

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.6

Изучение статистических закономерностей в идеальном газе

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и в учебниках [1], гл.8. §43, 44, 46; [2], гл.10, §10.1, 10.2, 10.3, 10.6. Выберите «Термодинамика и молекулярная физика» и «Кинетическая модель идеального газа». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и запишите основные сведения в свой конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Цель работы

- Знакомство с компьютерной моделью идеального газа.
- Экспериментальное подтверждение основных формул молекулярно-кинетической теории, по которым определяются скорости молекул газа.
- Экспериментальное изучение зависимостей среднего числа столкновений и средней длины свободного пробега молекул от температуры.

Краткая теория

ИДЕАЛЬНЫМ ГАЗОМ называется физическая модель, в которой газ рассматривается как совокупность хаотически движущихся молекул, взаимодействующих между собой лишь при непосредственном ударе, носящем упругий характер.

Скорости, характеризующие состояние идеального газа:

1. средняя

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}. \quad (1)$$

2. наиболее вероятная

$$v_B = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}. \quad (2)$$

3. средняя квадратичная

$$\langle v_{\text{КВ}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}. \quad (3)$$

Давление газа – макроскопическое проявление теплового движения и столкновений молекул газа со стенками сосуда. В результате каждого соударения стенке сосуда передается определенный импульс.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории для давления:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{\text{КВ}} \rangle^2. \quad (4)$$

Длина свободного пробега – расстояние l_i , которое молекула пролетает от одного столкновения до следующего.

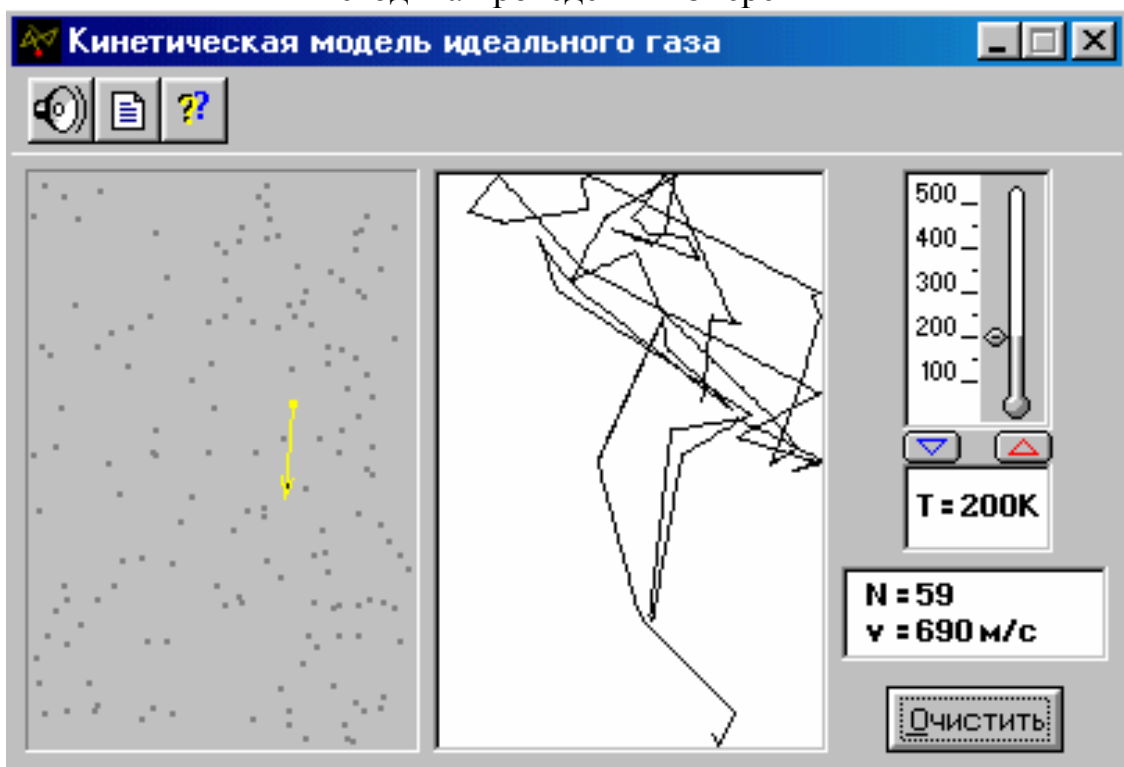
Средняя длина свободного пробега молекулы

$$\langle l \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N l_i}{N} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}. \quad (5)$$

Среднее число соударений молекулы в единицу времени

$$\langle Z \rangle = \sqrt{2} \pi d^2 n \langle v \rangle \quad (6)$$

Методика проведения измерений



Нажмите кнопку «СТАРТ» во внутреннем окне экрана и проследите за хаотическим движением выделенной молекулы в замкнутом объеме слева во внутреннем окне экрана, вектор скорости которой изменяется при каждом упругом соударении с другими молекулами (их около 100) и со стенками сосуда. Данная

молекулярная система является «механической» моделью идеального газа, находящегося при достаточно низком давлении. В правой части внутреннего окна происходит непрерывная регистрация ломаной линии – траектории движения выделенной молекулы – состоящей из отдельных *длин свободного пробега молекулы*.

