

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики, электротехники и автоматики

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ФИЗИКЕ
для студентов всех направлений подготовки

Лабораторная работа № 82

ДИФФУЗИЯ В ГАЗАХ

Казань
2014

Составитель: Фахертдинова Д.И.

УДК 539.1
ББК 23.343
А47

Методические указания к лабораторным работам по физике для студентов всех направлений подготовки. Лабораторная работа № 82. "Диффузия в газах" / Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Сост. Фахертдинова Д.И. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2014 г. – 9 с.

Данные методические указания являются составной частью методического обеспечения аудиторной и самостоятельной работы студентов всех направлений подготовки.

В работе изложены вопросы, связанные с изучением процесса диффузии в газах. Приведено описание лабораторной установки, метода экспериментального подтверждения закона диффузии и определения средней скорости теплового движения частиц.

Рис. 2, табл. 2

Рецензент

доцент кафедры МКиИС КГАСУ
к.т.н. Л.А. Исаева

УДК 539.1
ББК 23.343

- © Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2014 г.
- © Фахертдинова Д.И.

ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ГАЗАХ

Явления переноса возникают в газе, находящемся в неравновесном состоянии, т.е. когда в нем создается неоднородности температуры, плотности или скорости упорядоченного движения отдельных слоёв газа. К этим явлениям относятся диффузия, теплопроводность и внутреннее трение. Коэффициенты диффузии, теплопроводности и внутреннего трения зависят от средней длины свободного пробега молекул. Рассмотрим это понятие.

ДЛИНА СВОБОДНОГО ПРОБЕГА МОЛЕКУЛ

При тепловом движении молекулы непрерывно сталкиваются друг с другом. Между двумя последовательными соударениями молекулы движется прямолинейно и равномерно, проходя при этом некоторые расстояния λ , называемые длинами свободных пробегов. Эти расстояния различны. Вследствие этого, для характеристики теплового движения молекул в газе вводится средняя длина свободного пробега $\langle \lambda \rangle$. Для нахождения $\langle \lambda \rangle$ будем рассматривать молекулы как упругие шарики некоторого диаметра d , зависящего от химической природы газа.

1. Подсчитаем среднее число $\langle \nu \rangle$ соударений, которые испытывает молекула за 1 с. С целью упрощения расчётов предположим, что движется только рассматриваемая молекула, а остальные неподвижны. При этом она движется со средней скоростью $\langle v \rangle$. При каждом столкновении молекула изменяет направление своего движения. Поэтому её траектория имеет форму запутанной ломаной линии. Для удобства спрямим эту траекторию, как показано на рис. 1. Это не отражается на расчёте числа столкновений, поскольку форма траектории не играет здесь никакой роли.

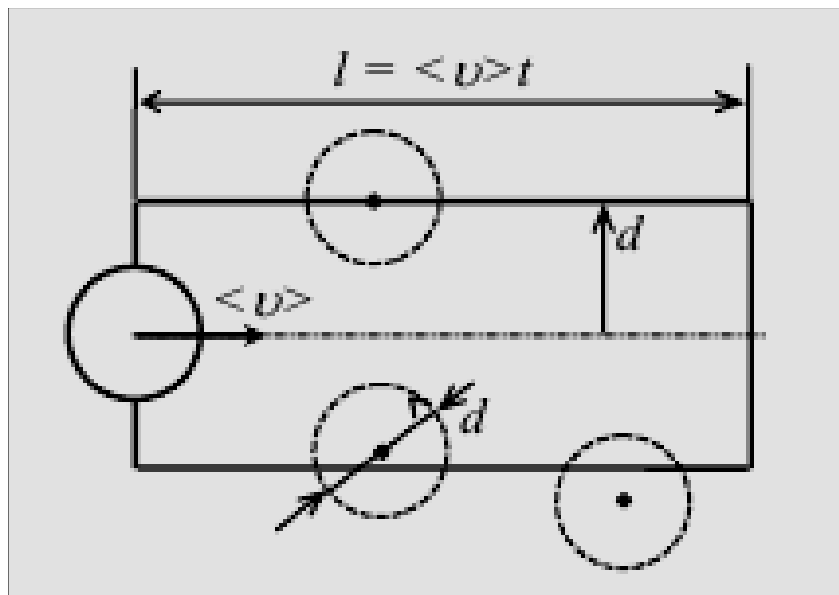


Рис.1.

