

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4\_3

### ДИФФУЗИЯ В ГАЗАХ

Ю.В.Тихомиров

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.1, §128, §130). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Нажмите мышью кнопки «Термо», «Диффузия», «Физика» на экране. Запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы.

#### **ЦЕЛЬ РАБОТЫ:**

- Знакомство с компьютерной моделью, описывающей диффузию молекул идеального газа
- Экспериментальное подтверждение закона диффузии.
- Экспериментальное определение средней скорости теплового движения частиц в данной модели.

#### **КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:**

При нарушении равновесия макросистема стремится вернуться в равновесное состояние.

ЯВЛЕНИЯМИ ПЕРЕНОСА называются процессы, связанные с возникновением в веществе НАПРАВЛЕННОГО ПЕРЕНОСА (потока) массы, импульса или внутренней энергии.

ДИФФУЗИЯ есть процесс установления внутри фаз вещества равновесного распределения концентраций, который обеспечивается направленным переносом массы этого вещества. Диффузия обусловлена тепловым движением молекул и проявляется в самопроизвольном выравнивании концентраций в смеси нескольких веществ.

САМОДИФФУЗИЯ имеет место при самопроизвольном выравнивании концентрации однородного вещества, если по некоторым причинам равновесное распределение концентрации было нарушено.

ДЛИНА СВОБОДНОГО ПРОБЕГА  $\lambda$  есть среднее расстояние, пролетаемое частицей между двумя последовательными столкновениями. ЭФФЕКТИВНЫЙ ДИАМЕТР частицы есть минимальное расстояние, на которое сближаются центры двух сталкивающихся частиц.

Если в начальный момент времени имеет место неоднородное распределение плотности вещества  $\rho$  вдоль только одной оси (например, OX), тогда возникает ОДНОМЕРНАЯ ДИФФУЗИЯ, связанная с переносом массы  $M$  вдоль этой оси OX. Для двухкомпонентной системы (например, смеси двух газов) одномерная диффузия описывается первым законом Фика:

$$dM = -D \frac{d\rho}{dx} dS \cdot dt,$$

где  $dM$  - масса одного компонента (индексы для характеристик данного компонента пропущены), которая переносится за время  $dt$  через элементарную площадку, перпендикулярную оси OX, имеющую площадь  $dS$ , в направ-

лении убывания плотности этого компонента,  $\frac{dp}{dx}$  – градиент плотности первого компонента,  $D$  - коэффициент диффузии.

Для смеси «красных» и «зеленых» частиц, имеющих одинаковую массу  $m$  каждой частицы,  $dM = m \cdot dN$ ,  $\rho = m \frac{N}{V}$ , а  $\frac{dp}{dx} = m \frac{dN}{V dx}$ , где  $dN$  - количество частиц, проходящих через  $dS$  за время  $dt$ , которое равно  $dN = -D \frac{\Delta N}{\Delta X V} dS dt$ , 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:

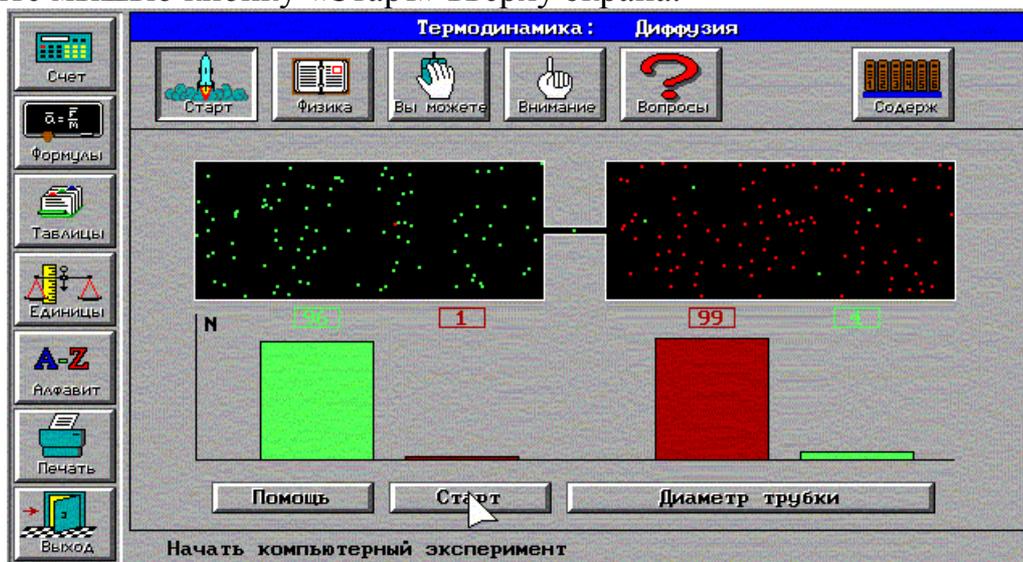
$$\frac{dN}{N_0 - 2N(t)} = -D \frac{S_{\text{отв}}}{L_{\text{отв}} V} dt.$$

