

Лекция 1.11

- Уравнение состояния термодинамической системы
- Уравнение Клапейрона - Менделеева, Идеально-газовое уравнение
- Основное уравнение молекулярно-кинетической теории
- Равномерное распределение энергии по степеням свободы молекулы. Внутренняя энергия идеального газа. Экспериментальные данные и средняя длина пробега молекул газа. Экспериментальные подтверждения молекулярно-кинетической теории.

Параметры состояния термодинамической системы: давление, температура, кол-во вещества $F(p, V, T) = 0$

- Уравнение Менделеева - Клапейрона: $pV = \nu RT$
 p - давление [Па]; V - занимаемый объем [м³]
 $R = 8,31 \left[\frac{\text{Дж} \cdot \text{К}}{\text{моль}} \right]$ универсальная газовая постоянная
 T - температура [К]

- Моль вещества - кол-во вещ-ва, содержащее число или молекул - число Авогадро ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ - кол-во атомов в 12 г углерода ^{12C})

m_0 - масса 1 молекулы (атома)

N - кол-во молекул

$m = N m_0$ - масса газа

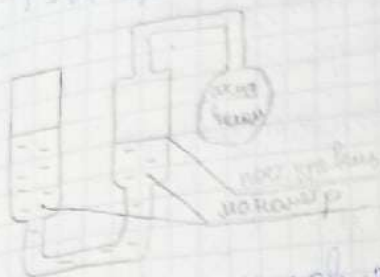
$\mu = N_A m_0$ - молярная масса вещ-ва

$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{N m_0}{N_A m_0} = \frac{m}{\mu}$ - кол-во молей вещ-ва

Газ идеальный, если его параметры удовл. зр-е иде. газа

Идеальный газовый термометр

$$T = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15 \text{ K}$$



Нормальные условия сжатия газа — состояние, при котором давление = нормальная атмосферная ($p_0 = 101325 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па}$) и температура $T = 273,15 \text{ K}$

$$T = \frac{pV}{p_0 V_0} \approx 273,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - \text{объем 1-го моля газа}$$

Основы МКТ

Молекулярно-кинетическая теория рассматривает газы с точки зрения их молекулярного строения. Молекулы постоянно движутся, сталкиваясь и обмениваясь импульсом и энергией друг с другом.

Давление газа

$n = \frac{N}{V}$ — концентрация молекул газа

T — температура газа

u — средняя скорость поступательного движения молекул

Давление газа стенки: $p = \frac{F}{S} = \frac{1}{3} n m_0 u^2 = \frac{2}{3} n W_k$

$W_k = \frac{m_0 u^2}{2}$ — кинетическая энергия мат. точки

$p = \frac{2}{3} n W_k$ — основное уравнение МКТ

Закон равномерного распределения

энергии по степеням свободы

Количество степеней свободы i — минимальное количество координат, которые надо задать для однозначного положения тела.

Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы:

Средняя кинетическая энергия, приходящаяся на 1 степень свободы при тепловом движении: $W_1 = \frac{1}{2} kT$

$k = \frac{R}{N_A} \approx 1,38 \cdot 10^{-23}$ - постоянная Больцмана

• Средняя кинетическая энергия 1 молекулы: $W_k = i W_1 = \frac{i}{2} kT$

• Колебательные степени свободы - степени свободы, связанные с собственными колебаниями тела.

Но 1 колеб. свобода прилагается энергия kT

$$\langle W_k^{пер} \rangle = \frac{3}{2} kT \quad - \text{средняя кинет. энергия перем. движ. молекулы}$$

$$\langle W_k^{вращ} \rangle = \frac{i-3}{2} kT \quad - \text{средняя кинет. энергия вращ. движ. молекулы}$$

Идеальный газ состоит из мат. точек, не взаимодейств. друг с другом на расстоянии

$$\langle W_k^{пер} \rangle = \frac{3}{2} kT = \frac{m_0 \langle V^2 \rangle}{2} \quad \text{или} \quad \langle V^2 \rangle = \frac{3kT}{m_0}$$

$$V_{ср} = \sqrt{\langle V^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad - \text{средн. квадр. скорость}$$

Внутр. энергия:

$$U = \sum_N W_k = N W_k = \nu N_A \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} \nu RT$$

Закон Дальтона

• Парциальное давление газа - давление, которое он имел бы в отсутствие других газов при тех же объеме и темп.

Закон Дальтона: давление газовой смеси = сумме парциальных давлений газов смеси.

$$p = nkT = (n_1 + n_2 + n_3)kT = p_1 + p_2 + p_3$$

Длина свободного пробега молекул (λ)

- среднее расстояние, которое проходит молекула между столкновениями с другими молекулами

$$V_0 = k\pi d^2 \cdot n \cdot \lambda$$

$$V = N V_0 \quad N_{\text{кол. молекул}}$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{1}{V_0} = \frac{1}{k\pi d^2 \lambda}$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi d^2 n}$$

$\langle V \rangle$ - средняя скорость молекул

$$\Delta t = \frac{l}{\langle V \rangle} = \frac{\lambda}{\langle V \rangle} \Rightarrow \lambda = \frac{\langle V \rangle}{V_0} l$$

$$\lambda = \frac{1}{\pi d^2 n}$$

$\sigma = \pi d^2$ - эффективное сечение взаимодействия молекул

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \sigma n}$$

Средняя скорость столкновений молекул газа: $V = \frac{\langle V \rangle}{\lambda} = \sqrt{2} n \langle V \rangle$

Ответ на контрол. вопросы

1) Уравнение состояния - ур-е, связ. основные параметры термодинамической системы

Объем молекул пренебрежимо мал, т.е. газы газа не взаимодейств. друг с другом.

Ур-е состояния идеального газа: $pV = \nu RT$

2) Построения ИКТ. - все тело состоит из газу.

молекулы находятся в непрерывном хаотическом движении

молекулы взаимодейств. друг с другом

Температура - величина, характеризующая движение молекул. Энергия газу.

3) У одноатомного газа - 3 ст. св. ; у двух - 5 ; 3х - 6

Сред. энергия презид. на ст. св. своб. $U_k = \frac{i}{2} kT$

Визор. энергия идеального газа из 1 молекулы: $U = \frac{i}{2} R T \cdot \frac{N}{N_A}$

4) Длина свободного пробега молекулы - среднее расстояние которое пролетит молекула между 2-ими столкн. с другими молекулами.

5) $\sigma = \pi d^2$ - эффективное сечение взаимодействия в молекулу (d - диаметр молекулы)

5) Опыт Миллера:



При пропускании через плотную нить (источник молекул) электрического тока \Rightarrow нить греется и серебро испаряется и пролетает через

цель визор. цилиндра и падает на поверхность 2-го цилиндра. Вращ. цилиндров приводит к искривл. траектории. Рассеиваясь, плотность испущенных молекул, можно сделать распределение молекул по скоростям.

Опыт Миллера: При вращ. приемника достигают те молекулы, которые затрачивают для пробега между дисками время, равное (против) времени обратного диска. Меняя угловую скор. вращ. дисков и измеряя число молекул, попадающих в приемник, можно выявить закон распределения молекул по скоростям

