

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛЕКУЛ ПО СКОРОСТЯМ В ОПЫТЕ ШТЕРНА

Смурага Л.Н., Закревский Д.С.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

В основе молекулярной физики лежит представление о полной хаотичности движения молекул, которое порождает специфические статистические закономерности молекулярной системы.

Максвелл, используя теорию вероятностей и предположив, что все молекулы газа одинаковы, а также одинакова температура во всех частях сосуда, содержащего газ, нашел, что в случае отсутствия внешних воздействий молекулы распределяются по скоростям так, что число молекул dn , обладающих скоростями, лежащих в интервале от некоторой скорости v до $v+dv$, может быть подсчитано по формуле:

$$dn = n4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{3}{2}} \exp^{-\frac{1}{2}m_0v^2/kT} v^2 dv \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что конкретный вид этой функции зависит от рода газа (m_0 – масса одной молекулы) и температуры (T) газа. Найденное выше распределение выражает статистический закон, точность которого возрастает с увеличением числа молекул в системе. Величина $F(v) = \frac{dn}{ndv}$ – функция распределения, определяет относительное число молекул, скорости которых лежат в интервале от v до $v+dv$.

Справедливость максвелловского распределения весьма точно была проверена экспериментально Истерманом, Симпсоном и Штерном путем измерения отклонения пучка атомов серебра, пропускаемого через узкие щели, в гравитационном поле Земли. Отклонение l , обусловленное полем тяжести, пропорционально $1/v^2$. Функция распределения в потоке F_{jv} соотносится с функцией распределения Максвелла в источнике как $F_{jv} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} u F(v)$; где $u = v/v_n$ [2]. Созданная математическая модель, позволяет получить распределение молекул по скоростям в вакууме, а также в однородном гравитационном поле и в поперечном сечении молекулярного пучка в зависимости от угловой скорости цилиндров ω , радиуса цилиндра r , температуры накала нити T , плотности вещества D и времени эксперимента t , то есть

$$F(jv) = f(n, r, T, D, t) \quad (2)$$

На рисунке 1 приведена схема опыта Штерна: A – внутренний цилиндр со щелью; B – наружный цилиндр; ω – угловая скорость; r – радиус наружного цилиндра; l_0 – смещение максимума осажденного слоя вещества относительно слоя с неподвижными цилиндрами.

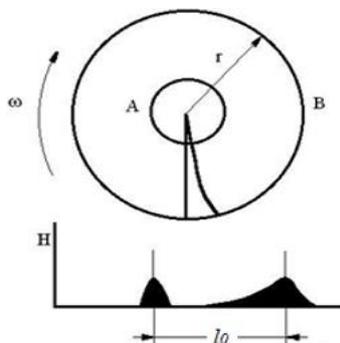


Рисунок 1 – Схема опыта Штерна

Прибор Штерна также состоит из тонкой платиновой нити, натянутой внутри жестко связанных цилиндров, способных вращаться вокруг своей оси. Нить, покрытую слоем серебра, можно нагревать электрическим током. Внутренний цилиндр A малого радиуса имеет узкую продольную щель. Весь прибор помещен в вакуум при давлении порядка 10^{-6} торр. При нагревании нити до $T \approx 900^\circ\text{C}$ серебро испаряется и оседает на поверхности внешнего цилиндра, имеющего комнатную температуру, в виде узкой полоски. Если привести прибор во вращение, то щель в малом цилиндре и полоска будут оставаться в одной и той же плоскости, так как цилиндры жестко связаны. Атомы серебра будут по-прежнему перемещаться в этой плоскости, но место их попадания на пластинку изменится. Пока атомы пролетят путь от щели до внешнего цилиндра, пластинка сместится на расстояние в сторону, противоположную направлению вращения прибора на $l = \omega r \Delta t$, где $\Delta t = \frac{r}{v}$ время пролета атома, или $l_0 = \frac{\omega r^2}{v_n} = \frac{2\pi n r^2}{v_n}$, здесь l_0 – смещение максимума осажденного слоя вещества, имеющего наиболее вероятную скорость v_n в распределении Максвелла.

