

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.2

Изучение распределения Максвелла

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике [3], т.1, §93, 98, 99. Запустите программу. Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Распределение Максвелла». Нажмите кнопку с изображением страницы во внутреннем окне. Прочитайте теорию и составьте конспект лабораторной работы. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Цель работы

- Знакомство с компьютерной моделью, описывающей поведение молекул идеального газа.
- Экспериментальное подтверждение распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям.
- Экспериментальное определение массы молекул в данной модели.

Краткая теория

Вероятностью P_i получения некоторого результата измерения называется предел отношения количества измерений, давших этот результат, (N_i) к полному числу измерений N , когда $N \rightarrow \infty$.

Элементарной вероятностью dP_V при измерении **величины скорости** v называется вероятность наличия скорости величиной от v до $v + dv$. Эта вероятность пропорциональна приращению скорости dv : $dP_V = F(v) dv$, где коэффициент пропорциональности $F(v)$ называется **функцией распределения** молекул по величине скорости. Она может быть выражена через другие функции распределения:

$$F(v) = \varphi(v_x) \cdot \varphi(v_y) \cdot \varphi(v_z) \cdot 4\pi v^2 = f(v) \cdot 4\pi v^2,$$

где $\varphi(v_x)$, $\cdot\varphi(v_y)$ и $\cdot\varphi(v_z)$ – функции распределения для соответствующих **проекций** скоростей молекул, а $f(v)$ – их произведение.

В §98 Вы можете найти вывод формул, в частности

$$F(v) = \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\left(-\frac{mv^2}{2kT} \right)} 4\pi v^2.$$

Средняя скорость $\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v F(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}},$

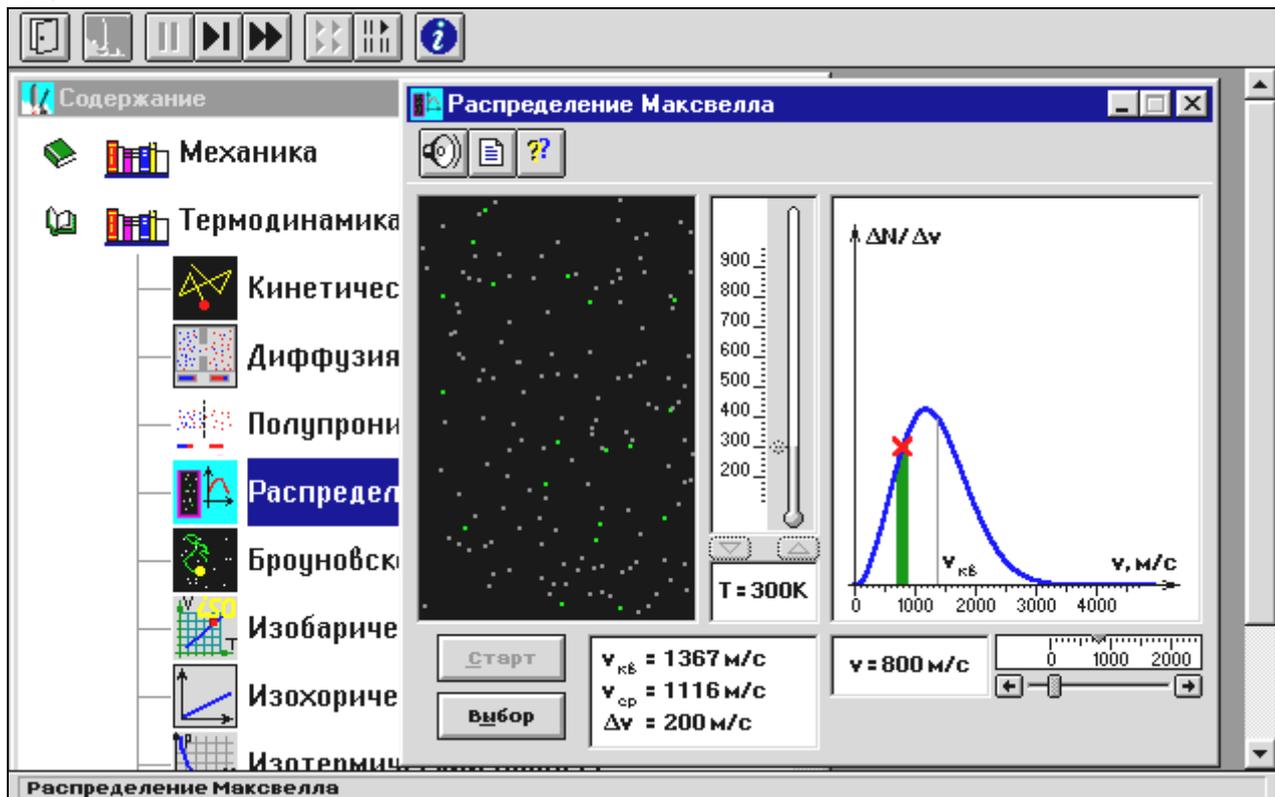
Средняя квадратичная скорость $v_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$.

