

Лабораторная работа № 2.2

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСВЕЛЛА

2.2.1. Цель работы

Целью работы является подтверждение распределения Максвелла молекул идеального газа по скоростям и экспериментальное определение массы молекул в данной модели.

2.2.2. Краткая теория

Рассмотрим идеальный газ, находящийся в равновесном состоянии. Вследствие огромного числа соударений, испытываемых молекулой в единицу времени, скорости газовых молекул все время изменяются. Поэтому в любой момент времени имеются молекулы, движущиеся с различными скоростями.

Пусть в системе имеется N_0 молекул. Тогда число молекул dN , движущихся со скоростями, лежащими в интервале dv вблизи заданной скорости v

$$dN = f(v) dv N_0, \quad (2.2.1)$$

где $f(v)$ – функция распределения Максвелла молекул идеального газа по величине скорости.

Из (2.2.1) следует, что

$$f(v) = \frac{dN}{N_0 dv}, \quad (2.2.2)$$

т. е. функция распределения молекул равна относительному числу молекул, которые имеют значения скорости, лежащие в единичном интервале dv , расположенном вблизи заданной скорости v .

Вид функции распределения молекул по модулю скорости установил теоретически Максвелл в 1860 г.

$$f(v) = 4\pi \left(\frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{mv^2}{2kT}} v^2, \quad (2.2.3)$$

где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – постоянная Больцмана;

m – масса одной молекулы;

T – абсолютная температура.

Средняя арифметическая скорость молекулы

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v f(v) dv = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}, \quad (2.2.4)$$

где $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ – универсальная газовая постоянная;

μ – молярная масса газа.

Средняя квадратичная скорость

$$v_{\text{ср. кв.}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}. \quad (2.2.5)$$

Наивероятнейшей называется скорость $v_{\text{вер}}$, при которой функция распределения $f(v)$ принимает максимальное значение.

$$v_{\text{вер}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}. \quad (2.2.6)$$

Скорости газовых молекул определяются температурой газа и мало отличаются друг от друга.

2.2.3. Порядок выполнения работы

Запустите программу «Открытая физика 1.1». Выберите «Термодинамика и молекулярная физика», «Распределение Максвелла». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Закройте окно теории, нажав кнопку с крестом в правом верхнем углу внутреннего окна.

Внимательно рассмотрите рисунок 2.2.1, найдите все регулируемые величины и запишите их в соответствующую таблицу в отчете (см. с. 6).

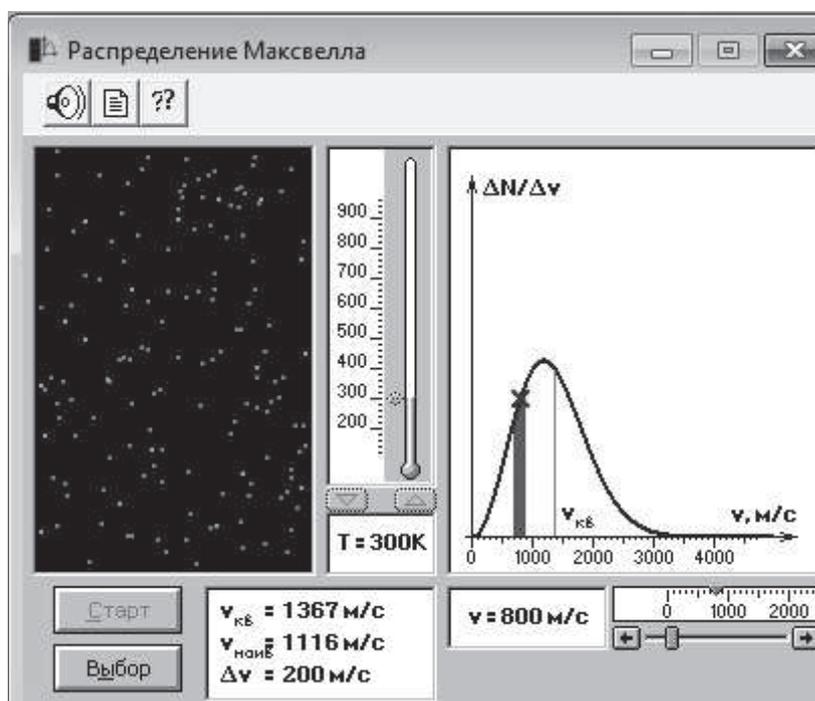


Рис. 2.2.1. Распределение Максвелла

Рассмотрим газ, находящийся в закрытом сосуде. Молекулы газа хаотически движутся и 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.