По высоте H и по смещению максимума l_0 осажденного слоя вещества программа позволяет экспериментально определить наиболее вероятную скорость v_n , то есть функционально это выглядит так $v_n = f(n, r, T, D, t)$.

Если барабан не вращать ($\omega=0$), профиль осажденного слоя представляется кривой Гаусса [2]. В самом деле

$$F_G = \frac{dw}{dl} = \frac{1}{\sigma r \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{l^2}{2\sigma^2 r^2}}. \quad (3)$$

и исследователь может получать распределения по зависимости (2).

Для случая, когда $\omega \neq 0$ результаты компьютерного эксперимента приведены на рисунке 2 [1].

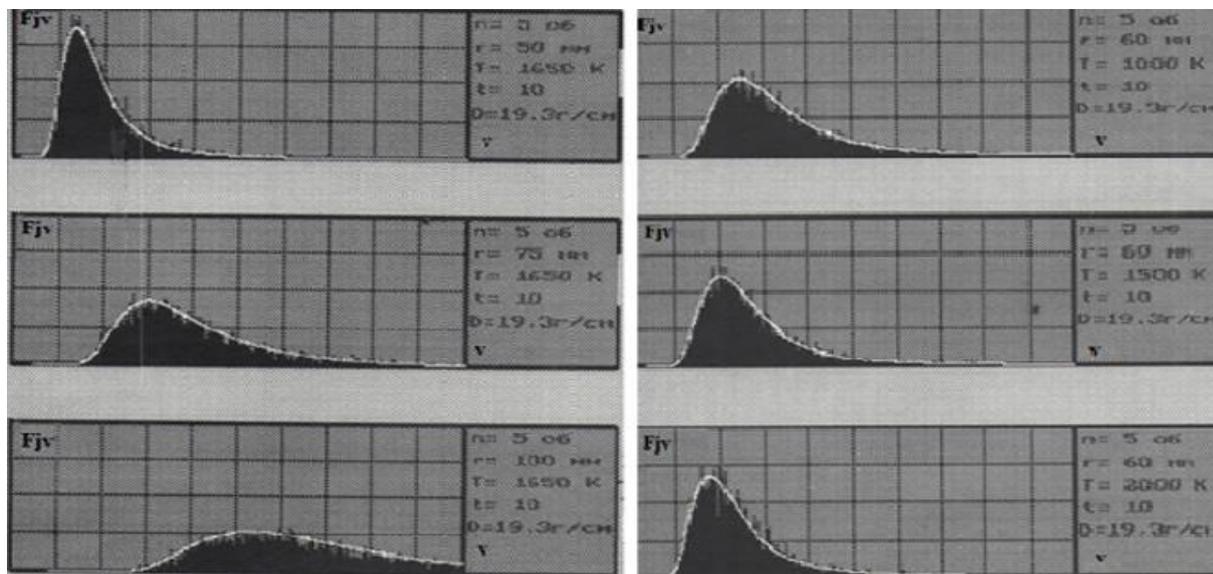


Рисунок 2 – Распределения Штерна в зависимости от радиуса цилиндра и рисунке от температуры нити накала

Из рисунка 2 видно, что с увеличением радиуса внешнего цилиндра B явный максимум осажденного слоя сглаживается так как при равном количестве молекул смещение максимума больше. С увеличением температуры накала нити явный максимум функции F_{jv} проявляется больше, так как смещение максимума меньше при одном и том же количестве молекул в потоке. Очевидным является и тот факт, что с увеличением скорости вращения цилиндра смещение максимума возрастает. Программа позволяет сканировать функцию распределения молекул по скоростям и замерять высоту максимума (2) и проводить ее исследование.

Литература

1. Моделирование случайных процессов в термодинамике и молекулярной физике методом Монте-Карло/ Л.Н. Смурага // Отчет о НИР, БГПА – Шифр темы ГБ 96-95; № гос. регистрации 19961176. – Минск, 1996. –25 с.
2. Методическое руководство к лабораторной работе по физике для студентов инженерно-технических специальностей/ Максвелловское распределение молекул по скоростям. Опыты Штерна и Истермана/ Л.Г. Крейдик, Л.Н. Смурага// Электронное издание – Белорусский Национальный Технический Университет/ФИТР 47– 6.2009. –17 с.