

Лабораторная работа № 11

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА И ЭФФЕКТИВНОГО ДИАМЕТРА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА

Цель работы: изучение молекулярно-кинетической теории газа. Ознакомление с работой установки. Вычисление средней длины свободного пробега молекул воздуха.

Приборы и принадлежности: колба с трубкой, смонтированная на штативе, секундомер, стеклянный стаканчик с делениями, весы, термометр, барометр.

Основные понятия и описание установки

Молекулярно-кинетическая теория позволила получить формулы, связывающие макроскопические параметры газа (давление, объем, температура) с его микроскопическими параметрами (размеры и масса молекулы, ее скорость, средняя длина свободного пробега). Пользуясь этими формулами, можно на основании измеренных макропараметров газа найти его микроскопические параметры. Для нахождения средней длины свободного пробега молекул газа λ используют формулу, выражающую зависимость коэффициента внутреннего трения (вязкости) η от $\bar{\lambda}$ и \bar{u} :

$$\eta = \frac{1}{3} \rho \bar{\lambda} \bar{u}, \quad (1)$$

где ρ – плотность газа, \bar{u} – средняя арифметическая скорости молекул газа.

Из уравнения Менделеева–Клапейрона следует:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{или} \quad p\mu = \frac{m}{V} RT,$$

так как

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \text{то} \quad p\mu = \rho RT,$$

откуда

$$\rho = \frac{p\mu}{RT} \quad (2)$$

и значение средней арифметической скорости

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}. \quad (3)$$

Получим:

$$\eta = \frac{1}{3} \frac{p\mu}{RT} \bar{\lambda} \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}. \quad (4)$$

В данной работе используется зависимость коэффициента вязкости η от параметров трубки, через которую проходит газ, и разности давлений ΔP , возникающей на концах трубки. Эту зависимость выражает формула Пуазейля:

$$\eta = \frac{\pi r^4}{8V\ell} \Delta p \tau. \quad (5)$$

В формулах (4), (5) $\bar{\lambda}$ – длина свободного пробега молекул, μ – молярная масса газа, R – универсальная газовая постоянная, V – объем газа, в данном случае воздуха, проходящего через трубку C длиной ℓ и радиусом r за время τ , ΔP – разность давлений на концах трубки C .

Из (4) и (5) находим среднюю длину свободного пробега молекул воздуха:

$$\bar{\lambda} = \frac{3\pi r^4 \sqrt{\pi RT}}{16\ell p \sqrt{2\mu}} \frac{\Delta p \tau}{V}. \quad (6)$$

Измерения и обработка результатов измерений

1. Наполняют баллон А примерно на три четверти водой.

1											
...											
6											
Ср.											

$$r = 1,3 \text{ мм}$$

$$\ell = 0,28 \text{ м}$$

$$\mu_{\text{воз}} = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/(моль*К)}$$

$$T_0 = 273,15 \text{ К}$$

Контрольные вопросы

1. Поясните цель выполняемой работы.
2. Что такое средняя длина свободного пробега молекул? По какой формуле она вычисляется в работе?
3. Что такое эффективный диаметр молекул? Запишите расчетную формулу для вычисления величины d .
4. Запишите и поясните формулу Пуазейля.
5. Сформулируйте закон Менделеева–Клапейрона.

Литература

1. Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. – М.: Высшая школа, 1970.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2: Молекулярная физика. – М.: Наука, 1977.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1. – М.: Наука, 1982.
4. Трафимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1990.