РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ 10 июня 2016 г.

1А$_1$. (*Михайлов Ю.А.*) $\xi = \frac{mgH}{k_БT} = \frac{4\cdot10^{-20}\cdot9{,}8\cdot0{,}1}{1{,}38\cdot10^{-23}\cdot284} \approx 10$, $n(z) = Ae^{-mgz/k_БT}$, $n_0H = \int\limits_0^H n(z)dz = \frac{k_БTA}{mg}\left(1-e^{-\xi}\right)$,

$$n_1 = \frac{n_0mgH}{k_БT\left(1-e^{-\xi}\right)}e^{-mgh/k_БT} = n_0\xi\frac{e^{-\xi/2}}{1-e^{-\xi}} \approx n_0\xi e^{-\xi/2} \approx 10^8\cdot10\cdot6{,}7\cdot10^{-3} = \boxed{6{,}7\cdot10^6\ см^{-3}.}$$

2А$_1$. (*Коротков П.Ф.*) $A = 2T_0S_0$, $Q_+ = Q_{12}+Q_{34}+Q_{53} = 9T_0S_0$, $\boxed{\eta = 2/9 \approx 0{,}22.}$

3А$_1$. (*Попов П.В.*) Уравнение Ван-дер-Ваальса и внутренняя энергия, выраженные через плотность: $P = RT\frac{\rho}{\mu} - a\frac{\rho^2}{\mu^2}$, $\Delta U = C_V\Delta T - \frac{a}{\mu}\Delta\rho$, $(C_V = \frac{5}{2}R)$. Сохранение энтальпии: $\Delta H = \Delta U + \Delta\left(\frac{P\mu}{\rho}\right) = (C_V+R)\Delta T - 2\frac{a}{\mu}\Delta\rho = 0$, откуда $\Delta T = \frac{4a\Delta\rho}{7\mu R} = -\frac{4\cdot0{,}14\cdot24}{7\cdot32\cdot10^{-3}\cdot8{,}31} \approx \boxed{-7{,}2\ К.}$

4А$_1$. (*Нозик А.А., Попов П.В.*) Средняя энергия вылетающих молекул $\bar\varepsilon_{выл} = 2k_БT + \frac{i-3}{2}k_БT = 3k_БT$ (см. зад. 7.24), поэтому $\frac{dU}{dt} = 3k_БT\frac{dN}{dt}$; энергия частиц в сосуде $U = N\frac{5}{2}k_БT$; отсюда $\frac{5}{2}d(NT) = 3TdN \to -\frac{1}{2}TdN + \frac{5}{2}NdT = 0 \to \dfrac{T^5}{N} = \text{const}$, $N_1/N_0 = (T_1/T_0)^5 = \boxed{1/32.}$

5А$_1$. (*Шеронов А.А.*) Из уравнение Клапейрона–Клаузиуса найдём начальную температуру воды $\Delta T \approx \frac{\Delta PT_0}{\lambda}\left(\frac{1}{\rho_в} - \frac{1}{\rho_л}\right) = -0{,}37$ К. При уменьшении давления до атмосферного температура вырастет от $t_1 = -0{,}37\,°C$ до $t_2 = 0\,°C$, при этом часть воды Δm замёрзнет. Величину Δm найдём из условия адиабатичности: $\Delta S \approx mc_в\frac{\Delta T}{T} - \frac{\Delta m\lambda}{T} = 0 \to \Delta m \approx \frac{mc_в\Delta T}{\lambda} \approx 4{,}6$ г (см. также задачу 11.34). Пусть $V_0 = m\rho_в = 10^3$ см^3 — объём $m = 1$ кг жидкой воды при нормальных условиях. Изменение объёма системы из-за уменьшения сжатия воды $\Delta V_1 = -V_0\frac{\Delta P}{K_в} \approx 2{,}5$ см^3 (отличием адиабатической и изотермической сжимаемостей можно пренебречь, поскольку $C_P/C_V \approx 1$). Изменение объёма из-за замерзания: $\Delta V_2 = \Delta m(\frac{1}{\rho_л} - \frac{1}{\rho_в}) = 0{,}4$ см^3. Суммарное увеличение объёма $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = \boxed{2{,}9\ см^3.}$

