Билет 5

1 Явление переноса в газах. Диффузия в газах

Явлениями переноса называются необратимые процессы в термодинамически неравновесных системах в которых происходит пространственный перенос энергии (теплопроводность), массы (диффузия), импульса (внутреннее трение). Длина свободного пробега молекул $\lambda = \frac{\langle v \rangle}{D}$

$D = \Delta N$, D - число столкновений

Явление диффузии заключается в том, что происходит самопроизвольное проникновение и перемешивание частиц двух соприкасающихся газов, жидкостей и даже твёрдых тел; диффузия сводится к обмену частицами (перенос масс) между этими телами

Перенос массы (диффузия) для химически однородного газа подчиняется закону Фика:

$$j_m = -D\frac{\partial \rho}{\partial x}$$

где j_m - плотность потока массы - масса вещества, диффундирующего в единицу времени через единичную площадку, перпендикулярную оси x.

D - коэффициент диффузии $D = \frac{1}{3}\langle v \rangle \lambda$

$\frac{\partial \rho}{\partial x}$ - градиент плотности, равный скорости изменения плотности на единицу длины x в направлении нормали к этой площадке

2. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Теплоёмкость при адиабатическом процессе.

Адиабатический (адиабатный) процесс — это процесс, происходящий без теплообмена с окружающей средой $Q = 0$. Теплоёмкость адиабатического процесса равна нулю. Первое начало термодинамики для адиабатического процесса: $0 = \Delta U + A$ или $-\Delta U = A$ — газ совершает положительную работу за счёт уменьшения внутренней энергии.

$$\delta Q = dU + p\,dV = 0$$

$$dU = \nu C_V dT$$

$$\frac{d(pV)}{\gamma - 1} + p\,dV = 0$$

$$p\,dV + V\,dp + (\gamma - 1)\,p\,dV = 0$$

$$p\,dV + V\,dp + \gamma p\,dV - p\,dV = 0$$

$$\frac{dp}{p} + \gamma \frac{dV}{V} = 0$$

$$d[\ln(pV^\gamma)] = 0$$

$$\ln(pV^\gamma) = const$$

$$\boxed{pV^\gamma = const}$$ — уравнение Пуассона

$$TV^{\gamma-1} = const \qquad p^{1-\gamma}T^\gamma = const$$

Показатель адиабаты:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$$

$$\gamma = 1 + \frac{R}{C_V} \Rightarrow C_V = \frac{R}{\gamma - 1}$$

$$U = \nu C_V T = \frac{\nu RT}{\gamma - 1} = pV$$

Для идеального газа

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

одноатомный газ $\gamma = \frac{5}{3}$

двухатомный газ $\gamma = \frac{7}{5}$

многоатомный газ $\gamma = \frac{4}{3}$

* Работа газа $A = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}$

3. Кислороду массой $m = 12$ г было передано количество теплоты $Q = 68$ кДж. При этом его температура изменилась на $\Delta t = 100\,°C$. Найти изменение внутренней энергии газа и совершённую им работу.

Дано:

$m = 12\,г = 0{,}012\,кг$

$Q = 68\,кДж = 68\,000\,Дж$

$\Delta t = 100\,°C = 100\,K = \Delta T$

$\Delta U - ?$ $A - ?$

$M = 16 + 16 = 32\,\frac{г}{моль} = 0{,}032\,\frac{кг}{моль}$

Решение:

Согласно I закону термодинамики

$Q = \Delta U + A$

т.к. O_2 – двухатомный газ, то $\Delta U = \frac{5}{2}\nu R \Delta T$

$$\Delta U = \frac{5}{2}\frac{m}{M}R\Delta T = \frac{5}{2}\frac{0{,}012}{0{,}032}\cdot 8{,}31\cdot 100 \approx 779{,}1\,Дж$$

$$A = Q - \Delta U = 68000 - 779{,}1 = 67.220{,}9\,Дж$$

Ответ: $\Delta U = 779{,}1$ Дж, $A = 67.220{,}9$ Дж.

4. Доказать, что силы натяжения нитей при подъёме маятника Максвелла равны силам натяжения нитей при его спуске

Под воздействием силы $F_н$ натяжения нити, намотанной на вал, диск совершает вращательное движение, тем самым возникает вращательный момент сил: $\bar{M} = [\bar{r}, \bar{F_н}]$ и $\sin\alpha = 1$, т.е.

$r F_н = I\varepsilon$, где I – момент инерции маятника, ε – угловое ускорение

$$r F_н = I\frac{a}{r}$$

$$F_н = I\frac{a}{r^2} \Rightarrow a = \frac{F_н r^2}{I}$$

По второму закону Ньютона: $m\bar{g} + \bar{F_н} = m\bar{a}$

$$mg - F_н = \frac{mF_н r^2}{I}$$

$$mg - \frac{F_н I}{I} - \frac{mF_н r^2}{I} = 0$$

$$mg - F_н\left(\frac{I + mr^2}{I}\right) = 0$$

$$F_н = \frac{mg}{1 + \frac{mr^2}{I}}$$ => сила натяжения нити постоянна