

Термодинамика

Теплоёмкость идеального газа

Теплоёмкость идеального газа

Удельная теплоёмкость c - это физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить единице массы этого вещества, чтобы нагреть его на один градус.

Молярная теплопроводность C - это физическая величина, равная количеству теплоты, которое необходимо сообщить одному молю вещества, чтобы нагреть его на один градус.

$$C = \mu c$$

$$\Delta Q = cm\Delta t$$

$\Delta t = t_2 - t_1$ разность температур по шкале Цельсия

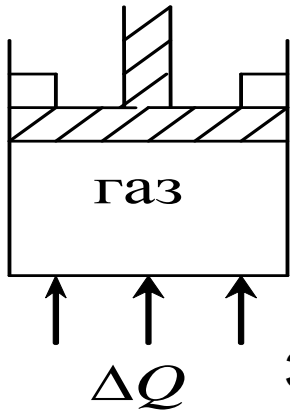
$$\Delta t = \Delta T$$

$\Delta T = T_2 - T_1$ разностью температур по шкале Кельвина

$$\Delta Q = \frac{m}{\mu} C \Delta T$$

Теплоёмкость идеального газа

Молярная теплоёмкость идеального газа C_V ($V = const$)



$\Delta A = 0$ при изохорическом процессе

Запишем первое начало термодинамики:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A \quad \overset{0}{\nearrow} \quad \Delta Q = \Delta U$$

$$\Delta Q = \frac{m}{\mu} C_V \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

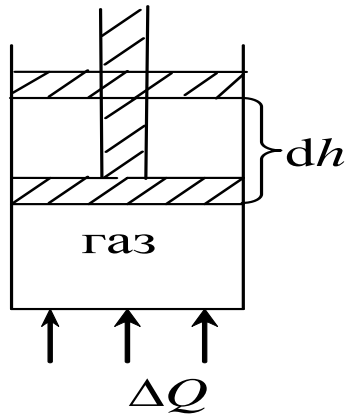
~~$$\frac{m}{\mu} C_V \Delta T = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$~~

$$C_V = \frac{i}{2} R$$

$$c_V = \frac{C_V}{\mu} \quad c_V = \frac{i}{2} \frac{R}{\mu}$$

Теплоёмкость идеального газа

Молярная теплоёмкость идеального газа C_P ($P = const$)



$$A = P(V_2 - V_1)$$

Найдём V_1 и V_2 из уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$PV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$$

$$P(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

$$PV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$$

$$A = \frac{m}{\mu} R\Delta T$$

Теплоёмкость идеального газа

Согласно первому началу термодинамики:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$$

где

$$\Delta Q = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

$$\Delta A = \frac{m}{\mu} R \Delta T$$

$$\frac{m}{\mu} C_p \Delta T = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T + \frac{m}{\mu} R \Delta T$$

$$C_p = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R$$

$$C_v = \frac{i}{2} R$$

$$C_p = C_v + R$$

соотношение Майера

$$C_p - C_v = R$$

для одного моля газа

соотношение Майера

$$c_p - c_v = \frac{R}{\mu}$$

для удельных теплоёмкостей

Теплоёмкость идеального газа

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{c_p}{c_v}$$

γ - коэффициент Пуассона

$$\gamma = \frac{i+2}{i}$$

Для атомарного газа $i = 3$

$$\gamma = \frac{3+2}{3} = 1.67$$

для двухатомного газа $i = 5$

$$\gamma = \frac{5+2}{5} = 1.40$$

для трехатомного газа $i = 6$

$$\gamma = \frac{6+2}{6} = 1.33$$

Теплоёмкость идеального газа

Выводы:

1. Молярная теплоемкость газа определяется только числом степеней свободы его молекул и значением универсальной газовой постоянной R .
2. Газы, молекулы которых построены из одинакового числа атомов, должны иметь одинаковые молярные теплоемкости.
Например, молекулы газов O_2 , N_2 , H_2 имеют число степеней свободы $i = 5$, следовательно, C_p и C_v для них одинаковы.
3. Молярные теплоемкости C_p и C_v не зависят от температуры.

Теплоёмкость идеального газа

Понятие о квантовой теории теплоемкости

Классическая теория теплоемкости согласуется с опытными данными только при средних температурах.

для двухатомного газа водорода H_2



Экспериментальная зависимость

по классической теории

$$C_v = \frac{5}{2} R$$

Понятие о квантовой теории теплоемкости

В классической физике считается, что энергия может меняться непрерывно.

В квантовой механике многие физические величины, в том числе энергия, могут принимать только дискретный ряд значений.

В классической теории теплоемкости считается, что все степени свободы равноценны и на каждую степень свободы приходится одна и та же энергия, равная

$$E = \frac{1}{2} kT$$

В квантовой механике степени свободы не равноценны.

Понятие о квантовой теории теплоемкости

При низких температурах молекулы не могут иметь вращательные степени свободы и молекулы газа могут двигаться только поступательно.

Молекулярная теплоемкость газа при постоянном объеме $C_v = \frac{3}{2} R$

При высоких температурах величина kT велика.

Атомы совершают колебания около своих положений равновесия.



Молярная теплоемкость двухатомного газа при постоянном объеме

$$C_v = \frac{6}{2} R$$

колебательное движение

Понятие о квантовой теории теплоемкости

При дальнейшем повышении температуры колебания атомов в молекуле становятся настолько интенсивными, что молекулы диссоциируют, т.е. распадаются на составляющие их атомы.

При средних температурах величина kT **достаточно велика**, чтобы возбудить вращение молекулы, и в то же время **достаточно мала**, чтобы расшатать связи между атомами в молекуле.

Молярная теплоемкость двухатомного газа при постоянном объеме

$$C_v = \frac{5}{2} R$$

При средних температурах **классическая** и **квантовая теории** теплоемкости дают одинаковые результаты.