

Выражение, связывающее давление, объем и абсолютную температуру вещества, находящегося в равновесии, называется *уравнением состояния* этого вещества. Поэтому уравнения (91) — (93) являются различными формами уравнения состояния идеального газа. Это уравнение состояния, полученное нами теоретически, дает возможность делать некоторые важные выводы:

1. Если некоторое количество газа, достаточно разреженного, чтобы считаться идеальным, находится при постоянной температуре, то, как следует из (91),

$$pV = \text{const.}$$

т. е. давление газа обратно пропорционально его объему. Этот результат был получен экспериментально Бойлем в 1662 г. (задолго до возникновения атомной теории) и носит название *закона Бойля — Мариотта*.

2. Если данное количество идеального газа занимает постоянный объем, то среднее давление газа пропорционально абсолютной температуре. Этот результат, как будет показано в следующей главе, можно использовать в качестве метода измерения абсолютной температуры.

3. Уравнение состояния (91) зависит только от числа молекул, но не от их природы. Поэтому уравнение состояния будет одним и тем же для любого газа (например, He, H₂, N₂, O₂, CH₄ и т. д.), если только газ достаточно разрежен, чтобы его можно было считать идеальным. Этот вывод хорошо подтвержден на опыте.

Сводка определений

Абсолютная температура. Абсолютная температура T макроскопической системы [или параметр $\beta = (kT)^{-1}$] определяется так:

$$\frac{1}{kT} = \beta = \frac{\partial \ln \Omega}{\partial E}.$$

Здесь $\Omega(E)$ — число доступных состояний системы в малом интервале энергий от E до $E + \delta E$, k — постоянный множитель, называемый *постоянной Больцмана*.

Энтропия. Энтропия S системы следующим образом выражается через число доступных состояний:

$$S = k \ln \Omega.$$

Энтропия является логарифмической мерой степени неупорядоченности системы.

Термометр. Относительно небольшая макроскопическая система,строенная таким образом, что приобретение или потеря тепла вызывает изменение одного из ее макроскопических параметров.

Термометрический параметр. Изменяющийся макроскопический параметр термометра.

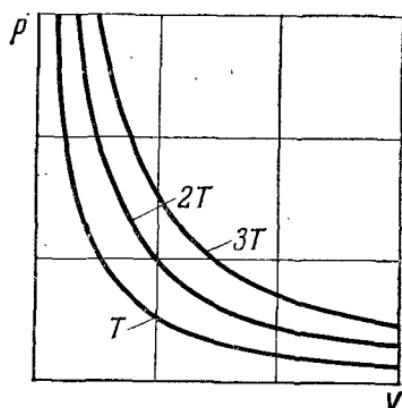


Рис. 4.13. Зависимость среднего давления p идеального газа от объема при абсолютных температурах T , $2T$ и $3T$.

Температура системы по отношению к данному термометру. Значение температурного параметра термометра, когда последний находится в тепловом равновесии с системой.

Тепловой резервуар. Макроскопическая система, которая настолько велика по сравнению с другими рассматриваемыми системами, что ее температура не меняется заметным образом при взаимодействии с этими системами.

Множитель Больцмана. Множитель $e^{-\beta E}$, где $\beta = (kT)^{-1}$, а E обозначает энергию.

Каноническое распределение. Распределение вероятности, согласно которому вероятность P_r найти систему в состоянии с энергией E_r , выражается соотношением

$$P_r \propto e^{-\beta E_r},$$

где $\beta = (kT)^{-1}$ является абсолютным температурным параметром теплового резервуара, с которым система находится в равновесии.

Идеальный газ. Газ, в котором энергия взаимодействия между молекулами почти пренебрежимо мала по сравнению с их кинетической энергией.

Невырожденный газ. Газ, достаточно разреженный для того, чтобы среднее расстояние между молекулами было велико по сравнению со средней дебройлевской длиной волны молекул.

Уравнение состояния. Уравнение, связывающее объем, среднее давление и абсолютную температуру данной макроскопической системы.

Основные формулы

Определение абсолютной температуры:

$$\frac{1}{kT} \equiv \beta \equiv -\frac{\partial \ln \Omega}{\partial E}. \quad (I)$$

Определение энтропии:

$$S \equiv k \ln \Omega. \quad (II)$$

Возрастание энтропии системы, которая, находясь при абсолютной температуре T , поглощает небольшое количество тепла dQ :

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (III)$$

Каноническое распределение для систем, находящихся в тепловом равновесии с тепловым резервуаром при абсолютной температуре T :

$$P_r \propto e^{-\beta E_r}. \quad (IV)$$

Уравнение состояния идеального невырожденного газа:

$$\bar{p} = nkT. \quad (V)$$

Задачи

4.1. *Водяной термометр.* Плотность спирта, подобно плотности большинства веществ, уменьшается с увеличением абсолютной температуры. Вода ведет себя иначе: когда абсолютная температура становится больше температуры плавления (т. е. температуры перехода льда в воду), плотность воды вначале возрастает, проходит через максимум и затем уменьшается.

Предположим, что стеклянная трубочка обычного термометра вместо окрашенного спирта наполнена окрашенной водой, и как обычно, температура, показываемая таким термометром, определяется длиной столбика жидкости. Пусть такой термометр, находящийся в контакте с одной из двух систем, A или B , показывает температуру θ_A или θ_B соответственно.

а) Допустим, что температура θ_A системы A больше (выше) температуры θ_B системы B . Следует ли из этого, что тепло обязательно будет течь от системы A к системе B , если обе системы окажутся в тепловом контакте?

б) Предположим, что температура θ_A и θ_B обеих систем оказались равными. Следует ли из этого, что после осуществления теплового контакта между этими системами не будет проходить потока тепла?