Наиболее вероятной называется скорость $v_{\text{ВЕР}}$, при которой $F(v)$ имеет максимум

$$v_{\text{ВЕР}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$

Методика и порядок измерений

Внимательно рассмотрите рисунок, составьте конспект лабораторной работы.



Внимательно рассмотрите изображение на экране монитора компьютера. Обратите внимание на систему частиц, движущихся в замкнутом объеме слева во внутреннем окне. Они абсолютно упруго сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда. Их количество около 100 и данная система является хорошей «механической» моделью идеального газа. В процессе исследований можно останавливать движение всех молекул (при нажатии кнопки «||» вверху) и получать как бы «мгновенные фотографии», на которых выделяются более ярким свечением частицы (точки), скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости v (т.е. имеющие скорости от v до $v + \Delta v$). Для продолжения наблюдения движения частиц надо нажать кнопку «▶▶». Запишите в тетрадь значение Δv , указанное на экране.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

Измерения

1. Нажмите кнопки «▶▶», «СТАРТ» и «ВЫБОР» и установите температуру T_1 , указанную в табл. 1 для вашей бригады. Запишите для нее значение наиболее вероятной скорости.

2. Установите скорость выделенной группы молекул вблизи минимального заданного в форме 1 значения.

3. Нажмите клавишу «||» и подсчитайте на «мгновенной фотографии» количество молекул ΔN , скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости молекул v (они более яркие). Результат запишите в таблицу по форме 1.

4. Нажмите кнопку «▶▶» и через 10–20 секунд получите еще одну мгновенную фотографию (нажав кнопку «||»). Подсчитайте количество частиц с заданной скоростью. Результат запишите в таблицу по форме 1.

5. Повторите еще 3 раза измерения для данной скорости и результаты запишите в таблицу по форме 1.

6. Измените скорость до значения, указанного в форме 1, и выполните по 5 измерений (как в п.4) для каждой скорости.

7. Установите (как в п.1) вторую температуру T_2 из табл.1. Запишите для нее значение наиболее вероятной скорости.

8. Повторите измерения (по п. 2,3,4,5), записывая результат в форму 1.

Примерные значения температуры (не перерисовывать)

Табл. 1

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
T_1	160	200	260	300	360	400	460	500
T_2	700	740	760	800	840	860	900	960

Результаты измерений при $T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ К}$

Форма 1

v [км/с]=	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
ΔN_1							
ΔN_2							
ΔN_3							
ΔN_4							
ΔN_5							
ΔN_{CP}							

Обработка результатов и оформление отчета

1. Вычислите и запишите в таблицы средние значения количества частиц $\Delta N_{\text{СР}}$, скорости которых лежат в данном диапазоне от v до $v + \Delta v$.
2. Постройте на одном рисунке графики экспериментальных и теоретических зависимостей $\Delta N_{\text{СР}}(v)$. Теоретические зависимости можно срисовать с экрана монитора компьютера, подобрав соответствующий масштаб по вертикальной оси ординат.
3. Для каждой температуры определите экспериментальное значение наиболее вероятной скорости молекул $v_{\text{ВЕР}}$.
4. Постройте график зависимости квадрата наиболее вероятной скорости от температуры $v_{\text{ВЕР}}^2(T)$.
5. По данному графику определите значение массы молекулы

$$m = 2k \frac{\Delta(T)}{\Delta(v_{\text{ВЕР}}^2)}$$
6. Подберите газ, масса молекулы которого достаточно близка к измеренной массе молекулы.
7. Запишите ответы и проанализируйте ответы и графики.

Табличные значения

Газ	Водород	Гелий	Неон	Азот	Кислород
Масса молекулы 10^{-27} кг	3.32	6.64	33.2	46.5	53.12

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Дайте определение вероятности получения некоторого результата измерения.
2. Дайте определение элементарной вероятности при измерении величины скорости.
3. Что такое функция распределения?
4. Как связаны функции распределения величины и проекции скорости?
5. Каковы особенности графика функции распределения величины скорости для молекул идеального газа?
6. Как вычисляется среднее значение некоторой физической величины A , если известна ее функция распределения $f(A)$?
7. Напишите формулу для вычисления среднего значения скорости молекул.
8. Напишите формулу для вычисления средней квадратичной скорости молекул.
9. Напишите условие для вычисления наиболее вероятной скорости молекул.
10. Напишите выражение для средней скорости молекул идеального газа.
11. Напишите выражение для средней квадратичной скорости молекул идеального газа.

12. Напишите выражение для наиболее вероятной скорости молекул идеального газа.
13. Вычислите, на сколько процентов отличаются средняя и средняя квадратичная скорости молекул идеального газа.
14. Вычислите, на сколько процентов отличаются средняя и наиболее вероятная скорости молекул идеального газа.