6А$_1$. (*Крымский К.М., Попов П.В.*) В стационаре разность числа частиц, пересекающих элементарный слой толщиной dx, равна числу атомов, распавшихся в нём за время dt: $dN = dj\cdot dt\cdot S = dn_{расп}\cdot S\cdot dx \to \frac{dj}{dx} = \frac{dn_{расп}}{dt}$, где согласно закону радиоактивного распада $\frac{dn_{расп}}{dt} = -\frac{\ln2}{T}n \equiv -An$. Таким образом $\frac{dj}{dx} = -An \to D\frac{d^2n}{dx^2} - An = 0 \to n = n_0e^{-\sqrt{\frac{\ln2}{DT}}\,x}$, отсюда $D = \frac{h^2\ln2}{T\ln^2\beta} \approx \boxed{0{,}02\ см^2/с.}$

1А$_2$. (*Попов П.В.*) $n = n_0\exp\left(-\frac{m^\star gz}{k_БT}\right)$, где с учётом силы Архимеда $m^\star = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_1 - \rho_в)$ ($m^\star < 0$, на дне пробирки концентрация минимальна). Отсюда $m^\star = \frac{k_БT}{gh}\ln\frac{n_{min}}{n_{max}} \approx -7{,}1\cdot10^{-18}$ г, $r = \left(\frac{3\ln2\,k_БT}{4\pi gh(\rho_в-\rho_1)}\right)^{1/3} \approx \left(\frac{3\cdot7{,}1\cdot10^{-18}}{4\cdot3{,}14\cdot0{,}1}\right)^{1/3}$ см $\approx \boxed{26\ нм.}$

2А$_2$. (*Коротков П.Ф.*) $A = \pi T_0S_0$, $Q_+ = Q_{12}+Q_{34}+Q_{53} = (6+\frac{\pi}{2})T_0S_0$, $\eta = \frac{2\pi}{12+\pi} \approx \boxed{0{,}41.}$

3А$_2$. (*Попов П.В.*) Поправка к давлению $\frac{a}{v_0^2} \approx 1{,}3$ атм $\ll P_0$; начальная температура $T_0 \approx P_0\frac{v_0-b}{R} \approx 327$ К. Изменение энтальпии: $0 = \Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = C_V\Delta T + \frac{a}{v_0} + RT - P_0v_0 = (C_V+R)\Delta T + \frac{a}{v_0} + RT_0 - P_0v_0 \approx (C_V+R)\Delta T - bP_0$, откуда $\Delta T \approx \dfrac{bP_0}{C_V+R} \approx \boxed{23\ К}$ (или более точно $\Delta T = \frac{P_0v_0 - RT_0 - \frac{a}{v_0}}{C_V+R} = \frac{b(P_0+\frac{a}{v_0^2}) - 2\frac{a}{v_0}}{C_V+R} = 21{,}2$ К.)

1Б$_1$. (*Михайлов Ю.А.*) $v_p = \sqrt{2k_БT/m}$, $\xi = v/v_p$, $N_0 = \frac{P_0V}{k_БT_0} = \frac{10^5\cdot10^{-6}}{1{,}38\cdot10^{-23}\cdot273} \approx 2{,}65\cdot10^{19}$,

$$N = N_0\int\limits_0^{\alpha v_p}\left(\frac{m}{2\pi k_БT}\right)^{3/2}e^{-\frac{mv^2}{2k_БT}}4\pi v^2dv = \frac{4N_0}{\sqrt\pi}\int\limits_0^\alpha\xi^2e^{-\xi^2}d\xi \approx \frac{4N_0}{\sqrt\pi}\int\limits_0^\alpha\xi^2d\xi = \frac{4\alpha^3N_0}{3\sqrt\pi} \approx 7{,}5\cdot10^{-7}N_0 \approx \boxed{2\cdot10^{13}.}$$

