

Лабораторная работа № 6
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСЛА АВОГАДРО
МЕТОДОМ НАБЛЮДЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ
В ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Цель работы: освоение метода экспериментальной проверки распределения Больцмана.

Принадлежности: микроскоп, эмульсия, кювета, покровное стекло, секундомер.

Основные понятия, элементы теории и описание установки

Определение числа Авогадро N_A основано на законе распределения частиц в поле силы тяжести.

Барометрическая формула распределения давления газа по высоте в поле силы тяжести Земли имеет вид:

$$p = p_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}, \quad (1)$$

где p и p_0 – давление газа на двух разных высотах.

Пользуясь основной формулой молекулярно-кинетической теории газа, выразим давление в зависимости от числа молекул в единице объема:

$$p = nkT, \quad (2)$$

$$p_0 = n_0 kT. \quad (3)$$

Подставляя значения p и p_0 в (1), найдем

$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}, \quad (4)$$

где n_0 – концентрация частиц на нулевом уровне, n – концентрация частиц на уровне h от нулевого уровня (рис.1), T – температура по абсолютной шкале, k – постоянная Больцмана.

Больцман показал, что формула (4) применима к группе любых частиц, беспорядочно движущихся в силовом поле, если их взаимодействием можно пренебречь. Чем выше слой, тем меньше в нем частиц. Так как $k = \frac{R}{N_A}$, то формулу (4) можно представить в следующем виде:

$$n = n_0 e^{-\frac{PhN_A}{RT}}, \quad \text{или} \quad \frac{n}{n_0} = e^{-\frac{PhN_A}{RT}},$$

где $P = mg$ – вес частицы, R – универсальная газовая постоянная.

Прологарифмировав это выражение, получим:

$$\ln \frac{n}{n_0} = -\frac{PhN_A}{RT}, \quad \text{или} \quad \ln \frac{n_0}{n} = \frac{PhN_A}{RT},$$

отсюда
$$N_A = \frac{RT \ln \frac{n_0}{n}}{Ph}. \quad (5)$$

Формула (5) дает возможность рассчитывать число Авогадро N_A , предварительно определив n_0/n , P и h . Отношение концентраций частиц на разных высотах n_0/n можно принять равным отношению средних чисел

частиц, находящихся в данном слое.

В проводимой работе считают число частиц, одновременно видимых в эмульсии сквозь малое отверстие в фольге, вложенной в окуляр микроскопа.

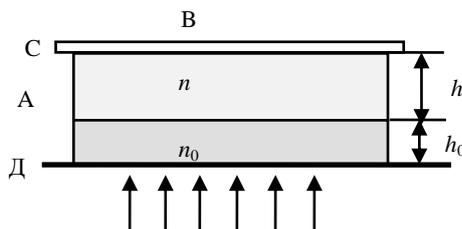


Рис. 1.

Вес частицы P , взвешенной в воде,

определяется следующим образом: на частицу, кроме силы тяжести P_0 , действует еще выталкивающая сила $F_{\text{выт}}$, равная по закону Архимеда весу вытесненной жидкости:

$$F_{\text{выт}} = m_{\text{воды}}g = \rho_{\text{воды}}Vg,$$

где V – объем частицы, тогда

$$P = P_0 - F_{\text{выт}}, \quad \text{или} \quad P = (\rho - \rho_{\text{воды}})gV,$$

где $\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, ρ – плотность частицы.

Задание. Экспериментально определить число Авогадро.

Измерения и обработка результатов измерений

Наливают в кювету А приготовленную эмульсию, накрывают покровным стеклом С и помещают на столик микроскопа (рис.1).

Настраивают микроскоп В так, чтобы отчетливо были видны частицы на одном из нижних уровней h_0 .

Отсчитывают число частиц n_0 , одновременно появляющихся в поле зрения микроскопа через каждые 10 секунд. Произвести 30 отсчетов.

Пользуясь микрометрическим винтом, поднимают тубус микроскопа на некоторую высоту h и производят снова 30 отсчетов частиц n . При определении h необходимо учитывать, что перемещение тубуса h , отсчитанное по микрометрическому винту, соответствует кажущемуся расстоянию между слоями. Для определения истинного значения h нужно учесть показатель преломления среды $h = n_c h$.

Подставляя в формулу (5) значения h и P , получим:

$$N_A = \frac{RT \ln \frac{n_0}{n}}{(\rho - \rho_{\text{воды}})gh'n_c}. \quad (6)$$

Подсчитываем N_A – число Авогадро по формуле (6). Все полученные из опыта и вычислением результаты записывают в таблицу.

$$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$$

$$V =$$

$$T = 273 + t$$

$$n_c =$$

$$\rho = \rho_{\text{воды}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

№ ОПЫ та	n_0	$h',$ м	n	$N_A,$ МОЛЬ ⁻¹	$\Delta N_A,$ МОЛЬ ⁻¹	$\frac{\Delta N_A}{N_A} \cdot 100\%$
1						
...						
5						
Ср.						

Средний радиус частиц определяется при помощи микроскопа. Каплю эмульсии наносят на предметное стекло и оставляют подсохнуть на воздухе. После высыхания среды зерна эмульсии соединяются цепочками или покрывают плотно участок поля, поэтому можно подсчитать число зерен, имеющих на стороне квадрата сетки. Подсчет продлевать особенно тщательно, так как наибольшая ошибка обусловлена ошибкой при определении радиуса частицы. Величину объема частицы находят по формуле:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3.$$

В данной работе приходится измерять количество частиц на заданной площади в конкретный промежуток времени. Определить это количество сложно, так как трудно выявить броуновские частицы одного размера, подсчитать их количество.

Это количество может зависеть от индивидуальных качеств наблюдателя, и поэтому необходима статистическая обработка большого количества данных.

Чтобы уменьшить относительный стандарт отклонения, нужно увеличить число опытов: $\frac{\sigma}{n} = \sqrt{\frac{g}{p}} \cdot \frac{1}{\sqrt{n}}$ (более чем в 30 раз).

Поскольку разброс значений размера частиц достаточно большой, а в формулу вычисления числа Авогадро радиус входит в 3-ей степени, то желательно сделать выборку около 50 частиц и построить для них кривую Гаусса, по которой определить средний радиус частицы и среднее квадратичное отклонение.

Контрольные вопросы

Сформулируйте цель работы.

Дайте определение числа Авогадро.

3. Выведите расчетную формулу для нахождения числа Авогадро.

4. Как определяется объем частицы?

Запишите барометрическую формулу и поясните ее смысл.

Литература

Физический практикум. Механика и молекулярная физика /Под ред. В.И. Ивероновой. – М.: Наука, 1967.

Майсова Н.Н. Практикум по курсу общей физики. – М.: Высшая школа, 1970.