

Лабораторная работа №12

Оценка средней скорости теплового движения молекул газа

Цель работы: оценить среднюю скорость теплового движения молекул газа по реактивному действию газовой струи, принимая, что молекулы газа вылетают из сосуда с этой скоростью.

Оборудование: пластмассовый баллон из-под шампуня, штатив, резиновая пробка со шлангом, весы, гири, насос, манометр, линейка демонстрационная длиной 2,5 м.

Содержание и метод выполнения работы

Одно из основных свойств вещества в газообразном состоянии – это способность неограниченно расширяться и занимать любой предоставленный ему объем. Используя способность газа к неограниченному расширению, можно оценить приблизительно скорость теплового движения его молекул.

Если в сосуде, заполненном газом, имеется отверстие, то молекулы газа будут вылетать из него с теми самыми скоростями, с какими они движутся внутри сосуда. Можно считать, что скорость истечения газовой струи из сосуда в вакууме примерно равна средней скорости теплового движения молекул.

Истечение газовой струи приводит к возникновению реактивной силы. Если сосуд не связан с другими телами, то в результате истечения газа он, как ракета, движется в противоположном направлении. По закону сохранения импульса можно записать:

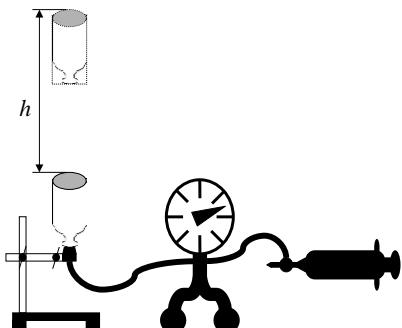
$$m\vec{v} + m_c\vec{u} = 0,$$

где m – масса газа, вышедшего из сосуда, \vec{v} – скорость истечения газовой струи, m_c – масса баллона, \vec{u} – скорость движения баллона.

Для оценки скорости v истечения газовой струи нужно измерить начальную скорость u движения сосуда-«ракеты», его массу m_c и массу m газа:

$$v = \frac{m_c u}{m}. \quad (1)$$

В качестве сосуда можно взять пластмассовую бутылку из-под шампуня. Бутылку следует насадить на резиновую пробку с отверстием с таким усилием, чтобы она слетала с пробки при избыточном давлении около 10^5 Па.



Пробку с помощью шлангов соединяют с насосом и манометром, закрепляют пробку в лапке штатива и насыпают на нее пластмассовую бутылку (см. рисунок). Накачивая воздух в бутылку, постепенно повышают давление в ней. Когда бутылка взлетает вертикально вверх, из нее выходит воздух до тех пор, пока давление оставшегося в ней воздуха не понизится до атмосферного. Массу m выходящего из «ракеты» воздуха можно найти из уравнения Клайперона – Менделеева:

$$\Delta p V = \frac{m}{M} RT, \quad (2)$$

где Δp – избыточное давление воздуха в сосуде, измеренное манометром, V – объем бутылки, M – молярная масса газа, T – его температура.

Отсюда масса m вышедшего воздуха равна:

$$m = \frac{\Delta p VM}{RT}. \quad (3)$$

Начальную скорость u «ракеты» можно найти по высоте ее подъема:

$$u = \sqrt{2gh}. \quad (4)$$

Порядок выполнения работы

1. Определите массу m_c пластмассовой бутылки, взвесив ее на весах.
2. Насадите бутылку на пробку, соединенную с манометром и насосом. Закрепите пробку в штативе таким образом, чтобы «ракета» взлетела вертикально вверх.

3. Накачивая воздух в сосуд, постепенно повышайте давление в нем. Один из наблюдателей должен зафиксировать, при каком значении избыточного давления Δp «ракета» взлетела, а второй – заметить максимальную высоту подъема «ракеты». Наблюдать высоту подъема следует отойдя на несколько метров, чтобы параллакс не влиял на точность измерения h .

4. Объём бутылки указан на самой бутылке. По известным значениям объема V и избыточного давления найдите по формуле (3) массу m вышедшего воздуха.

5. По высоте h подъема «ракеты» с помощью уравнения (4) вычислите начальную скорость u «ракеты».

6. Подставив найденные значения m_c , m и u в уравнение (1), вычислите начальную скорость v истечения струи воздуха из сосуда.

7. Повторите эксперимент 8 – 10 раз. Результаты измерений и расчетов занесите в отчетную таблицу.

№ опыта	m_c , кг	Δp , Па	m , кг	h , м	u , м/с	v , м/с

8. Оцените отклонение экспериментально измеренного значения скорости газовых молекул $v = \frac{m_c}{m} \sqrt{2gh}$ от средней квадратичной скорости v_t теплового движения. Если это отклонение не превосходит 25–30%, то оценку средней скорости теплового движения молекул можно считать удовлетворительной.

Контрольные вопросы

1. Обоснуйте примененный в работе способ оценки скорости теплового движения молекул газа.
2. Почему с увеличением начального значения давления воздуха в ракете высота ее подъема возрастает?