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

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

## **МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ**

Нажмите мышью кнопку «Старт» сверху экрана.



Внимательно рассмотрите изображение на экране. Обратите внимание на 2 системы частиц, находящихся в начальный момент в левом (зеленые) и в правом (красные) 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. В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки “Pause” на клавиатуре компьютера) и получать как бы “мгновенные фотографии”. Для продолжения наблюдений надо нажать пробел. Количество частиц подсчитывается автоматически и высвечивается над соответствующими столбиками.

**Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.**

**ЭКСПЕРИМЕНТ. Исследование диффузии частиц через тонкую трубку, соединяющую два объема.**

Нажмите кнопку <СТАРТ> и через  $\Delta t$  секунд после начала процесса нажмите клавишу “Pause” на клавиатуре компьютера и результат запишите в таблицу 2. Нажмите кнопку <ПУСК> и через  $\Delta t$  секунд получите еще одну “мгновенную фотографию” (нажав клавишу “Pause”) и записав количество частиц. Затем 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.**

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
$d_1$ , мм	2	2	3	3	2	2	3	3
$d_2$ , мм	4	4	5	5	4	4	5	5
$\Delta t$ , с	10	10	10	10	15	15	15	15
Сорт	красн	зелен	красн	зелен	красн	зелен	красн	зелен
Объем	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа

**ОБРАЗЕЦ ТАБЛИЦ 2,3 для записи результатов:**

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

**ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:**

1. Вычислите и запишите в таблицы все указанные значения.
2. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей

$$-\ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right) = f(t).$$

3. Используя формулу

$$D = - \frac{2L_{\text{отв}} V}{\pi d^2} \frac{\Delta \left( \ln\left(1 - \frac{2N(t)}{N_0}\right) \right)}{\Delta t},$$

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

4. Найдите среднее значение коэффициента диффузии и, используя соотношение  $D = \frac{1}{3} v_{\text{CP}} \lambda_{\text{CP}}$ , найдите среднюю скорость теплового движения  $v_{\text{CP}}$  частиц ( $\lambda_{\text{CP}} = 2$  см).

### Вопросы и задания для самоконтроля по работе 4\_3

1. Что происходит с макросистемой при нарушении равновесия?
2. Дайте определение явления переноса.
3. Назовите примеры явлений переноса.
4. Дайте определение явления диффузии.
5. Чем обусловлена диффузия?
6. В чем проявляется диффузия?
7. Какая диффузия называется одномерной?
8. Что такое самодиффузия?
9. Напишите уравнение одномерной диффузии для двухкомпонентной системы газов.
10. Каков физический смысл коэффициента диффузии.
11. Что такое плотность тела?
12. Что такое концентрация молекул (частиц)?
13. Дайте определение градиента плотности в общем случае.
14. Напишите формулу для градиента плотности, если она меняется только вдоль оси OX.
15. Напишите формулу для градиента плотности, если она меняется только вдоль оси OY.
16. Напишите формулу для градиента плотности, если она меняется только вдоль оси OZ.
17. Напишите формулу для градиента плотности, если она меняется вдоль осей OX и OY.
18. Что такое длина свободного пробега частицы?
19. Что такое эффективный диаметр и эффективное сечение частицы?
20. Какое уравнение связывает среднюю скорость с коэффициентом диффузии?