

Домашние задания по курсу «Молекулярная физика»

Внимание! После условия каждой задачи приведены № задач, которые помогут в решении. В () № из задачника 2012 г., в {} – из задачника 2011 г. В скобках после № указан примерный № семинара, на котором задача разбиралась.

Задание 1 (Молекулярно-кинетическая теория)

1. Пользуясь табличными значениями и асимптотическим ($x \gg 1$) представлением интеграла $\text{erf}(x) = 1 - 1/(\pi^{1/2} x) \cdot \exp(-x^2)$, рассчитать:

а) долю частиц, у которых $|v_x| \geq v_m$;

б) долю частиц, у которых $v \geq v_m$;

в) долю частиц в атмосфере Земли, скорость которых превосходит вторую космическую $v_2 = 11,2$ км/с. $T = 300$ К, $\mu = 29$.

(№1.10, 1.12 (2)) {2.10, 2.12 (2)}

2. Пленки некоторых нерастворимых органических кислот и спиртов можно моделировать идеальным двумерным газом. Считая, что такой идеальный газ находится в неравновесном состоянии, в котором все молекулы имеют одинаковые по модулю скорости v и изотропно распределены по направлениям движения в плоскости пленки, найти распределение для проекций скоростей на некоторую ось в плоскости пленки. С его помощью рассчитать давление газа и число ударов молекул о единичный отрезок границы пленки. Концентрация газа n , масса молекулы m .

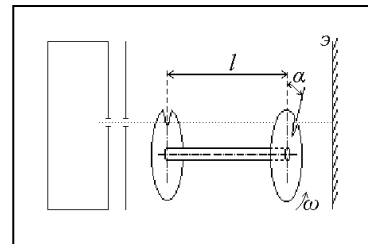
(№ 1.17, 1.20 (3)) {2.15, 2.16 (3)}

3. В эксперименте с молекулярным пучком ртути получена следующая зависимость числа частиц ΔN , попавших на экран (см. рисунок) за постоянное время $t \gg \omega^{-1}$, от скорости (определяемой как $v = \omega l / \alpha$):

v м/с = 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600 650 700.

$\Delta N \cdot 10^{-9} = 61 195 415 664 856 915 835 663 417 287 155 70$.

Построить график распределения молекул ртути по скоростям в печи. Какова приблизительно температура паров ртути в печи? В процессе измерений $\omega = \text{const}$, $l = \text{const}$. Обратите внимание на то, что интервал скоростей молекул, проходящих через вертушку, не остается постоянным.



(№ 1.23 (3), 1.34 (5)) {2.18 (3), 2.25 (5)}

4. Из сосуда объемом V газ истекает в вакуум через малые отверстия общей площадью S . Как во времени нужно подводить тепло к газу, чтобы его температура оставалась неизменной? Как будет изменяться температура газа в адиабатически изолированном сосуде? Начальная плотность газа n_0 .

(№ 2.42 (15), 2.54 (15)) {3.24 (15), 3.29 (15)}

5. Два полых цилиндра с поперечными сечениями S и $2S$ и одинаковой высоты h соединены встык и образуют замкнутый сосуд. В его объем закачан идеальный газ при температуре T . Найти относительное изменение давления в нижней части сосуда при его переворачивании, возникающее при учете неравномерности распределения газа по высоте. Оценить его для условий Земли.

(№ 1.55, 1.65 (7)) {2.38, 2.43 (7)}

6. В центрифуге радиусом R , вращающейся с угловой скоростью ω , находится смесь двух газов с молекулярными весами μ_1 и μ_2 и количеством молекул N_1 и N_2 . Найти отношение плотностей газов у внешней стенки и на оси центрифуги. Сделать оценки для смесей $H_2 - D_2$ и $U^{235} - U^{238}$; $R = 10$ см, $\omega = 10^4$ с $^{-1}$.

(№ 1.68 (8)) {2.44 (8)}

7. Рассчитать распределение по скоростям точечных частиц после упругого столкновения с бесконечно тяжелой сферой. До столкновения все частицы имеют одинаковую скорость v .

(№ 2.3, 2.7 (11)) {3.3, 3.4 (11)}

8. Молекулы реального газа взаимодействуют друг с другом по закону $u = -a/r^6$ при $r > d$, где d – эффективный диаметр молекулы. Найти зависимость сечения соударений σ от температуры (поправка Сезерленда), считая соударением соприкосновение частиц.