1. Нажмите кнопку «Выбор» и, передвигая указатель, установите температуру T_1 , указанную в табл. 2.2.1 для вашей бригады. Запишите в

табл. 2.2.2. и 2.2.3 теоретическое значение наивероятнейшей скорости из окна опыта.

2. Установите минимальную скорость выделенной группы молекул (см. табл. 2.2.2). Нажмите кнопку «Старт».

3. Нажмите клавишу «||» и подсчитайте на «мгновенной фотографии» количество молекул ΔN_1 , скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости молекул v (они более яркие). Результат запишите в табл. 2.2.2.

4. Нажмите последовательно кнопки «▶▶», «Выбор». Установите следующую скорость (см. табл. 2.2.2), нажмите кнопку «Старт» и повторите измерения, как в п. 3.

5. Повторите измерения для всех значений скорости, указанных в табл. 2.2.2.

6. Нажмите последовательно кнопки «▶▶», «Выбор». Установите вторую температуру T_2 (см. табл. 2.1.1). Запишите для нее значение наивероятнейшей скорости.

7. Повторите измерения по пунктам 2 – 5, записывая ΔN_2 в табл. 2.2.2.

8. Установите температуру T_3 (см. табл. 2.2.1). Запишите для нее значение наивероятнейшей скорости.

9. Повторите измерения по пунктам 2 – 5, записывая ΔN_3 в табл. 2.2.2.

Таблица 2.2.1

Значения температуры

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
T_1	160	200	260	300	360	400	460	500
T_2	340	480	520	560	600	540	680	720
T_3	700	740	760	800	840	860	900	960

Таблица 2.2.2

Результаты измерений

v , м/с	$T_1 =$ _____ К	$T_2 =$ _____ К	$T_3 =$ _____ К
	$v_{\text{вер}} =$ _____ м/с	$v_{\text{вер}} =$ _____ м/с	$v_{\text{вер}} =$ _____ м/с
	ΔN_1	ΔN_2	ΔN_3
0			
200			
400			
600			
800			
1000			
1200			
1400			
1600			
1800			
2000			
2200			
2400			
2600			
2800			
3000			
3200			
3400			
3600			
$(v_{\text{вер}})^2$, 10^6 м/с			

Таблица 2.2.3

Результаты расчетов

T , К	$v_{\text{вер}}$ (теор.), м/с	$v_{\text{вер}}$ (экспер.), м/с	$v_{\text{вер}}^2$ (экспер.), $(\text{м/с})^2$	E	$\Delta v_{\text{вер}}$, м/с

2.2.4. Обработка результатов измерений

1. Для каждой температуры постройте на одном рисунке графики экспериментальных зависимостей $\Delta N(v)$. При необходимости графики сглаживайте.

2. По эти графикам определите экспериментальное значение наивероятнейшей скорости молекул $v_{\text{вер}}$ и запишите в табл. 2.2.3. Квадрат этого значения тоже занесите в эту же таблицу.

3. Для каждой температуры рассчитайте относительную и среднюю абсолютную погрешности определения экспериментального значения наивероятнейшей скорости (см. с. 8). Результаты запишите в табл. 2.2.3.

4. Постройте график зависимости квадрата наивероятнейшей скорости (экспериментальное значение) от температуры $v_{\text{вер}}^2(T)$.

5. По наклону графику (см. с. 7) определите значение массы молекулы

$$m = 2k \frac{\Delta(T)}{\Delta(v_{\text{вер}}^2)}. \quad (2.2.7)$$

6. По таблице 2.2.4 подберите газ, масса молекулы которого достаточно близка к рассчитанной массе.

Таблица 2.2.4

Масса молекул некоторых газов

Газ	Водород	Гелий	Неон	Азот	Кислород
Масса молекулы, 10^{-27} кг	3,32	6,64	33,2	46,5	53,12

7. Запишите ответы и проанализируйте их.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое функция распределения?
2. Каковы особенности графика функции распределения Максвелла?
3. Напишите формулу вычисления средней арифметической скорости молекул идеального газа.
4. Напишите формулу вычисления средней квадратичной скорости молекул идеального газа.
5. Что называется наивероятнейшей скоростью? Напишите формулу для ее вычисления.