2Б$_1$. (*Юрьев Ю.В.*) Тепло на политропе $Q_3 = C(T_1 - T_2)$ ($Q_3 > 0$, теплоёмкость политропы отрицательна $C < 0$). Уравнение политропы: $CdT = TdS \to S = S_1 + C\ln\frac{T}{T_1}$. Тепло на изотерме $Q_1 = T_1(S_2 - S_1) = CT_1\ln\frac{T_2}{T_1} < 0$. КПД цикла: $\eta = 1 + \frac{Q_1}{Q_3} = 1 - \frac{T_1\ln\frac{T_2}{T_1}}{T_2 - T_1} \approx \boxed{0{,}23.}$

3Б$_1$. (*Попов П.В.*) Критическая точка в модели В-д-В: $V_0 = V_к = 3b$, $a = \frac{27}{8}RT_кb = \frac{9}{8}RT_кV_к$; при свободном расширении сохраняется внутренняя энергия $\Delta U = C_V\Delta T - a\Delta\left(\frac{1}{V}\right) = 0$, $T_1 = T_0 - \frac{4}{5}\frac{a}{C_VV_0} = T_0 - \frac{36}{40}\frac{T_к}{3{,}6} = \boxed{380\ К.}$

4Б$_1$. (*Нозик А.А.*) Средняя энергия вылетающих молекул $\bar\varepsilon_{выл} = 2k_БT$, $\frac{dU}{dt} = 2k_БT\frac{dN}{dt}$; энергия частиц в сосуде $U = N\frac{3}{2}k_БT$; отсюда $\frac{3}{2}d(NT) = 2TdN \to -\frac{1}{2}TdN + \frac{3}{2}NdT = 0 \to \frac{T^3}{n} = \text{const}$, и $T_1 = T_0(n_1/n_0)^{1/3} = \boxed{T_0/\sqrt[3]{2} = 0{,}79T_0.}$

5Б$_1$. (*Шеронов А.А.*) Конечная температура $\Delta T \approx \frac{\Delta PT_0}{\lambda}\left(\frac{1}{\rho_в} - \frac{1}{\rho_л}\right) = -0{,}74$ К. Условие адиабатичности $\Delta S \approx mc_л\frac{\Delta T}{T} - \frac{\Delta m\lambda}{T} = 0 \to \Delta m \approx \frac{mc_л\Delta T}{\lambda} \approx 4{,}7$ г (см. 11.34). Объём льда при нормальных условиях $V_0 = m\rho_л = 916$ см^3. Уменьшение объёма из-за сжатия льда $\Delta V_1 = -V_0\beta_л\Delta P \approx -1{,}07$ см^3. Уменьшение объёма из-за таяния льда: $\Delta V_2 = \Delta m(-\frac{1}{\rho_л} + \frac{1}{\rho_в}) = -0{,}43$ см^3. Сжатием воды можно пренебречь ввиду малости Δm. Суммарно $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 \approx \boxed{-1{,}5\ см^3.}$ Работа $A = -\int PdV \approx -\frac{P_1+P_2}{2}\Delta V \approx \boxed{7{,}6\ Дж.}$.

6Б$_1$. (*Крымский К.М., Попов П.В.*) Аналогично 6А $n = n_0e^{-\sqrt{\frac{A}{D}}\,x}$, $j_0 = -D\left(\frac{dn}{dx}\right)_{x=0} = n_0\sqrt{AD}$, $n = \frac{j_0}{\sqrt{AD}}e^{-\sqrt{\frac{A}{D}}\,h} \approx \boxed{317\ частиц/м^3.}$

1Б$_2$. (*Попов П.В.*) $\frac{mv_0^2}{k_БT} \approx 1{,}28\cdot 10^{-5} \ll 1$, $\alpha = \int\limits_0^{v_0} 4\pi v^2\left(\frac{m}{2\pi k_БT}\right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2k_БT}}dv \approx \frac{4\pi}{3}\left(\frac{mv_0^2}{2\pi k_БT}\right)^{3/2} \approx \boxed{1{,}22\cdot 10^{-8}.}$

2Б$_2$. (*Юрьев Ю.В.*) $CdT = TdS \to S = S_0 + C\ln\frac{T}{T_0}$, $Q_1 = C(T_1 - T_0) = -1{,}0$ кДж, $Q_3 = T_0(S_0 - S_1) = -CT_0\ln\frac{T_1}{T_0} \approx 0{,}69$ кДж, $A = -(Q_1 + Q_2) \approx \boxed{0{,}31\ кДж.}$

