

1.2 ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ГАЗОВ

В этом разделе будет использован статистический метод исследования молекулярных процессов. На основании исследования совокупного действия молекул будут получены такие термодинамические параметры, как давление и температура.

Для расчетов воспользуемся *моделью идеального газа* с точки зрения молекулярно-кинетической теории: 1) молекулы газа непрерывно и хаотично движутся; 2) молекулы взаимодействуют только во время удара; 3) удары молекул абсолютно упругие; 4) размеры молекул малы по сравнению с расстояниями между ними.

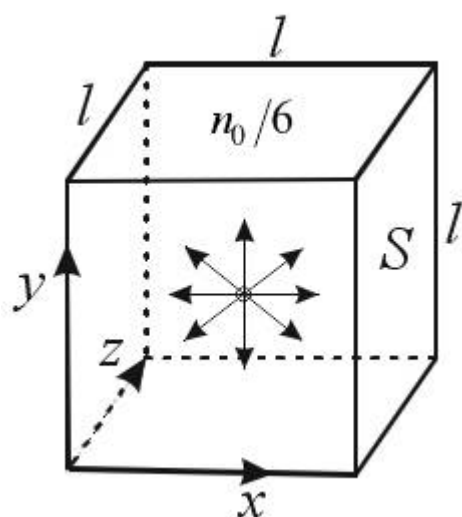


Рисунок 1.2

Пусть в сосуде кубической формы объемом $V = l^3$, где l – длина ребра (рисунок 1.2), число молекул равно n_0 . Молекулы движутся хаотично и, соударяясь со стенкой площадью $S = l^2$, оказывают на нее давление. Результаты расчета давления на стенку не изменятся, если хаотическое движение молекул заменить направленным движением их вдоль осей x , y и z . Тогда со стенкой, площадью S , будет соударяться третья часть от всех молекул, равная

$$n = n_0 l^3 / 3. \quad (1.8)$$

При каждом соударении со стенкой молекула передает ей импульс, равный $m v_1 - (-m v_1) = 2m v_1$, где m – масса молекулы, v_1 – ее скорость. За время Δt молекула соударится со стенкой число раз, равное $v_1 \Delta t / 2l$, и передаст стенке импульс $\Delta P_1 = m v_1^2 \Delta t / l$. Просуммируем импульс, переданный стенке всеми n молекулами: $\Delta P = (m \Delta t / l) (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2)$. В данном выражении находится сумма квадратов скоростей. Статистическое усреднение будет заключаться в том, что мы введем новую среднюю величину – средне-квадратичную скорость – по формуле $v_{\text{кв}}^2 = (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2) / n$. Следует заметить, что $v_{\text{кв}}$ приблизительно на 10% больше, чем средняя скорость молекулы, которая определяется по формуле:

$v_{\text{ср}} = (v_1 + v_2 + \dots + v_n)/n$. Используя выражение для $v_{\text{кв}}^2$, получим $\Delta P = m v_{\text{кв}}^2 \Delta t n / l$. По второму закону Ньютона на стенку будет действовать сила $F = \Delta P / \Delta t = m v_{\text{кв}}^2 n / l$. Давление газа на стенку найдем по формуле $p = F / S = F / l^2$ или $p = m v_{\text{кв}}^2 n / l^3$. Используя формулу (1.8), получим окончательно:

$$p = \frac{1}{3} n_0 m v_{\text{кв}}^2 = \frac{2}{3} n_0 (m v_{\text{кв}}^2 / 2). \quad (1.9)$$

Мы получили **основное уравнение кинетической теории газов**, которое связывает макроскопический параметр – давление газа – с микроскопическими параметрами молекул. Величина $n_0 (m v_{\text{кв}}^2 / 2)$ есть кинетическая энергия молекул, заключенная в единице объема. Отсюда можно сказать, что *давление есть мера плотности кинетической энергии молекул*.

Сравнивая формулы (1.9) и (1.7), получим выражение для средней кинетической энергии молекулы:

$$m v_{\text{кв}}^2 / 2 = (3/2) k T. \quad (1.10)$$

Итак, мы пришли к важному выводу: кинетическая энергия молекул зависит только от абсолютной температуры. Отсюда следует **физический смысл температуры**: *абсолютная температура есть мера средней энергии поступательного движения молекул*. Из формулы (1.10) можно найти среднеквадратичную скорость движения молекул: $v_{\text{кв}}^2 = 3 k T / m = 3 R T / \mu$. Для кислорода при комнатной температуре $v_{\text{кв}} \approx 480$ м/с и сравнима со скоростью пули.