

Московский Физико-Технический Институт

Кафедра общей физики
Лабораторная работа 5.5.5

19 октября 2022 г.

Изучение рассеяния медленных электронов на атомах (эффект Рамзауэра)

Авторы:

Рыбкина Елизавета

Хомутов Андрей

Цель работы:

Исследовать энергетическую зависимость вероятности рассеяния электронов атомами ксенона, определить энергии электронов, при которых наблюдается "просветление" ксенона, оценить размер его внешней электронной оболочки.

Теоретическое описание

Эффективное сечение реакции — это величина, характеризующая вероятность перехода системы двух сталкивающихся частиц в результате их рассеяния (упругого или неупругого) в определенное конечное состояние. Сечение σ это отношение числа таких переходов N в единицу времени к плотности потока nv рассеиваемых частиц, падающих на мишень, т.е. к числу частиц, падающих в единицу времени на единичную площадку, перпендикулярно к их скорости.

$$\sigma = \frac{N}{nv} \quad (1)$$

Эффект Рамзауэра нельзя объяснить с позиции классической теории. С квантовой же точки зрения картина рассеяния выглядит следующим образом: внутри атома потенциальная энергия падающего электрона отлична от нуля, скорость электрона меняется, становясь равной v' в соответствии с законом сохранения энергии

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{mv'^2}{2} + U$$

а значит, изменяется и длина его волны де-Бройля. Таким образом, по отношению к электронной волне атом ведет себя как преломляющая среда с относительным показателем преломления

$$n = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{1 - \frac{U}{E}} \quad (2)$$

Решение задачи о рассеянии электрона на сферическом потенциале достаточно громоздко. Поэтому рассматривают более простое одномерное приближение: электрон рассеивается на потенциальной яме конечной глубины. После решения соответствующего уравнения Шрёдингера получается выражение для коэффициента прохождения:

$$D = \frac{16k_1^2 k_2^2}{16k_1^2 k_2^2 + 4(k_1^2 - k_2^2)^2 \sin^2(k_2 l)} \quad (3)$$

где $k_1^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}$, $k_2^2 = \frac{2m(E+U_0)}{\hbar^2}$.

Как легко видно, это периодическое выражение с максимумами при

$$k_2 l = \pi n = \sqrt{\frac{2m(E+U_0)}{\hbar^2}} l \quad (4)$$

Это же условие можно получить, рассматривая интерференцию двух волн — прошедшей через атом и отраженной от границ атомного потенциала. Тогда получаются следующие выражения для эффективного размера атома l :

$$2l = \frac{h}{\sqrt{2m(E_1 + U_0)}} \quad (5)$$

$$2l = \frac{3}{2} \frac{h}{\sqrt{2m(E_2 + U_0)}} \quad (6)$$

Где E_1, E_2 — энергии, соответствующие максимуму и минимуму прохождения электронов соответственно. Исключая U_0 можно найти

$$l = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_2 - E_1)}} \quad (7)$$

А исключая l можно найти эффективную глубину потенциальной ямы атома:

$$U_0 = \frac{4}{5}E_2 - \frac{9}{5}E_1 \quad (8)$$

Так же можно вывести теоретически формулу, связывающую зависимость вероятности рассеяния электрона от его энергии:

$$w(V) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I_a(V)}{I_0} \quad (9)$$

С помощью неё, имея ВАХ тиратрона, можно построить график $w(V)$.

Схема установки

Лампа-тиратрон ТГ301/1.3Б, заполненная инертным газом, расположена непосредственно на корпусе блока источников питания (БИП). Напряжение к электродам лампы подаются от источников питания, находящиеся в корпусе прибора. Регулировка напряжения и выбор режима работы установки производится при помощи ручек управления, выведенных на лицевую панель БИП.

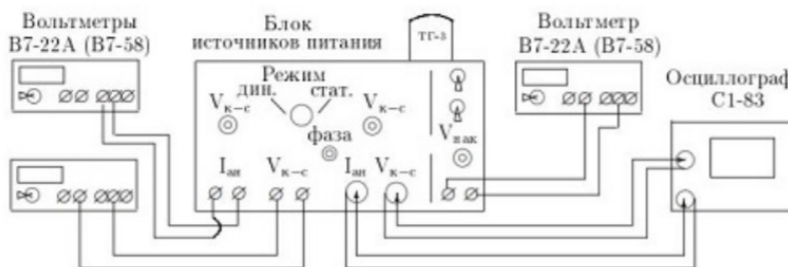


Рис. 1: Блок-схема экспериментальной установки

Ход работы и обработка результатов:

1. Подключили схему к сети переменного тока 220 В (частота 50 Гц).
2. Вначале напряжения накала поставили на уровне 2-2.5 В, осциллограф работает в режиме внешней развертки.
3. Плавно увеличивая подаваемое напряжение от генератора на тиратрон напряжение, наблюдали визуально вольт-амперную характеристику тиратрона, на которой отчетливо видны характеристические точки (максимумы и минимумы), связанные с проявлением эффекта Рамхауэра, и пробой газа.
4. Поднесли к лампе постоянный магнит. Магнитное поле "обостряет" эффект Рамзауэра, так как оно отклоняет любой электрон, испытавший упругое столкновение. Убедились, что это влияние зависит от ориентации магнита относительно оси тиратрона.