

**Задание 1**

1. В сосуде находится идеальный газ. Масса молекул равна  $m$ , температура газа  $T$ . С каким абсолютным значением скорости молекулы наиболее часто ударяются о стенку? Объяснить разницу с наиболее вероятной скоростью  $v_m$  молекул в газе.

2. Найти число молекул, ударяющихся о единицу площади поверхности сосуда в единицу времени и имеющих абсолютное значение скорости большее, чем некоторая заданная величина  $v_0$ .

3. Идеальный двумерный газ находится в неравновесном состоянии, в котором все молекулы имеют одинаковые по модулю скорости  $v$  и изотропно распределены по направлениям движения в плоскости, в которой газ находится. Найти распределение для проекций скоростей на некоторую ось в плоскости. Рассчитать давление газа и число ударов молекул о единичный отрезок ограничивающей газ границы. Двумерная концентрация газа  $n$ , масса молекулы  $m$ .

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  $n_0$ .

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.

6. В центрифуге радиусом  $R$ , вращающейся с угловой скоростью  $\omega$ , находится смесь двух газов с молекулярными весами  $\mu_1$  и  $\mu_2$  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<sup>-1</sup>.

7. В боковой стенке сосуда с идеальным газом (концентрация  $n$ , температура  $T$ , масса молекулы  $m$ ) имеется отверстие, закрытое заслонкой. В момент времени  $t = 0$  заслонку открывают на короткое время  $\tau$ . Найти в момент времени  $t \gg \tau$  функцию распределения вылетевших частиц по расстоянию  $x$  от стенки и среднее значение этого расстояния.

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  $\sigma$  от температуры (поправка Сезерленда), считая соударением соприкосновение частиц.

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.

10. Определить, на какой угол  $\varphi$  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<sup>-1</sup>. Радиус дисков  $R = 10$  см, модуль кручения нити  $f = 100$  дин·см/рад. Между дисками находится аргон (газокинетический диаметр атома 3,6 Å). Построить график зависимости угла поворота  $\varphi$  от давления  $P$ .

11. Для измерения теплопроводности газа им заполняется пространство между двумя длинными коаксиальными цилиндрами радиусами  $r_1$  и  $r_2$ . Заполнение производится при невысоком давлении ( $\sim 10$  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 газокинетический диаметр молекулы для азота, если  $r_1 = 0,5$  см,  $r_2 = 2$  см,  $Q = 0,038$  Вт/см,  $t_1 = 93$  °C  $t_2 = 0$  °C

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.

## Задание 2

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  $\gamma$ ? Истечение считать квазистационарным.

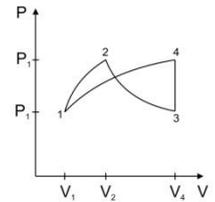
2. Идеальный газ сжимается под поршнем в цилиндре так, что уходящее в окружающую среду тепло равно изменению внутренней энергии газа. Определить работу, затраченную на сжатие моля газа при изменении объема в два раза. Чему равна теплоемкость в этом процессе? Начальная температура газа  $T_0$ .

3. Доказать, что зависимость давления от объема для адиабаты круче, чем для изотермы.

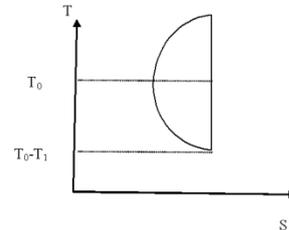
4. Один моль  $H_2O$  с температурой  $25^\circ C$  охлаждается до  $0^\circ C$  и замерзает. Все тепло, полученное охлаждающей машиной, работающей с максимальной теоретически допустимой эффективностью, передается другому молю  $H_2O$  при  $25^\circ C$  в результате чего его температура повышается до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

5. Предложенный Томсоном принцип динамического отопления состоит в следующем. Работающий на угле тепловой двигатель с водяным охлаждением приводит в действие холодильную машину. Холодильная машина отнимает теплоту от окружающей среды (грунтовые воды, например) и отдает ее воде в отопительной системе помещения. Одновременно вода в отопительной системе служит холодильником теплового двигателя. Определить теоретическое количество тепла, которое получает отапливаемое помещение от сжигания  $1 \text{ кг}$  угля. Удельная теплота сгорания угля  $q = 8000 \text{ ккал/кг}$ , температура в котле двигателя  $t_1 = 210^\circ C$ , температура воды в отопительной системе  $t_2 = 60^\circ C$ , грунтовой воды  $t_3 = 15^\circ C$ .

6. Найти полную работу цикла, состоящего из политропы 1-2 ( $C_1 = \text{const}$ ), изотермы 2-3, изохоры 3-4 и политропы 4-1 ( $C_2 = \text{const}$ ), если известны  $p_1, V_1$ , а  $p_2 = p_4 = 2p_1, p_3 = p_1, V_2 = 2V_1, V_3 = V_4 = 4V_1$ .  $C_1$  и  $C_2$  различны, рабочее тело – двухатомный идеальный газ.



7. Рассчитать КПД тепловой машины с произвольным веществом в качестве рабочего тела, совершающий обратимый цикл, представленный на TS-диаграмме (половина эллипса).



8. Теплоизолированный цилиндрический сосуд разделен поршнем пренебрежимо малой массы на две равные части. По одну сторону поршня находится идеальный газ с массой  $M$ , молекулярным весом  $\mu$  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.

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

10. Для газа Ван-дер-Ваальса:

- (1) доказать, что теплоемкость  $C_V$  зависит только от температуры;
- (2) найти выражение для внутренней энергии и энтропии;
- (3) найти уравнение адиабаты в переменных  $p$  и  $V$ .

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

12. Для некоторого газа давление  $p$ , объем  $V$  и внутренняя энергия  $U$  связаны соотношением  $pV = gU$ , где  $g$  – константа. Найти уравнение адиабаты в переменных  $p$  и  $V$ .