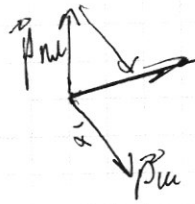
шариков после соударения.
Таким образом, $u \approx u' \leq 8\sqrt{2} \Rightarrow u \leq 8\sqrt{2} \text{ м/с}$

Ответ: 1) 12 м/с
2) $u \leq 8\sqrt{2} \text{ м/с}$

1. $v_1 = 6 \text{ м/с} \sin \alpha = \frac{2}{3}$
 $v_2 = ? \quad \sin \beta = \frac{1}{3}$
 m - масса шарика

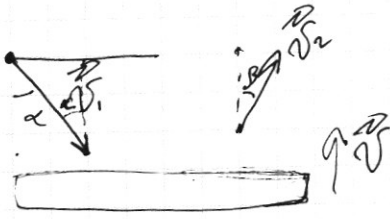
1) OX: $p_x = p_1 \sin \alpha = m v_1 \sin \alpha = m \cdot \frac{2}{3} = \frac{4}{3} m$

OY: $p_y = -p_1 \cos \alpha + M v'$



$\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$

$\cos \beta = \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = \frac{2\sqrt{2}}{3}$



норме угара:

OX: $p'_x = m v_2 \sin \beta = m v_2 \frac{1}{3}$

OY: $p'_y = m v_2 \cos \beta + M v'$

$4M = \frac{M v_2}{3} \Rightarrow v_2 = 12 \text{ м/с}$

воз. сохр. импульса
 $p_x = p_x \Rightarrow$

2) $m v_2 \cos \beta + M v' = M v - m v_1 \cos \alpha$

$v' \leq v_2 \cos \beta = 12 \cdot \frac{2\sqrt{2}}{3} = 8\sqrt{2}$

$8\sqrt{2} m + M v' = M v - m \cdot \frac{2\sqrt{5}}{3}$

$8\sqrt{2} m + m \cdot 2\sqrt{5} = M(v - v')$

$m(8\sqrt{2} + 2\sqrt{5}) = M(v - v') \Rightarrow v = \frac{M(8\sqrt{2} + 2\sqrt{5})}{M} + v'$

2. $v_1 = v_2 = v = \frac{6}{25} \text{ м/с} = 0,24 \text{ м/с}$
 $T_1 = 330 \text{ К} \quad T_2 = 440 \text{ К} \quad i = 3, R = 8,31 \text{ Дж/моль}\cdot\text{К}$

1. $v R T = p v$

изначально поршень покоился \Rightarrow по II з.м. $a = 0$
 $F_{g1} - F_{g2} = 0$

где $F_{g1} = p_{He} \cdot S$
 $F_{g2} = p_{Ne} \cdot S \quad \left. \begin{matrix} \\ \end{matrix} \right\} S = \text{const} \Rightarrow p_{He} = p_{Ne} = p \quad F_{g1} = F_{g2}$

p_{He} - г. helium
 p_{Ne} - г. neon

$v R T_1 = p v_1$

$0,24 \cdot 8,31 \cdot 330 = p_1 v_1$

$v R T_2 = p v_2$

$0,24 \cdot 8,31 \cdot 440 = p_2 v_2$

$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{330}{440} = 0,75$

2) T-?

$|Q_{He}| = |Q_{Ne}|$
 $Q_{He} = \Delta U_{He} + A_{He} = \frac{3}{2} v R (T - T_1) + p \Delta V$

т.к. поршень движется вверх
 значит, то $p = \text{const}$



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

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

ШИФР

(заполняется секретарём)

ПИСЬМЕННАЯ РАБОТА

черновик чистовик
(Поставьте галочку в нужном поле)

Страница №
(Нумеровать только чистовики)