

Лекция №1

Уравнение состояния термодинамической системы.
Уравнение Клапейрона-Менделеева. Идеально-газовый термометр.
Основное уравнение молекулярно-кинетической теории.
Равномерное распределение энергии по степеням свободы молекулы. Внутренняя энергия идеального газа. Эффективная длина свободного пробега молекул газа.
Экспериментальные подтверждения молекулярно-кинетической теории.

значения не зависят от того, какими образом система пришла в это состояние.
Параметры состояния термодинамической системы: Давление, объем, температура, кол-во вещества $F(p, V, T) = 0$

Уравнение Менделеева-Клапейрона: $pV = \nu RT$

p - давление [Па]

V - занимаемый объем [м³]

$R = 8,31 - [\frac{\text{Дж} \cdot \text{К}}{\text{моль}}]$ универсальная газовая постоянная

T - температура [К]

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

m_0 - масса 1 молекулы (атома)

N - кол-во молекул

$m = Nm_0$ - масса газа

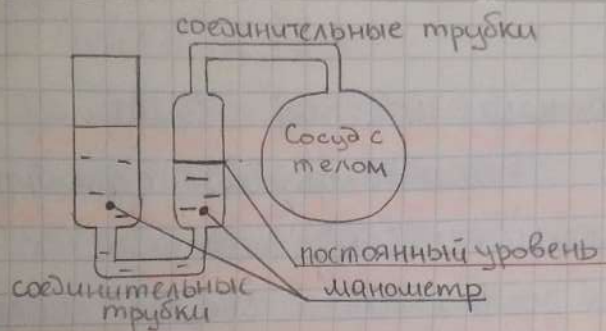
$M = N_A m_0$ - молярная масса вещества

$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{Nm_0}{N_A m_0} = \frac{m}{M}$ - кол-во молей вещества

Газ идеальный, если его параметры удовлетв. ур. Мен.-Клап.
(водород, гелий)

Идеально-газовый термометр

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



Нормальное условие состояния газа - состояние, при котором давление = нормальному атмосферному ($p_0 = 101325 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па}$) и температура $T = 273,15 \text{ К}$).

$$V = \frac{pRT}{p} \approx 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - \text{объем } 1^{\text{ого}} \text{ моля газа}$$

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

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

T - температура газа

u - средняя скорость поступ. движения молекул

$$\text{Давление газа на стенку: } p = F/S = \frac{1}{3} n \cdot m_0 \cdot u^2 = \frac{2}{3} n W_k^{\text{пост}}$$

$$W_k^{\text{пост}} = \frac{m_0 u^2}{2} - \text{кинетическая энергия матер. точки}$$

$$p = \frac{2}{3} n W_k^{\text{пост}} - \text{основное ур-е МКТ}$$

Законом равномерного распределения энергии по степеням свободы.

Количество степеней свободы i - минимальное кол-во координат, которые надо задать для однозначного положения тела

Законом равномерного распределения энергии по степеням свободы:

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

$$k = R/N_A \approx 1,38 \cdot 10^{-23} - \text{постоянная Больцмана } \left[\frac{\text{Дж}}{\text{К}} \right]$$

Полная кинетическая энергия 1 молекулы: $W_k = i \cdot W_1 = \frac{i}{2} kT$
Колебательные степени свободы - степени свободы, связанные с собственными колебаниями тела. На 1 колеб. степень свободы приходится энергия kT .

$$\langle W_k^{\text{пост}} \rangle = \frac{3}{2} kT$$

- средняя кинетическая энергия поступ. движ. молекулы

$$\langle W_k^{\text{вращ}} \rangle = \frac{i-3}{2} kT$$

- средняя кинетическая энергия вращ. движ. молекулы (вокруг центра масс)

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

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

$$V_{\text{кв}} = \sqrt{\langle V^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$$

- средняя квадратичная скорость

Внутренняя энергия:

у идеального газа отсутствует потенциальная энергия

$$U = \sum_N W_k = N W_k = \nu \cdot N_A \cdot \frac{i}{2} \cdot k \cdot T = \frac{i}{2} \nu R T$$

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

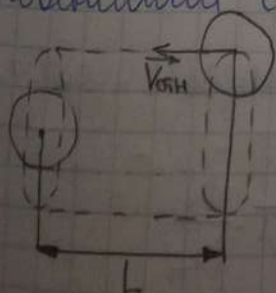
Закон Дальтона

Парциальное давление газа - давление газа, которое он имел бы в отсутствие других газов при тех же объеме и температуре.
Закон Дальтона: Давление газовой смеси = сумме парциальных давлений газов смеси

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

Длина свободного пробега молекулы.

Длина свободного пробега молекулы λ - среднее расстояние, которое пролетает молекула между 2 последовательными столкновениями с другими молекулами



$$V_0 = L \pi d^2 - \text{объем цилиндра}$$

$$V = N V_0 ; N - \text{кол-во молекул}$$

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

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

$\langle V \rangle$ - средняя скорость молекул

$$\Delta t = \frac{L}{V_{\text{ср}}} = \frac{\lambda}{\langle V \rangle} \Rightarrow \lambda = \frac{\langle V \rangle}{V_{\text{ср}}} L$$

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

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

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

Средняя частота соударений молекул газа: $\nu = \frac{\langle V \rangle}{\lambda} = \sqrt{2} \sigma n \langle V \rangle$

Ответы на вопр.:

① Уравнение состояния - ур-е, связывающее основные параметры термодинамической системы

Объем молекул пренебрежимо мал (размеры), т.е. частицы газа не взаимодейств. друг с другом.

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

② Поступление МКТ:
 • все тела состоят из частиц
 • частицы находятся в непрерывном хаотическом движении
 • частицы взаимодействуют друг с другом

Температура - величина, характеризующая приходящую на 1 степень свободы среднюю кинетич. энергию частиц

③ У одноатомного газа - 3 степени свободы; у двухатомного - 5; многоатомного - 6

Средняя энергия, приходящая на каждую степень свободы:

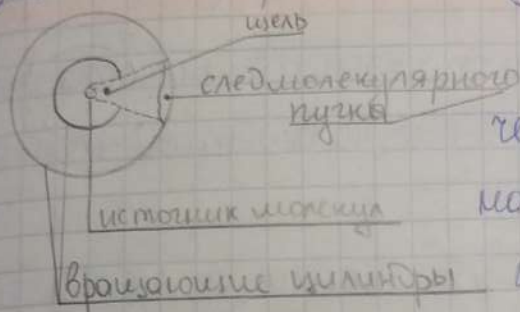
$$\epsilon_k = \frac{1}{2} kT$$

Внутр. энергия ил. газа из N молекул: $U = \frac{1}{2} RT \cdot \frac{N}{N_A}$

④ Длина свободного пробега молекулы - среднее расстояние, которое пролетает молекула между 2 последовательными столкновениями с другими молекулами.

$\sigma = \pi d^2$ - эффективное сечение взаимодействий молекул (d - диаметр молекулы)

⑤ Опыт Штерна:



При пропускании через плотную нить (источник молекул) электрического тока \Rightarrow нить греется и серебро начинает испаряться и пролетать через

щель внутр. цилиндра и оседает на поверхности 2^{ого} цилиндра - внешнего. Вращение цилиндров приводит к искривлению траектории молекул. Анализируя плотность осевших молекул, можно описать распределение молекул по скоростям.

Опыт Ламмерта: При вращении приёмника достигнут те молекулы, которые затрачивают для пролёта между дисками время, равное (кратное) времени оборота диска.

Меняя угловую скорость вращения дисков и измеряя число молекул, попадающих в приёмник, можно вывести закон распределения молекул по скоростям.