3Б$_2$. (*Попов П.В.*) $b = \frac{\mu}{3\rho_к} = \boxed{26\ см^3/моль}$, $\Delta U = C_V\Delta T - a\frac{\Delta\rho}{\mu} = 0$, $a = \frac{3}{2}\mu R\frac{\Delta T}{\Delta\rho} = \boxed{0{,}16\ Па\cdot м^6/моль^2.}$

Инструкция для проверяющих

За каждую задачу выставляется целое число баллов согласно стоимости задачи (x) и следующим критериям:

x	+	Задача решена верно: приведено *обоснованное* решение и даны ответы на все вопросы задачи. Возможно наличие арифметических ошибок, не влияющих на ход решения и не приводящих к ошибке в порядке или знаке величины.
$x-1$	±	Ход решения задачи в целом верен и получены ответы на все вопросы задачи, но решение содержит ошибки, не касающиеся физического содержания: арифметические ошибки, влияющие на порядок или знак величины; ошибки в размерности; вычислительные ошибки в выкладках; отсутствуют необходимые промежуточные доказательства и т. п.
$x-2$	∓	Задача не решена, решена лишь частично, или содержит грубые вычислительные ошибки, влияющие на ход решения, но *все* необходимые для решения физические законы сформулированы и корректно применены к задаче.
0	–	Задача не решена: основные физические законы применены с грубыми ошибками, перечислены не полностью или использованы законы, не имеющие отношения к задаче / подход к решению принципиально неверен / решение задачи не соответствует условию / попытки решить задачу не было.

Итоговая оценка за письменную работу ставится из суммы баллов Σ согласно формуле Оценка = $\left\lceil\frac{\Sigma}{2}\right\rceil$ с округлением в большую сторону (но не более 10 и не менее 1).

Если есть подозрения, что задача (или вся работа) списана, рядом с оценкой за задачу (работу) ставится знак вопроса.

Тексты задач и решений могут отличаться от представленных авторами. Все замечания направлять редактору-составителю контрольной работы Попову П.В. (popov.pv@mipt.ru).

Обсуждение замечаний, критериев проверки и результатов — на форуме кафедры board.physics.mipt.ru. Итоговое обсуждение — **14 июня в 8:30 в Гл. физ. ауд.** (электричка с Савеловского вокзала в 7-50). **Явка всех участвующих в экзамене обязательна.**

ФИО ____________________

группа ____________________

1З	2З

$1\mathbf{A}_1$	$2\mathbf{A}_1$	$3\mathbf{A}_1$	$4\mathbf{A}_1$	$5\mathbf{A}_1$	Σ	**Оценка**

Оценка = $\lceil \Sigma/2 \rceil$.

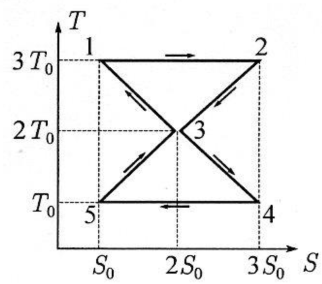
ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

10 июня 2016 г.

Вариант $\mathbf{A}_1$

$1\mathbf{A}_1$. (3) В вертикально расположенной пробирке высотой $H = 10$ см, заполненной воздухом при темпераурe $t = 11\,°\mathrm{C}$, равномерно распределены наночастицы пыли массой $m = 4 \cdot 10^{-17}$ г каждая. Их начальная концентрация составляет $n_0 = 10^8$ см$^{-3}$. Найти концентрацию частиц n_1 в центре пробирки (на высоте $h = H/2$) после установления равновесия.

$2\mathbf{A}_1$. (3) Тепловая машина работает по обратимому циклу 1–2–3–4–5–3–1, состоящему в координатах T–S из двух равнобедренных треугольников (см. рис.). Найти КПД цикла. Уравнение состояния рабочего тела неизвестно.



