

2.4 МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ТЕПЛОЕМКОСТЕЙ

Теплоемкостью тела C , называют физическую величину, численно равную количеству теплоты, которое необходимо сообщить телу для нагревания его на один градус. Если сообщить телу количество теплоты dQ , то температура тела повысится на dT градусов и его теплоемкость определится по формуле:

$$C = dQ/dT. \quad (2.8)$$

Размерность теплоемкости равна $[C] = \text{Дж/К}$.

Теплоемкость моля вещества называется молярной и обозначается символом C_μ . Теплоемкость единицы массы называется удельной и обозначается $c_{\text{уд}}$ или c , причем легко видеть, что $C_\mu = \mu c_{\text{уд}}$. Теплоемкость произвольной массы m равна $C = m c_{\text{уд}}$. Отсюда следует, что достаточно знать теплоемкость одного моля, чтобы рассчитать теплоемкость тела произвольной массы.

Согласно первому началу термодинамики $dQ = dU + dA$. Отсюда следует, что количество теплоты dQ , сообщенное телу при повышении его температуры на dT , будет затрачено не только на изменение его внутренней энергии dU , но и на работу dA , которую газ при этом совершит. Так как процесс расширения газа на диаграмме $p - V$ можно провести бесчисленным количеством способов, то теплоемкость газа может иметь такое же число значений. Для практических целей наиболее важными являются теплоемкость при постоянном давлении C_p и постоянном объеме C_V .

Рассчитаем **теплоемкость** одного моля газа **при постоянном объеме** C_V . Первое начало термодинамики для изохорного процесса имеет вид $dQ = dU_\mu$. Выражение (2.8) запишем в виде

$$C_V = dU_\mu/dT. \quad (2.9)$$

Учитывая выражение (2.2), получим

$$C_V = i R/2, \quad (2.10)$$

где i – число степеней свободы движения молекул газа, R – универсальная газовая постоянная. Из выражения (2.10) следует, что теплоемкость C_V моля произвольного газа является постоянной величиной и зависит лишь от числа степеней свободы движения молекул. Следует однако заметить, что выражение (2.10) для воздуха не является справедливым для низких и высоких температур (рисунок 2.4). При высоких температурах у молекул возбуждается колебательное движение и часть энергии теплового движения передается колебаниям атомов в молекуле. Число колебательных степеней свободы движения равно 2.

При низких температурах, наоборот, наблюдается “замораживание” вращательных степеней свободы движения, объясняемое квантовой механикой. Поэтому зависимость теплоемкости от температуры имеет сложный вид.

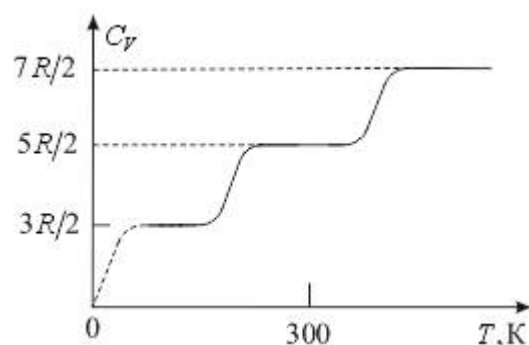


Рисунок 2.4

Рассмотрим **теплоемкость при постоянном давлении** для одного моля газа. Согласно первому началу термодинамики

$$C_p = dQ/dT = dU_\mu/dT + dA_\mu/dT, \quad (2.11)$$

где $dA_\mu = p dV_\mu$ – работа одного моля газа при изменении его объема на dV_μ , p – давление газа. Учитывая, что уравнение состояния идеального газа для одного моля имеет вид $pV_\mu = RT$, получим $dA_\mu = R dT$. Если численно положить $dT = 1$, то $dA_\mu = R$. Отсюда следует, что *универсальная газовая постоянная численно равна работе изобарического расширения газа при его нагревании на один градус*. С помощью формулы (2.9) и выражения для dA_μ представим равенство (2.11) в виде

$$C_p = C_V + R. \quad (2.12)$$

Выражение (2.12) называется **уравнением Майера** (в честь

выдающегося немецкого ученого Юлиуса Роберта фон Майера) и показывает что теплоемкость моля газа нагреваемого при постоянном давлении всегда больше теплоемкости при постоянном объеме на величину универсальной газовой постоянной.

Величина $\gamma = C_p / C_V$ представляет характерную для каждого газа величину, часто применяющуюся при расчетах. Используя уравнения (2.10) и (2.12), получим

$$\gamma = (i + 2) / i. \quad (2.13)$$

Отсюда для газа состоящего из одноатомных молекул ($i = 3$) получим $\gamma = 1,67$; для двухатомного газа ($i = 5$) – $\gamma = 1,4$; для многоатомного газа ($i = 6$) – $\gamma = 1,33$.