

Закон Максвелла о распределении молекул идеального газа по скоростям и энергиям теплового движения

Молекулы газа совершают хаотическое движение. В результате многократных соударений скорость каждой молекулы изменяется как по модулю, так и по направлению. Однако из-за хаотического движения молекул все направления движения молекул являются равновероятными, т.е. в любом направлении в среднем движется одинаковое число молекул. Дж. Максвелл теоретически вывел статистический закон, согласно которому в газе, находящемся в состоянии равновесия, устанавливается некоторое стационарное, не меняющееся со временем распределение молекул по скоростям.

Закон Максвелла описывается некоторой функцией $f(v)$, называемой функцией распределения молекул по скоростям. Если разбить диапазон скоростей молекул на малые интервалы, равные d , то на каждый интервал скорости будет приходиться некоторое число молекул $dN(v)$, имеющих скорость, заключенную в этом интервале. Функция $f(v)$ определяет относительное число молекул, скорости которых лежат в интервале от v до $v+d$, т.е.

,
откуда

Применяя методы теории вероятностей, Максвелл нашел функцию $f(v)$ - закон распределения молекул идеального газа по скоростям:

Число молекул, скорости которых заключены в пределах от v до $v+d$,

Рисунок 5 - График функции распределения молекул по скоростям

Относительное число молекул, скорости которых лежат в интервале от v до $v+d$, находится как площадь заштрихованной полосы на рис.5.

Скорость, при которой функция распределения молекул идеального газа по скоростям максимальна, называется наиболее вероятной скоростью:

или v_{max} , (12)

где m -- масса одной молекулы, M -- молярная масса.

При повышении температуры максимум функции распределения сместится вправо (значение наиболее вероятной скорости становится больше) (см.рис.6). Однако площадь, ограниченная кривой остается неизменной, поэтому при повышении температуры кривая распределения молекул по скоростям будет растягиваться и понижаться.

Средняя скорость молекулы (средняя арифметическая скорость) определяется по формуле:

или

Рисунок 6 - Изменение кривой распределения молекул по скоростям с повышением температуры

Исходя из распределения молекул по скоростям можно найти распределение молекул по значениям кинетической энергии. Т.к. кинетическая энергия:

,

то, выразив отсюда скорость, и подставив ее в (10), получим:

Выражение (14) - функция распределения молекул по энергиям теплового движения.

Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа:

(15)

Барометрическая формула. Распределение Больцмана

Барометрическая формула (16) позволяет найти атмосферное давление в зависимости от высоты или, измерив давление, найти высоту.

(16)

где p -- давление газа; m -- масса частицы; M -- молярная масса; h -- координата (высота) точки по отношению к уровню, принятому за нулевой; p_0 -- давление на этом уровне; g -- ускорение свободного падения; R -- молярная газовая постоянная.

Из (16) следует, что давление с высотой убывает тем быстрее, чем тяжелее газ.

Подставив выражение (3) в (16), получим распределение Больцмана:

(17)

где ϵ -- потенциальная энергия молекулы в поле тяготения, т.е.

(18)

где n -- концентрация частиц; ϵ -- их потенциальная энергия; n_0 -- концентрация частиц в точках поля, где $\epsilon = 0$; k -- постоянная Больцмана; T -- термодинамическая температура.

Из распределения Больцмана следует, что при постоянной температуре плотность газа больше там, где меньше потенциальная энергия его молекул. Если частицы имеют одинаковую массу и находятся в состоянии хаотического теплового движения, то распределение Больцмана (18) справедливо в любом внешнем потенциальном поле, а не только в поле сил тяжести.

Среднее число столкновений и средняя длина свободного пробега молекул максвелл температура больцман молекул

Молекулы газа, совершая хаотическое движение, непрерывно сталкиваются друг с другом.

Длина свободного пути - это путь, который проходят молекулы между двумя последовательными столкновениями. В общем случае длина пути между последовательными столкновениями различна, но так как движущихся молекул огромное количество, можно говорить о средней длине свободного пробега молекул:

(19)

где λ -- средняя длина свободного пробега молекул, \bar{v} -- средняя арифметическая скорость молекул, \bar{Z} -- среднее число соударений, испытываемых одной молекулой газа

за 1с.

Эффективный диаметр молекулы - минимальное расстояние, на которое сближаются при столкновении центры двух молекул (см.рис.7). Он зависит от скорости сталкивающихся молекул, т.е. от температуры газа.Рисунок 7 -

Эффективный диаметр молекулы

Среднее число соударений, испытываемых одной молекулой газа в единицу времени:

, (20)

где -- эффективный диаметр молекулы; -- концентрация молекул; -- средняя арифметическая скорость молекул.

Средняя длина свободного пробега молекул газа:

....