$3\mathbf{A}_1$. (3) Найти изменение температуры ΔT кислорода в процессе Джоуля—Томсона, если начальная плотность газа равна $\rho_0 = 25$ кг/м^3, конечная $\rho_1 = 1$ кг/м^3. Использовать модель Ван-дер-Ваальса с параметрами $a = 0{,}14$ Дж $\cdot$ м$^3 \cdot$ моль$^{-2}$, $b \approx 0$ и постоянной теплоёмкостью C_V. Начальная температура близка к комнатной.

$4\mathbf{A}_1$. (4) Теплоизолированный сосуд, заполненный двухатомным газом, находится в космосе. В сосуде имеется отверстие, размеры которого много меньше длины свободного пробега, через которое газ медленно вытекает. Найти, во сколько раз изменится число частиц в сосуде N_1/N_0 к моменту, когда температура в нём уменьшится вдвое, $T_1 = T_0/2$.

$5\mathbf{A}_1$. (4) Вода в количестве $m = 1$ кг и небольшой кусочек льда находятся в теплоизолированной оболочке под давлением $P_1 = 51$ атм. Давление медленно уменьшают до $P_2 = 1$ атм. Найти изменение объёма системы ΔV. Плотности воды и льда при атмосферном давлении равны соответственно $\rho_{\text{в}} = 1{,}0$ г/см^3 и $\rho_{\text{л}} = 0{,}916$ г/см^3; изотермический модуль всестороннего сжатия воды $K_{\text{в}} = 2{,}0 \cdot 10^4$ атм. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 335$ Дж/г, удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4{,}18$ Дж/г. Отличием C_P/C_V от единицы можно пренебречь.

$6\mathbf{A}_1$. (4) Для защиты от радиоактивного инертного газа радона–220, выделяемого торий-содержащими отходами, их засыпают песком. Благодаря высокой радиоактивности, радон в процессе диффузии через песок в значительной степени распадается. Считая диффузию одномерной, определить коэффициент диффузии D радона в песке, если известно, что в стационарном состоянии на расстоянии $h = 20$ см от радиоактивного источника регистрируется в $\beta = 10^7$ раз меньше актов распада в секунду, чем на границе источника. Период полураспада радона–220 равен $T = 55{,}6$ с.

ФИО ____________________

группа ____________________

1З	2З

$1A_2$	$2A_2$	$3A_2$	$4A_2$	$5A_2$	Σ	Оценка

Оценка = $\lceil \Sigma/2 \rceil$.

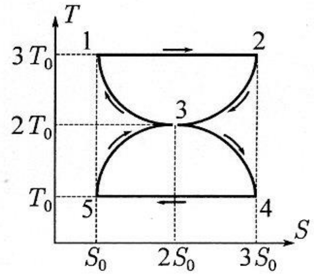
ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

10 июня 2016 г.

Вариант $\mathbf{A_2}$

$1A_2$. (3) Водная суспензия содержит небольшое количество мелких капелек масла при температуре $t = 17\,^\circ$C. Плотность масла $\rho_1 = 0{,}9$ г/см^3. При каком радиусе капель r отношение их минимальной и максимальной концентраций в пробирке высотой $h = 4$ см будет в равновесии составлять $n_{\min}/n_{\max} = 0{,}5$?

$2A_2$. (3) Тепловая машина работает по обратимому циклу 1–2–3–4–5–3–1, состоящему в координатах T–S из двух полуэллипсов (см. рис.). Найти КПД цикла. Уравнение состояния рабочего тела не известно. *Справка*: площадь эллипса с полуосями a и b равна $\Pi = \pi ab$.



$3A_2$. (3) Гелий под давлением $P_0 = 200$ атм подвергается дросселированию в область низкого давления $P_1 \ll P_0$. Начальный молярный объём газа равен $v_0 = 160$ см^3/моль. Определить изменение температуры гелия ΔT, используя модель Ван-дер-Ваальса с параметрами $b = 24$ см^3/моль и $a = 3{,}4 \cdot 10^{-3}$ Па $\cdot$ (м^3/моль)^2. *Указания*: в конечном состоянии газ считать идеальным; при расчётах можно воспользоваться тем, что $a/v_0^2 \ll P_0$.