Рассматриваемая молекула за время t пройдёт путь $l = \langle v \rangle t$. При этом она столкнётся со всеми молекулами, центры которых лежат в цилиндре длиной l и радиусом основания d (см. рис. 1, где показано сечение цилиндра плоскостью чертежа). Число молекул N в этом цилиндре равно: $N = nSl = n\pi d^2 \langle v \rangle t$, где n — концентрация молекул, т.е. число молекул в единице объёма, и $S = \pi d^2$ — площадь основания. За 1 с молекула испытывает в среднем $\langle v \rangle$ столкновений: $\langle v \rangle = N/t = \pi d^2 n \langle v \rangle$. В действительности же все молекулы движутся. В силу этого, число соударений определяется их средней относительной скоростью, которая, как показывают расчёты, в 2 раз больше скорости $\langle v \rangle$ относительно стенок сосуда. Поэтому среднее число столкновений за секунду будет равно $\langle v \rangle = 2 \pi d^2 n \langle v \rangle$ (1).

2. Если бы молекула двигалась без соударений, то она за одну секунду пролетела бы расстояние, численно равное её средней скорости. В действительности же она за одну секунду испытывает $\langle v \rangle$ соударений. Вследствие этого, среднее время $\langle \tau \rangle$ свободного пробега молекулы равно $\langle \tau \rangle = 1/\langle v \rangle$. Тогда средняя длина свободного пробега равна $\langle \lambda \rangle = \langle v \rangle \langle \tau \rangle = \langle v \rangle / \langle v \rangle$. С учётом (1):

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} \quad (2).$$

Известно, что $n = P/kT$, где k — постоянная Больцмана, P и T — давление и температура газа. С учётом этого, из (2) получаем, что

$$\langle \lambda \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 P} \quad (3).$$

Отсюда видно, что средняя длина свободного пробега молекул возрастает с повышением температуры и с понижением давления. При нормальных условиях средняя длина свободного пробега молекул газа — порядка 10^{-7} м, а среднее число столкновений $\sim 10^{10}$.

ДИФФУЗИЯ

Диффузией называется процесс взаимного проникновения молекул одного вещества между молекулами другого. Диффузия наблюдается в газах, в жидкостях и даже в твёрдых телах. Рассмотрим смесь двух газов, концентрации которых в разных точках сосуда различны (газы, например, только что смешали). Вследствие теплового движения, начинается процесс выравнивания концентрации. Пусть плотность одного из газов меняется в направлении оси x , причём изменение плотности на расстоянии Δx равно $\Delta \rho$. В этом случае говорят, что в газе имеется градиент плотности $\frac{\Delta \rho}{\Delta x}$.

Используя молекулярно-кинетическую теорию, можно вывести закон диффузии (закон Фика). Запишем его без вывода.

$$dM = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} S \Delta t \quad (4),$$

где dM — масса вещества, переносимого через площадку площадью S ; D — коэффициент диффузии; $\frac{\Delta \rho}{\Delta x}$ — градиент плотности; Δt — время диффузии.

Таким образом, масса продиффундированного вещества пропорциональна градиенту плотности, площади площадки, через которую происходит диффузия, и времени диффузии. Закон диффузии справедлив как для газов, так и для жидкостей. Знак минус в соотношении (4) указывает на то, что диффузия происходит в направлении уменьшения плотности вещества.

Например, для смеси частиц («красных» и «зеленых» — как в данной работе), имеющих одинаковую массу m каждой частицы, $dM = m \cdot dN$, $\rho = m \frac{N}{V}$, где dM — масса смеси частиц, а ρ — ее плотность.

Тогда градиент плотности $\frac{d\rho}{dx} = m \frac{dN}{V dx}$, где dN — количество частиц,

проходящих через dS за время dt , и $dN = -D \frac{\Delta N}{\Delta X V} dS dt$, где разность числа

частиц в левом и правом сосудах $\Delta N = N_2 - N_1$, $N_2 = N_0 - N(t)$, $N_1 = N(t)$, $\Delta X = L_{\text{отв}}$, объем сосуда $V = 20 \text{ см}^3$, dS есть площадь отверстия. Решаем

уравнение методом разделения переменных: $\frac{dN}{N_0 - 2N(t)} = -D \frac{S_{\text{отв}}}{L_{\text{отв}} V} dt$.