(№ 2.3, 2.7 (11)) {3.3, 3.4 (11)}

9. Оценить время испарения воды из трубки длиной 10 см, запаянной с одного конца. Температура комнатная. Первоначально вода заполняла трубку наполовину. Относительная влажность воздуха 50 %, давление насыщенных паров 27 мм рт. ст. Длина свободного пробега молекул в системе воздух–пар порядка 10^{-5} см. Пар у поверхности воды считать насыщенным, капиллярными явлениями пренебречь.

(№ 2.12, 2.13 (13)) {3.8, 3.9 (13)}

10. Определить, на какой угол φ повернется диск, подвешенный на упругой нити, если под ним на расстоянии $h = 1$ см вращается второй такой же диск с угловой скоростью $\omega = 50$ с $^{-1}$. Радиус дисков $R = 10$ см, модуль кручения нити $f = 100$ дин·см/рад. Между дисками находится аргон (газодинамический диаметр атома 3,6 Å). Рассмотреть случаи различных давлений и построить график зависимости угла поворота φ от давления P . Рассчитать значение φ в P_1 и P_2 , значения взять у преподавателя.

(№ 2.38 (14), 2.61 (16)) {3.21 (14), 3.35 (16)}

11. Для измерения теплопроводности газа им заполняется пространство между двумя длинными коаксиальными цилиндрами радиусами r_1 и r_2 . Заполнение производится при невысоком давлении (~ 10 мм рт. ст.), чтобы исключить конвекцию. Внутренний цилиндр нагревается источником тепла с удельной мощностью Q , установившиеся температуры цилиндров t_1 и t_2 измеряются. Рассчитать коэффициент теплопроводности и газодинамический диаметр молекулы для азота, если $r_1 = 0,5$ см, $r_2 = 2$ см, $Q = 0,038$ Вт/см, $t_1 = 93$ °С $t_2 = 0$ °С

(№ 2.20, 2.26 (14)) {3.13, 3.15 (14)}

12. В сферическом реакторе радиусом R , заполненном газообразной смесью реагентов, идет химическая реакция. Тепловой эффект реакции в расчете на единичный объем равен Q . Какой поток тепла следует снимать с поверхности реактора, если ее температура поддерживается равной T_0 ? Найти распределение температуры в реакторе. Учесть зависимость коэффициента теплопроводности от температуры.

(№ 2.26, 2.27 (14)) {3.15, 3.16 (14)}

Задание 2 (Термодинамика)

1. Из сосуда, в котором находится газ при комнатной температуре и под давлением P_1 , большим атмосферного P_0 , приоткрыв кран, выпускают газ, пока избыток давления не исчезнет. Затем кран закрывают и, после того как температура в сосуде вновь станет комнатной, измеряют давление в сосуде P_2 . Как по этим данным найти показатель адиабаты газа γ ? Тот же вопрос для случая, когда в сосуде вначале был воздух под давлением $P_1 < P_0$. Истечение считать квазистационарным.

(№ 3.14, 3.31 (19)) {1.8, 1.14 (19)}

2. Идеальный газ сжимается под поршнем в цилиндре так, что уходящее в окружающую среду тепло равно изменению внутренней энергии газа. Определить работу, затраченную на сжатие моля газа при изменении объема в два раза. Чему равна теплоемкость в этом процессе? Начальная температура газа T_0 .

(№ 3.31 (19)) {1.14 (19)}

3. Один моль H_2O с температурой $25^\circ C$ охлаждается до $0^\circ C$ и замерзает. Все тепло, полученное охлаждающей машиной, работающей с максимальной теоретически допустимой эффективностью, передается другому молю H_2O при $25^\circ C$ в результате чего его температура повышается до $100^\circ C$. Сколько молей H_2O переходит в пар при $100^\circ C$. Тепло испарения при $100^\circ C$ равно 9730 кал/моль . Тепло плавления льда при $0^\circ C$ равно 1438 кал/моль .