$4A_2$. (4) Теплоизолированный сосуд, заполненный двухатомным газом, находится в космосе. В сосуде имеется отверстие, размеры которого много меньше длины свободного пробега, через которое газ медленно вытекает. Найти, во сколько раз изменится число частиц в сосуде N_1/N_0 к моменту, когда температура в нём уменьшится вдвое, $T_1 = T_0/2$.

$5A_2$. (4) Вода в количестве $m = 1$ кг и небольшой кусочек льда находятся в теплоизолированной оболочке под давлением $P_1 = 51$ атм. Давление медленно уменьшают до $P_2 = 1$ атм. Найти изменение объёма системы ΔV. Плотности воды и льда при атмосферном давлении равны соответственно $\rho_в = 1{,}0$ г/см^3 и $\rho_л = 0{,}916$ г/см^3; изотермический модуль всестороннего сжатия воды $K_в = 2{,}0 \cdot 10^4$ атм. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 335$ Дж/г, удельная теплоёмкость воды $c_в = 4{,}18$ Дж/г. Отличием C_P/C_V от единицы можно пренебречь.

$6A_2$. (4) Для защиты от радиоактивного инертного газа радона–220, выделяемого торий-содержащими отходами, их засыпают песком. Благодаря высокой радиоактивности, радон в процессе диффузии через песок в значительной степени распадается. Считая диффузию одномерной, определить коэффициент диффузии D радона в песке, если известно, что в стационарном состоянии на расстоянии $h = 20$ см от радиоактивного источника регистрируется в $\beta = 10^7$ раз меньше актов распада в секунду, чем на границе источника. Период полураспада радона–220 равен $T = 55{,}6$ с.

ФИО ______________________

группа ______________________

1З	2З

$1Б_1$	$2Б_1$	$3Б_1$	$4Б_1$	$5Б_1$	Σ	**Оценка**

Оценка = $\lceil \Sigma/2 \rceil$.

ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

10 июня 2016 г.

Вариант $\mathbf{Б}_1$

$1Б_1$. (3) Определить число молекул N в кубическом сантиметре азота при нормальных условиях, имеющих модуль скорости v, меньший чем $v < \alpha v_p$, где v_p — наиболее вероятная скорость, $\alpha = 0{,}01$.

$2Б_1$. (3) Неидеальный газ с неизвестным уравнением состояния служит рабочим телом в обратимом цикле, состоящем из 1) изотермического сжатия при температуре $T_1 = 300$ К, 2) адиабатического нагрева до температуры $T_2 = 500$ К, 3) политропического охлаждения. Найти КПД цикла η.

$3Б_1$. (3) Моль углекислого газа, сжатый исходно до критической плотности $\rho_0 = \rho_к$ при температуре $T_0 = \frac{3}{2}T_к$ ($T_к = 304$ К — критическая температура), свободно расширяется в теплоизолированном сосуде объёма V_1, так что объём газа увеличивается в $V_1/V_0 = 5$ раз. Используя модель Ван-дер-Ваальса, найти конечную температуру газа T_1. Теплоёмкость $C_V \approx 3{,}6R$ считать постоянной.

$4Б_1$. (4) В теплоизолированном сосуде, помещённом в вакуумную камеру, находится идеальный одноатомный газ с начальной температурой T_0. В сосуде имеется отверстие, размеры которого много меньше длины свободного пробега, через которое газ медленно вытекает. Найти температуру T_1 газа в сосуде к моменту, когда концентрация газа в нём уменьшится вдвое, $n_1 = n_0/2$.

$5Б_1$. (4) Лёд в количестве $m = 1$ кг находится в адиабатической оболочке при нормальных условиях. Внешнее давление медленно увеличивают до $P_2 = 100$ атм. Найти изменение объёма системы ΔV и работу A, которую необходимо для этого совершить. Плотности воды и льда при нормальных условиях равны соответственно $\rho_в = 1{,}0$ г/см^3 и $\rho_л = 0{,}916$ г/см^3; изотермическая сжимаемость льда $\beta_л = 1{,}18 \cdot 10^{-10}$ Па$^{-1}$. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 335$ Дж/г, удельная теплоёмкость льда $c_л = 2{,}11$ Дж/г. Отличием C_P/C_V от единицы можно пренебречь.