Интегрируем слева от 0 до $N(t)$, а справа — от 0 до t и получаем:

$$\ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right) = -\frac{2DS_{\text{отв}}}{L_{\text{отв}}V} t \text{ или } N(t) = \frac{N_0}{2} \left[1 - \exp\left(-\frac{2DS_{\text{отв}}}{L_{\text{отв}}V} t\right)\right] \quad (5).$$

Для газов коэффициент диффузии связан со средней длиной свободного пробега $\langle \lambda \rangle$ и средней скоростью $\langle v \rangle$ теплового движения молекул соотношением

$$D = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle v \rangle \quad (6).$$

Необходимо отметить, что при контакте газов диффузия происходит всегда. Жидкости неограниченно диффундируют лишь при их хорошей растворимости друг в друге, например, вода и спирт, керосин и растительные масла и т.д. Если же растворимость двух жидкостей мала, то при слиянии таких жидкостей сначала наблюдается диффузия, а затем она прекращается. В некоторых жидкостях диффузия практически не наблюдается, например, в случае смешения ртути и воды.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Целью данной работы является изучение процесса диффузии посредством компьютерной модели, описывающей диффузию молекул идеального газа, экспериментальное подтверждение закона диффузии и экспериментальное определение средней скорости теплового движения частиц в данной модели.

Найдите на рабочем столе компьютера программу «Открытая физика 1.1» и зайдите в раздел «Термодинамика и молекулярная физика», затем выберите работу «Диффузия газов».

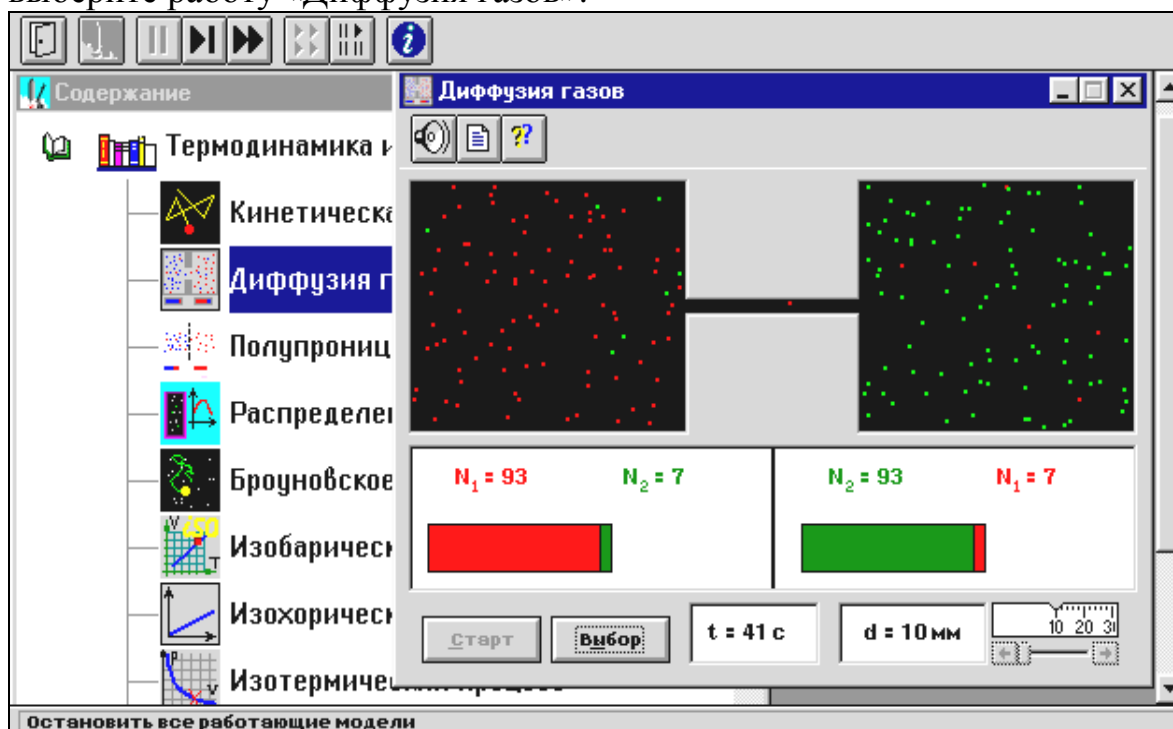


Рис.2.