В процессе исследований можно в любой момент времени остановить движение всех молекул нажатием кнопки **II**, расположенной в правом верхнем углу внешнего окна опыта, и получить «мгновенную фотографию» всех молекул газа и траектории движения выделенной частицы. Продолжить наблюдение движения молекул в непрерывном режиме можно нажатием кнопки **▶** или в «пошаговом» режиме последовательными нажатиями кнопки **▶**. Обе кнопки расположены рядом.

Эксперимент 1

Исследование зависимости скоростей газовых молекул от температуры

Измерения и обработка результатов опыта

1. На мониторе щелкните мышью кнопку «**II**» в верхнем ряду кнопок.
2. В нижнем внутреннем окне щелкните мышью кнопку «ОЧИСТИТЬ» и установите с помощью маркера мыши на термометре температуру 100 К.
3. Запишите в табл. 1 начальное значение скорости (v_1) выделенной молекулы, указанное в нижнем прямоугольнике окна опыта.
4. Отдельными отрывистыми щелчками нажимайте мышью кнопку **▶** до момента соударения выделенной молекулы с любой другой движущейся молекулой и изменения скорости выделенной молекулы.
5. Запишите в табл. 1 второе значение скорости.
6. Продолжите действия по п.п. 4, 5 еще 18 раз и заполните табл. 1.
7. Увеличивая последовательно температуру на 50 К, проведите аналогичные измерения скоростей для температур 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 К и заполните таблицу по форме 1 для констант температуры.
8. По формулам

$$\langle v \rangle = \frac{\sum_{i=1}^{20} v_i}{20}, \quad (7)$$

$$\langle v_{\text{KB}} \rangle = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2} \quad (8)$$

Эксперимент 4

Исследование зависимости средней длины свободного пробега молекул от температуры

Измерения и обработка результатов опыта

1. На мониторе щелкните мышью кнопку « II » в верхнем ряду кнопок.
2. В нижнем ряду кнопок щелкните мышью кнопку «ОЧИСТИТЬ» и установите с помощью маркера мыши на термометре температуру 100 К.
3. В момент начала отсчета времени на секундомере щелкните мышью на мониторе в верхнем ряду кнопку «▶▶» и через 30 с остановите движение молекул нажатием кнопки « II ».
4. С помощью миллиметровой линейки измерьте на экране монитора все отрезки l_i ломаной линии – траектории движения выделенной молекулы – от одного столкновения до последующего. При этом имейте в виду, что изменения направления движения молекулы при ее ударах о стенки сосуда не должны учитываться при измерении длины свободного пробега.
5. Повторите это измерение еще 2 раза и запишите результаты измерений в таблицу по форме 5.
5. Увеличивая последовательно температуру на 50 К, проведите аналогичные измерения l_i для температур в интервале 100–500 К и запишите все результаты измерений в таблицу по форме 5.
6. По полученным данным постройте график зависимости $\langle l \rangle = f(T)$ и проведите анализ соответствия качественного вида этого графика с выводами молекулярно-кинетической теории и с законами идеального газа.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Перечислите основные положения молекулярно-кинетической теории идеального газа.
2. Чем обусловлено давление газа с точки зрения молекулярно-кинетической теории?
3. Зависит ли давление газа от: плотности газа; температуры; массы молекул?
4. Как изменяются при изотермическом расширении идеального газа: средняя кинетическая энергия молекул; средняя длина свободного пробега молекул?
5. Как изменяется средняя длина свободного пробега молекул газа при: изобарном нагревании; изотермическом увеличении давления?
6. Что называется эффективным диаметром молекулы?
7. Выведите уравнение, связывающее давление идеального газа со средней кинетической энергией его молекул.

8. Сравните изменения числа ударов молекул о стенку сосуда в единицу времени при уменьшении объема идеального газа в изотермическом и адиабатическом процессах.
9. Как изменяется эффективный диаметр молекулы при увеличении температуры?
10. Как сказывается ограниченное число молекул, участвующих в тепловом движении в компьютерной модели опыта, на его результатах?