(№ 3.54, 3.52 (22)) {1.29, 1.30 (22)}

4. Идея динамического отопления, высказанная В. Томсоном (1852 г.), заключается в следующем. Тепловой двигатель, в топке которого сжигается уголь, приводит в действие холодильную машину. Холодильная машина отнимает тепло от природного резервуара воды (например, от грунтовой воды) и отдает ее воде в отопительной системе. Одновременно вода в отопительной системе служит холодильником теплового двигателя. Определить теоретическое количество тепла, которое получает отапливаемое помещение от сжигания 1 кг каменного угля. Удельная теплота сгорания угля $q = 8000 \text{ ккал/кг}$, температура в котле паровой машины $t_1 = 210^\circ C$ температура воды в отопительной системе $t_2 = 60^\circ C$ а грунтовой воды $t_3 = 15^\circ C$.

(№ 3.57 (23)) {1.35 (23)}

5. Найти работу, совершаемую произвольным рабочим телом за цикл, состоящий из адиабаты, политропы и изотермы.

(№ 3.68 (24)) {1.43 (24)}

6. Теплоизолированный цилиндрический сосуд разделен поршнем пренебрежимо малой массы на две равные части. По одну сторону поршня находится идеальный газ с массой M , молекулярным весом μ и молярными теплоемкостями C_V и C_P , не зависящими от температуры, а по другую сторону поршня создан высокий вакуум. Начальная температура и давление газа T_0 и P_0 . Поршень отпускают, и он, свободно двигаясь, дает возможность газу заполнить весь объем цилиндра. После этого, постепенно увеличивая давление на поршень, медленно доводят объем газа до первоначальной величины. Найти изменение внутренней энергии и энтропии газа при таком процессе.

(№ 3.71 (24)) {1.44 (24)}

7. Выразить изменение температуры свободно расширяющегося одноатомного газа через начальный и конечный объемы и константы уравнения Ван-дер-Ваальса для газа. Оценить изменение энтропии и энтальпии.

(№ 3.71 (24), 3.115 (27)) {1.44 (24), 1.79 (27)}

8. Серебряная проволока диаметром $d = 1 \text{ мм}$ адиабатически нагружается при комнатной температуре силой $F = 10 \text{ Н}$. Полагая, что удельная теплоемкость $c = 234 \text{ Дж/(К} \cdot \text{кг)}$, плотность $\rho = 10 \text{ г/см}^3$, а температурный коэффициент линейного расширения $\alpha = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$, определить изменение температуры проволоки. Коэффициент линейного теплового расширения показывает относительное изменение длины тела при нагревании на температуру ΔT при постоянной нагрузке. Работа по растяжению проволоки определяется выражением $dA = Fdl$, где dl – бесконечно малое удлинение проволоки.

Предварительно разобран подход к решению (№ 3.104 (26)) {1.70 (26)}

9. Определить точку кипения воды на вершине холма высотой 300 м над уровнем моря. Изменением температуры с высотой пренебречь. Удельная теплота парообразования при нормальных условиях равна 540 кал/г , пар подчиняется уравнению состояния идеального газа.

(№ 1.55 (7), 3.146 (29)) {2.38 (7), 1.103 (29)}

10. Тепло плавления льда при $0^\circ C$ и давлении 1 атм равно 80 кал/г , а отношение удельного объема воды к удельному объему льда равно $1:1,091$. Давление насыщенного пара и теплоты парообразования при $0^\circ C$ составляет $4,58 \text{ мм рт. ст.}$ и 600 кал/г . По приведенным данным оценить температуру тройной точки.

(№ 3.146, 3.155 (29)) {1.103, 1.106 (29)}

11. Капля жидкости находится в равновесии с паром при давлении P_1 , которое из-за поверхностного натяжения в капле больше давления P_2 насыщенного пара над плоской поверхностью при той же температуре. Найти критический (равновесный) радиус капли в предположении $|P_1 - P_2| \ll P_2$. Известны T – температура системы, σ – коэффициент поверхностного натяжения, μ – молярная масса вещества, ρ – плотность жидкости. Пар считать идеальным газом и пренебречь молярным объемом жидкости по сравнению с молярным объемом пара.

Предварительно разобран подход к решению (№ 3.142 (28), 3.161 (30)) {1.101 (28), 1.113 (30)}

12. Показать, что: а) энтропия и внутренняя энергия пленки увеличиваются при ее изотермическом растяжении; б) температура пленки повышается при адиабатическом сжатии.

(№ 3.167 (31)) {1.121 (31)}