Внимательно рассмотрите представленную демонстрацию. Обратите внимание на 2 системы частиц, находящихся в начальный момент в левом (красные) и в правом (зеленые) объемах. Они абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Количество частиц N_0 каждой компоненты равно 100 и данная система является хорошей “механической” моделью идеального газа.

Нажмите мышью кнопку «Старт» во внутреннем окне экрана. В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки «||» сверху во внешнем окне экрана «Открытая физика 1.1») и получать как бы “мгновенные фотографии”. Для продолжения наблюдений надо нажать кнопку «▶▶», расположенную сверху во внешнем окне. Количество частиц подсчитывается автоматически и высвечивается над соответствующими столбиками. Для

установки нового диаметра трубки надо нажать «▶▶»сверху во внешнем окне и кнопки «Старт» и «Выбор» внизу во внутреннем окне.

Проведение измерений

1. Выберите свой вариант согласно вашему номеру в лабораторном журнале и из табл.1 определите значения диаметров соединительной трубки, длительности промежутка измерения и сорта частиц.

Нажмите кнопку <СТАРТ> и через Δt секунд после начала процесса нажмите кнопки «| |» сверху во внешнем окне. Результат запишите в таблицу 2. Нажмите кнопку «▶▶». Через Δt секунд, нажав «| |», получите еще одну “мгновенную фотографию” и запишите количество частиц. Заполните табл.2.

Закончив измерения с данной трубкой, установите второе значение диаметра соединительной трубки d_2 из табл.1 и повторите измерения, записывая результат в таблицу 3, аналогичную табл.2.

ТАБЛИЦА 1. Значения диаметров соединительной трубки, длительности промежутка измерения и сорта частиц.

| | | | | | | | | |
|----------------|------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-----------|
| Вариант | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| d_1 , мм | 10 | 12 | 14 | 16 | 10 | 12 | 14 | 16 |
| d_2 , мм | 20 | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 | 32 | 34 |
| Δt , с | 15 | 15 | 15 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Сорт | красн | зелен | красн | зелен | красн | зелен | красн | зеле н |
| Объем | справ а | слева | справа | слева | справа | слева | справа | слев а |

ОБРАЗЕЦ ТАБЛИЦ 2 и 3 для записи результатов:

| | | | | | | | | | | |
|---|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| $t[c]=$ | Δt | $2\Delta t$ | $3\Delta t$ | $4\Delta t$ | $5\Delta t$ | $6\Delta t$ | $7\Delta t$ | $8\Delta t$ | $9\Delta t$ | $10\Delta t$ |
| $N(t)=$ | | | | | | | | | | |
| $1 - \frac{2N(t)}{N_0}$ | | | | | | | | | | |
| $\ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right)$ | | | | | | | | | | |

2. Вычислите и запишите в таблицы 2 и 3 все указанные значения.

3. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей

$-\ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right) = f(t)$ и, используя формулу $D = -\frac{L_{отв} V \cdot \ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right)}{2\pi d^2 \Delta t}$, определите

по графикам коэффициенты диффузии для каждого отверстия. Длину отверстия $L_{отв}$ измерьте линейкой на экране монитора, объем сосуда $V = 20 \text{ см}^3$.

4. Найдите среднее значение коэффициента диффузии и, используя соотношение $D = \frac{1}{3} v_{ср} \lambda_{ср}$, найдите среднюю скорость теплового движения $v_{ср}$ частиц ($\lambda_{ср} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$).

5. Сделайте выводы по графику. В выводе сравните полученное экспериментально значение $v_{ср}$ с величиной скорости, оцененной «на глаз».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение явления переноса. Назовите примеры этих явлений.
2. Дайте понятие длины свободного пробега молекул.
3. Выведите формулу (3) для расчета длины свободного пробега молекулы.
4. Что называется диффузией? Запишите и поясните закон Фика.
5. Выведите расчетную формулу (5) для нахождения зависимости числа продиффундировавших частиц от времени.

Лабораторная работа № 82
ДИФФУЗИЯ ГАЗОВ

Методические указания
к лабораторным работам по физике
для студентов всех направлений подготовки.

Составитель: Фахертдинова Д.И.

Корректурa автора

Редакционно-издательский отдел
Казанского государственного архитектурно-строительного университета

Подписано в печать:

Заказ

Бумага тип № 2

Печать RISO

Тираж 60 экз.

Формат 60x84/16

Усл. печ. л.

Уч.- изд. л.

Печатно-множительный отдел КазГАСУ
420043, Казань, ул. Зеленая, 1