

## §25. Частота ударов молекул газа о единицу поверхности стенки сосуда

Найдем важную для многих приложений характеристику теплового движения молекул газа в равновесии – число ударов молекул газа за единицу времени о единицу поверхности сосуда или, что то же самое, частоту ударов молекул о единицу поверхности.

Пусть газ, находящийся в равновесии при температуре  $T$ , равномерно заполняет объем некоторого сосуда. Число молекул газа  $n$  в единице объема сосуда считаем известной величиной. Мысленно выделим единичную площадку на стенке сосуда и рассмотрим столб газа, расположенный ортогонально к стенке и имеющий выделенную площадку своим основанием. Введем прямоугольную систему координат, поместив ее начало на выделенную площадку, расположив оси  $x$  и  $y$  в плоскости площадки, а ось  $z$  направив на площадку ортогонально к ней. Представим на время, что молекулы могут двигаться только вдоль оси  $z$ . Плотность вероятности  $g(v_z)$  различных значений скорости  $v_z$  дается распределением Максвелла

$$g(v_z) = \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{1/2} e^{-\frac{mv_z^2}{2k_B T}}. \quad (25.1)$$

В зачет, естественно, идут только молекулы с  $v_z > 0$ . Поскольку величина  $g(v_z)dv_z$  есть вероятность того, что скорость молекулы имеет значение на интервале  $[v_z, v_z + dv_z]$ , то произведение числа молекул в единице объема на эту вероятность:  $ng(v_z)dv_z$ , равно среднему числу молекул в единице объема, имеющих значение скорости на этом же интервале. За единицу времени из рассматриваемого столба газа до его основания долетит столько молекул  $dj$  со скоростями из интервала  $[v_z, v_z + dv_z]$ , сколько их находится в части столба высотой  $v_z$ . Таким образом,

$$dj = nv_z g(v_z) dv_z = n \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{1/2} v_z e^{-\frac{mv_z^2}{2k_B T}} dv_z. \quad (25.2)$$

Принимая во внимание все молекулы с  $v_z > 0$ , для числа ударов  $j$  молекул газа за единицу времени о единицу поверхности стенки получим

$$j = n \left( \frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{1/2} \int_0^{\infty} v_z e^{-\frac{mv_z^2}{2k_B T}} dv_z. \quad (25.3)$$

Интеграл в правой части (25.3) нами уже вычислялся при переходе от (24.9) к (24.10). Воспользовавшись полученным там результатом, с учетом (24.12) запишем

$$j = n \frac{1}{2} \left( \frac{2k_B T}{\pi m} \right)^{1/2} = \frac{1}{4} n \langle v \rangle. \quad (25.4)$$

В действительности молекулы газа в рассматриваемом столбе имеют не только составляющую скорости по оси  $z$ , но и составляющие в плоскости  $x, y$ . Поэтому молекула, имеющая компоненту скорости  $v_z > 0$ , двигаясь в направлении основания столба, вполне может не достичь его и выйти через боковую поверхность столба. Ясно, однако, что при однородности распределения газа в сосуде и при учете того, что распределение Максвелла молекул по скоростям применимо во всем объеме, сколько молекул с данной компонентой скорости  $v_z$  покинет при своем движении рассматриваемый столб газа, столько же таких молекул придет в него извне. Следовательно, соотношение (25.4) есть ответ на поставленную в начале параграфа задачу.

Как на одно из приложений соотношения (25.4) укажем на возможность его использования при оценке числа молекул  $j^-$ , покидающих за единицу времени единицу поверхности жидкости (испаряющихся с единицы поверхности жидкости). Рассмотрим равновесную двухфазную систему, состоящую из жидкости и ее насыщенного пара, при температуре  $T$ . В основе получения оценки лежит факт

равенства в состоянии равновесия числа молекул, покидающих за единицу времени поверхность жидкости, и числа молекул насыщенного пара, конденсирующихся за единицу времени на этой поверхности. Если грубо считать, что все молекулы пара, ударяющиеся о жидкость, на ней конденсируются, а частоту ударов молекул пара о единицу поверхности жидкости находить по (25.4) с заменой числа молекул газа  $n$  в единице объема на число молекул в единице объема насыщенного пара  $n_0(T)$  при температуре жидкости, то можно положить

$$j^- \sim \frac{1}{4} n_0(T) \langle v \rangle, \quad (25.5)$$

где  $\langle v \rangle$  есть средняя скорость теплового движения молекул **пара**.