ЗДРАВСТВУЙТЕ!

Лекция 20. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ

1. Явление переноса в газах.
2. Число столкновений и длина свободного пробега молекул в газах.

1. Явления переноса в газах

Мы знаем, что молекулы в газе движутся со скоростью пули, звука. Однако, находясь в противоположном конце комнаты, запах разлитой пахучей жидкости мы почувствуем через сравнительно большой промежуток времени. Это происходит потому, что молекулы движутся хаотически, то есть они сталкиваются и траектория у них ломаная.

Рассмотрим следующие явления:

1) Распространение молекул примеси в газе от источника называется диффузией.

Вы встретитесь с понятием диффузия (например – теплопроводность от радиатора транзистора и тому подобные). Основные причины и закономерности диффузии, теплопроводимости легче понять рассматривая явления переноса в газах.

$$N_i = -D\,\frac{dn_i}{dx}\,S \tag{20.1}$$

2) Если какое либо тело движется в газе, то оно сталкивается с молекулами газа и сообщает им импульс. С другой стороны тело тоже будет испытывать соударения со стороны молекул газа, и получать собственный импульс, но направленный в противоположную сторону. Газ ускоряется, тело тормозиться, то есть на тело действуют силы трения.

Такая же сила трения будет действовать и между двумя соседними слоями газа, движущимися с разными скоростями. Это явление носит название - внутреннее трение или вязкость газа, причём

$$F_{тр} = -\eta \frac{du}{dz} S \qquad (20.2)$$

3) Если в соседних слоях газа создана и поддерживается разность температур, то между ними будет происходить обмен тепла. Благодаря хаотическому движению, молекулы в соседних слоях будут перемешиваться, и их средние энергии будут выравниваться.

Происходит перенос энергии от более нагретых к более холодным. Этот процесс называется теплопроводностью.

$$Q = -\chi \frac{dT}{dx} S$$ – поток тепла. (20.3)

В процессе диффузии происходит перенос вещества, при внутреннем трении – перенос импульса, при теплопроводности – перенос энергии (тепла). А в основе лежит один и тот же механизм – хаотическое движение молекул. Общность механизма, обуславливающего все эти явления переноса приводит к тому, что их закономерности должны быть похожи друг на друга.

Содержание

2. Число столкновений и длина свободного пробега молекул в газах

Обозначим λ_i – длина свободного пробега молекулы; $\langle\lambda\rangle$ – средняя длина свободного пробега. Именно эта величина нас и интересует (рис. 20.1).

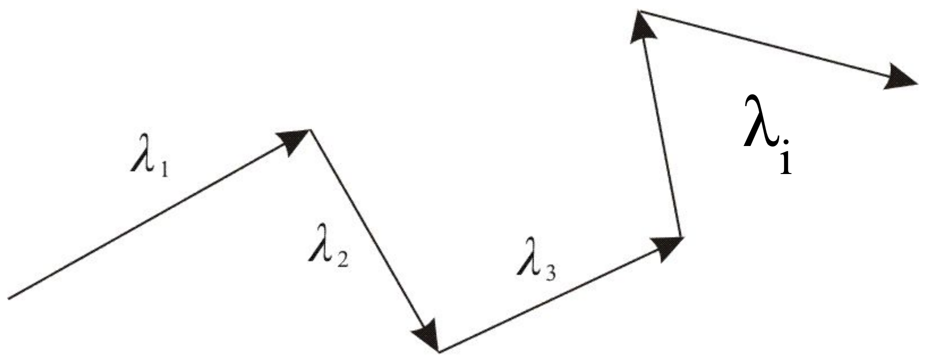


Рис. 20.1

Модель газа – под столкновением молекул подразумевают процесс взаимодействия между молекулами, в результате которого молекулы меняют направление своего движения, а не процесс подобный соударению твёрдых шариков.

Обозначим $S_{эфф.}$ – эффективное сечение молекулы (рис. 20.2).

$S_{эфф} = \pi d^2/4$ – площадь, в которую не может проникнуть центр любой другой молекулы.

