

Работа 2.4

Определение средней квадратичной скорости молекул воздуха

Оборудование: стеклянный шар для определения массы воздуха, резиновая трубка, винтовой зажим, весы, насос, мензурка.

Введение

Средней квадратичной скоростью молекул называют корень квадратный из среднего значения квадрата скорости: $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$. Среднее значение квадрата

скорости можно найти из выражения $\langle v^2 \rangle = \int_0^{\infty} v^2 f(v) dv$, где

$f(v) = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m}{2kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$ — функция распределения Максвелла по скоростям, m — масса молекулы, T — температура газа, v — скорость молекулы, k — постоянная Больцмана, dv — интервал скоростей, в который попадает данное значение скорости v . Проведя интегрирование, получаем: $\langle v^2 \rangle = \frac{3kT}{m}$. Откуда средняя квадратичная скорость молекул газа будет равна:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \quad \text{или} \quad \langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}}. \quad (1)$$

Помимо средней квадратичной скорости молекулы характеризуются средней арифметической и наиболее вероятной скоростями.

Средняя арифметическая скорость $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$ или $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$.

Наиболее вероятная скорость — это скорость молекул соответствующая максимуму функции распределения молекул по скоростям $v_{\text{в}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$.

Сопоставляя выражения для скоростей, видим, что $v_{\text{в}}$, $\langle v \rangle$ и $\langle v_{\text{кв}} \rangle$ одинаковым образом зависят от температуры T и массы молекулы m (молярной массы газа M), отличаясь только числовым множителем: $v_{\text{в}} : \langle v \rangle : \langle v_{\text{кв}} \rangle = 1 : 1,13 : 1,22$.

Из уравнения Клапейрона — Менделеева

$$pV = \frac{m}{M}RT$$

имеем

$$R = \frac{pVM}{mT}.$$

Подставив это значение в уравнение (1), получим:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3pV}{m}}, \quad (2)$$

где m — масса газа, P — его давление, V — объем.

Таким образом, для определения средней квадратичной скорости молекул газа достаточно знать его массу и объем, который занимает газ. Все эти величины можно определить опытным путем. Для этой цели используется стеклянный шар. Перед началом опыта он открыт и давление воздуха в шаре равно атмосферному, которое можно определить при помощи барометра. С помощью технических весов определяется масса стеклянного шара вместе с резиновой трубкой и винтовым зажимом. Затем с помощью насоса необходимо откачать из шара большую часть воздуха, повторно определить массу шара и по полученным результатам найти массу откачанного воздуха. Ту часть объема шара, который занимал воздух, можно определить, если дать возможность жидкости заполнить откачанный объем, для чего резиновую трубку опускают в сосуд с водой и ослабляют зажим. Затем при помощи мензурки определяется объем воды в шаре. Таким образом, зная объем V и массу m воздуха, а также первоначальное давление P , по формуле (2) можно определить среднюю квадратичную скорость молекул воздуха.

Описание установки приведено в работе 2.3.

Порядок выполнения работы

1. Определите по барометру атмосферное давление.
2. При помощи весов определите массу шара с воздухом, резиновой трубкой и винтовым зажимом.
3. Откачайте при помощи насоса часть воздуха из шара, перекройте резиновый шланг зажимом, и еще раз определите массу шара с резиновой трубкой и винтовым зажимом.
4. Определите массу откачанного из шара воздуха.
5. Опустите конец резиновой трубки в сосуд с водой и ослабьте винтовой зажим. Вода заполнит часть объема шара, которую занимал откачанный воздух.
6. Определите объем воды в шаре при помощи измерительного сосуда (мензурки).
7. Подставьте найденные значения P , m и V в формулу (2) и вычислите величину $\langle v_{\text{кв}} \rangle$.

8. Опыт повторите несколько раз и определите среднее значение $\langle v_{\text{кв}} \rangle$.
9. Подсчитайте погрешности измерений.
10. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

№ п/п	P , Па	V , м ³	m , кг	$\langle v_{\text{кв}} \rangle$, м/с
-------	----------	----------------------	----------	---------------------------------------



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется средней квадратичной скоростью молекул?
2. От каких параметров газа зависит средняя квадратичная скорость его молекул?
3. Дайте определение средней арифметической и наиболее вероятной скорости молекул.
4. Напишите неравенство, которое связывает между собой среднюю квадратичную, среднюю арифметическую и наиболее вероятную скорости молекул.
5. Что произойдет со средней квадратичной скоростью молекул при возрастании температуры газа?
6. Что произойдет со средней квадратичной скоростью молекул газов при возрастании молярной массы?
7. Какова примерно величина средней квадратичной скорости молекул газов при комнатных температурах?
8. Выведите рабочую формулу для экспериментального определения средней квадратичной скорости молекул?
9. Каким образом определяется объем газа, входящий в рабочую формулу для определения средней квадратичной скорости молекул?
10. Выведите формулу для расчета погрешностей конечного результата.