$6Б_1$. (4) Для защиты от радиоактивного инертного газа радона–220, выделяемого торий-содержащими отходами, их засыпают песком. Благодаря высокой радиоактивности радона, в процессе диффузии через песок он в значительной степени распадается. Приняв плотность потока частиц со стороны источника равной $j_0 = 10^5 \ \frac{\text{частиц}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$, найти установившуюся концентрацию радона n на расстоянии $h = 30$ см от источника. Коэффициент диффузии газа в песке равен $D = 0{,}02$ см^2/с, диффузию считать одномерной. Вероятность распада атома радона–220 за время dt равна $dp = A\,dt$, где $A = 12{,}5 \cdot 10^{-3}$ с$^{-1}$.

ФИО ____________________

группа ____________________

1З	2З

$1Б_2$	$2Б_2$	$3Б_2$	$4Б_2$	$5Б_2$	Σ	**Оценка**

Оценка = $\lceil \Sigma/2 \rceil$.

ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА
ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

10 июня 2016 г.

Вариант $\mathbf{Б}_2$

$1Б_2$. (3) Определить долю молекул атмосферного кислорода при температуре $t = 27\,°\mathrm{C}$, имеющих модуль скорости, меньший чем $v_0 = 1$ м/с.

$2Б_2$. (3) Вещество с неизвестным уравнением состояния, исходно находящееся при температуре $T_0 = 100$ К, было последовательно подвергнуто нагреву в политропическом процессе с теплоемкостью $C = -10$ Дж/К до температуры $T_1 = 200$ К, адиабатическому охлаждению до температуры T_0 и изотермическому расширению до исходного состояния. Найти работу A, совершенную над телом за цикл.

$3Б_2$. (3) Аргон ($\mu = 40$ г/моль), находящийся исходно в состоянии с плотностью $\rho_0 = 0{,}1\rho_к$, где $\rho_к = 0{,}5$ г/см^3 — критическая плотность, свободно расширился в закрытом теплоизолированном сосуде фиксированного объёма, в результате чего плотность газа упала до $\rho_1 = \rho_0/2$, а температура изменилась на $\Delta T = -8$ К. Используя модель Ван-дер-Ваальса, найти константы a и b.

$4Б_2$. (4) В теплоизолированном сосуде, помещённом в вакуумную камеру, находится идеальный одноатомный газ с начальной температурой T_0. В сосуде имеется отверстие, размеры которого много меньше длины свободного пробега, через которое газ медленно вытекает. Найти температуру T_1 газа в сосуде к моменту, когда концентрация газа в нём уменьшится вдвое, $n_1 = n_0/2$.

$5Б_2$. (4) Лёд в количестве $m = 1$ кг находится в адиабатической оболочке при нормальных условиях. Внешнее давление медленно увеличивают до $P_2 = 100$ атм. Найти изменение объёма системы ΔV и работу A, которую необходимо для этого совершить. Плотности воды и льда при нормальных условиях равны соответственно $\rho_в = 1{,}0$ г/см^3 и $\rho_л = 0{,}916$ г/см^3; изотермическая сжимаемость льда $\beta_л = 1{,}18 \cdot 10^{-10}$ Па$^{-1}$. Удельная теплота плавления льда $\lambda = 335$ Дж/г, удельная теплоёмкость льда $c_л = 2{,}11$ Дж/г. Отличием C_P/C_V от единицы можно пренебречь.

$6Б_2$. (4) Для защиты от радиоактивного инертного газа радона–220, выделяемого торийсодержащими отходами, их засыпают песком. Благодаря высокой радиоактивности радона, в процессе диффузии через песок он в значительной степени распадается. Приняв плотность потока частиц со стороны источника равной $j_0 = 10^5\ \frac{\text{частиц}}{\text{см}^2\cdot\text{с}}$, найти установившуюся концентрацию радона n на расстоянии $h = 30$ см от источника. Коэффициент диффузии газа в песке равен $D = 0{,}02$ см^2/с, диффузию считать одномерной. Вероятность распада атома радона–220 за время dt равна $dp = A\,dt$, где $A = 12{,}5 \cdot 10^{-3}$ с$^{-1}$.