

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4_2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСВЕЛЛА

Ю.В.Тихомиров

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.1, §93,98,99). Запустите программу PHYSICS\BOOKS.exe. Нажмите мышью кнопки «Термо», «Распределение Максвелла», «Физика» на экране. Запишите необходимое в свой конспект лабораторной работы.

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

В §98 вы можете найти вывод формул, в частности

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

СРЕДНЯЯ скорость

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

СРЕДНЯЯ квадратичная скорость

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

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

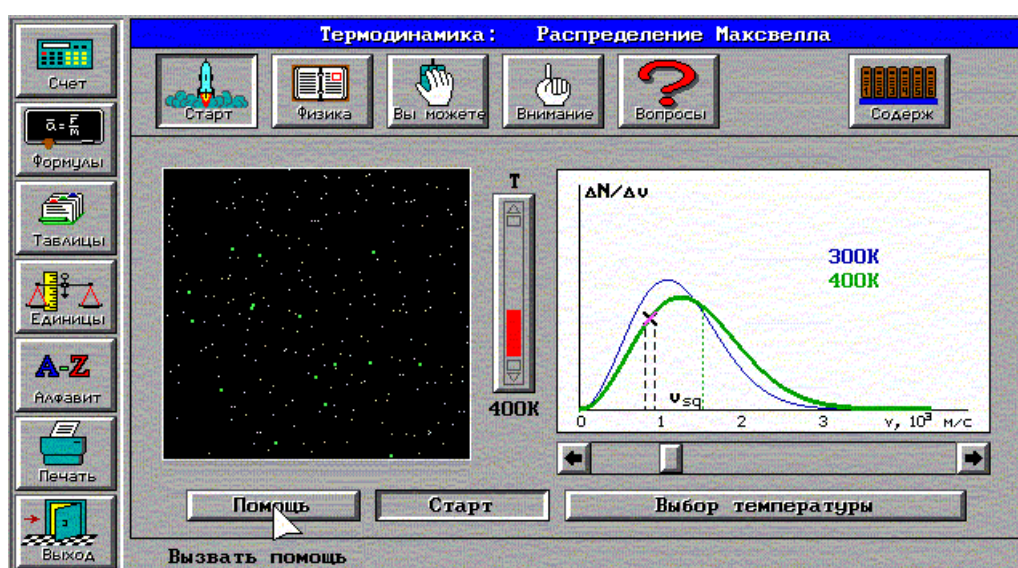
$$v_{\text{ВЕР}} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$

Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Нажмите мышью кнопку «Старт» вверху экрана. Внимательно рассмотрите изображение на экране монитора компьютера. Обратите внимание на систему частиц, движущихся в замкнутом объеме слева на экране. 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 “Pause” на клавиатуре компьютера) 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 $v+\Delta v$).

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.



ЭКСПЕРИМЕНТ 1. Определение диапазона скоростей молекул Δv , которые регистрируются на “мгновенной фотографии” в левом экране в виде более ярко светящихся зеленых точек.

Для этого щелкая мышью по стрелке ($<$) на регуляторе диапазона, переместите метки диапазона в крайнее левое положение ($v=0$). Затем, щелкая мышью по стрелке ($>$) на регуляторе диапазона, подсчитайте количество щелчков N , потребовавшихся для перемещения меток диапазона до максимального значения скорости v_{MAX} на оси абсцисс. Далее используйте формулу $\Delta v = v_{\text{MAX}} / N$.

ЭКСПЕРИМЕНТ 2. Исследование распределения молекул по скоростям.

Задайте температуру T_1 , указанную в таблице 1 для вашей бригады. Устанавливая метки диапазона скоростей вблизи заданных в таблице 2 значений скорости молекул, нажимайте клавишу “Pause” и подсчитывайте на “мгновенной фотографии” количество молекул ΔN , скорости которых лежат в заданном диапазоне Δv вблизи заданной скорости молекул v . Результат

запишите в таблицу 2. Нажмите кнопку <ПУСК> и через несколько секунд получите еще одну мгновенную фотографию (нажав клавишу “Pause”) и подсчитайте количество частиц с заданной скоростью. Результаты 5 измерений для каждой скорости запишите в таблицу 2. Затем измените скорость и сделайте по 5 измерений для каждой скорости, указанной в табл.2.

Затем установите вторую температуру T_2 из табл.1 и повторите измерения, записывая результат в таблицу 3, аналогичную табл.2.

ТАБЛИЦА 1. Примерные значения температуры (не перерисовывать)

| Бригада | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| T_1 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| T_2 | 700 | 740 | 770 | 800 | 840 | 870 | 900 | 930 |

ТАБЛИЦЫ 2,3 Результаты измерений при $T = \underline{\hspace{2cm}}$ К

| v [к м/с]= | 0 | 1 | 2 | 3 |
|-----------------|----|----|----|----|
| ΔN_1 | .5 | .0 | .5 | .0 |
| ΔN_2 | | | | |
| ΔN_3 | | | | |
| ΔN_4 | | | | |
| ΔN_5 | | | | |
| ΔN_C | | | | |
| ρ | | | | |

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

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

$$m = 2k \frac{\Delta(T)}{\Delta(v_{ВЕР}^2)}$$

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 по работе 4_2

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 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.