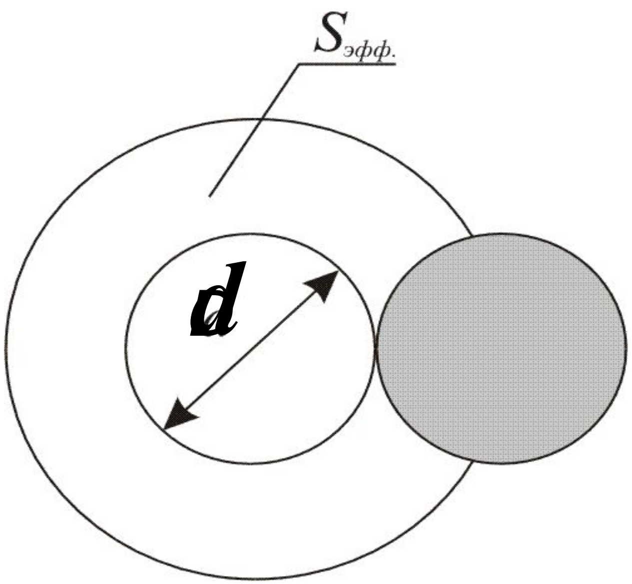


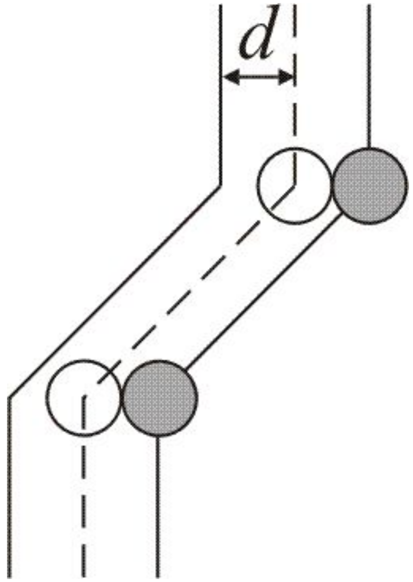
Рис. 20.2

За одну секунду молекула проходит путь, равный средней арифметической скорости $\langle v \rangle$. За одну секунду молекула претерпевает ν столкновений. Следовательно,

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\nu}. \tag{20.4}$$

Подсчитаем число столкновений ν.

Предположим, что все молекулы застыли, кроме одной. Её траектория будет представлять собой линию. Столкновения будут только с теми молекулами, центры которых лежат внутри цилиндра радиусом d (рис. 20.3).



Длина цилиндра за одну секунду равна $\langle v' \rangle$; умножив объём $\langle v' \rangle S$ на число молекул в единице объёма n, получим среднее число столкновений в одну секунду:

$$\nu = \pi d^2 \langle v' \rangle n \qquad (20.5)$$

Рис. 20.3

На самом деле все молекулы движутся (и в сторону и на встречу друг другу), поэтому число соударений определяется средней скоростью движе-ния молекул относительно друг друга.

По закону сложения случайных величин

$$\langle v' \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle + \langle v^2 \rangle} = \sqrt{2\langle v^2 \rangle} = \langle v \rangle \sqrt{2}. \qquad (20.6)$$

А так как $\langle \lambda \rangle = \dfrac{\langle v \rangle}{\nu}$, то получим $\langle \lambda \rangle = \dfrac{1}{n\pi d^2 \sqrt{2}}.$ (20.7)

Так как $p = nkT$, то есть $n = \frac{p}{kT}$,

то $\langle\lambda\rangle = \frac{kT}{pnd^2\sqrt{2}}$,(20.8) то есть $\langle\lambda\rangle \sim \frac{1}{p}$.

Здесь можно заметить, что с учётом введения нами ранее эффективного сечения молекулы $S_{\text{эфф.}}$,

$$\langle\lambda\rangle = \frac{kT}{S_{\text{эфф.}}p\sqrt{2}}. \qquad (20.9)$$

Пример: при d = 3Å = $3 \cdot 10^{-10}$ м, p =1 атм, T = 300 К, $\langle\lambda\rangle = 10^{-7}$ м, т.к. $\langle\lambda\rangle$=10^{-7} м, то число столкновений

$$\nu = \frac{10^3}{10^{-7}} = 10^{10}$$

Содержание