

1.3. ИЗУЧЕНИЕ РАССЕЯНИЯ МЕДЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ НА АТОМАХ (ЭФФЕКТ РАМЗАУЭРА)

Хурсик Екатерина

1 Цель работы

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

2 Метод

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

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{mv'^2}{2} + U \quad (1)$$

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 рассмотрим более простое одномерное приближение: электрон рассеивается на потенциальной яме конечной глубины. Уравнение Шрёдингера в этом случае имеет вид:

$$\psi'' + k^2\psi = 0 \quad k^2 = \begin{cases} k_1^2 = \frac{2mE}{\hbar^2} \\ k_2^2 = \frac{2m(E+U_0)}{\hbar^2} \end{cases} \quad (3)$$

Коэффициент прохождения равен отношению квадратов амплитуд прошедшей и падающей волн и определяется выражением:

$$D = \frac{16k_1^2k_2^2}{16k_1^2k_2^2 + 4(k_1^2 - k_2^2)^2 \sin^2(k_2l)} \quad (4)$$

Видно, что коэффициент прохождения частицы над ямой, в зависимости от её энергии, имеет вид чередующихся максимумов и минимумов. В частности, если $k_2l = \pi$, то коэффициент прохождения равен 1, т.е. отраженная волна отсутствует, и электрон беспрепятственно проходит через атом. Этот эффект является квантовым аналогом просветления оптики. Таким образом, коэффициент прохождения электронов максимален при условии:

$$k_2l = \sqrt{\frac{2m(E+U_0)}{\hbar^2}}l = \pi n \quad (5)$$

Прошедшая волна 1 усилится волной 2, если геометрическая разность хода между ними $\Delta = 2l = \lambda'$, что соответствует условию первого интерференционного максимума, т.е.

$$2l = \frac{h}{\sqrt{2m(E_1 + U_0)}} \quad (6)$$

С другой стороны, прошедшая волна ослабится, если $2l = \frac{3}{2}\lambda'$, т.е.

$$2l = \frac{3}{2} \frac{h}{\sqrt{2m(E_2 + U_0)}} \quad (7)$$

Решая эти уравнения совместно можно исключить U_0 и найти эффективный размер атома l :

$$l = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{2m(E_2 - E_1)}} \quad (8)$$

Понятно, что энергии E_1, E_2 соответствуют энергия электронов, прошедших разность потенциалов V_1 и V_2 . Кроме того, можно оценить эффективную глубину потенциальной ямы атома:

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

Теперь рассмотрим ВАХ тиратрона. Она имеет вид:

$$I_a = I_0 e^{-C\omega(V)}, C = Ln_a\Delta_a$$

где $I_0 = eN_0$ — ток катода, $I_a = eN_a$ — анодный ток, Δ_a — площадь поперечного сечения атома, n_a — концентрация атомов газа в лампе, L — расстояние от катода до анода, $\omega(V)$ — вероятность рассеяния электрона на атоме как функция от ускоряющего напряжения. По измеренной ВАХ тиратрона можно определить зависимость вероятности рассеяния электрона от его энергии из соотношения:

$$\omega(V) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I_a}{I_0} \quad (10)$$

В 1921г. Карл Рамзауэр исследовал зависимость поперечных сечений упругого рассеяния электронов на атомах аргона. В результате этих исследований было обнаружено явление, получившее название *эффекта Рамзауэра*.

Эффективное сечение реакции (поперечное сечение) — 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, попадающих в единицу времени на единичную площадку, перпендикулярную к их скорости v

$$\sigma = \frac{N}{nv} \quad (11)$$

Качественно результат экспериментов Рамзауэра при энергии электронов порядка десятков электрон-вольт на аргоне показан на рис.1.

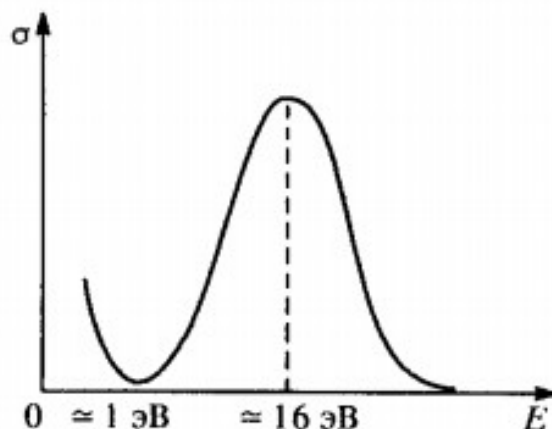


Рис. 1: результаты измерения упругого рассеяния электронов в аргоне

По мере уменьшения энергии электрона от нескольких десятков электрон-вольт поперечное сечение его упругого рассеяния растёт: чем меньше скорость электрона, тем медленнее он "проскакивает" мимо атома, тем больше вероятность этого взаимодействия, т.е. сечение реакции. Однако в эксперименте наблюдалось, что при энергиях меньше 16 эВ сечение начинает уменьшаться, а при $E \approx 1$ эВ практически равно нулю, т.е. аргон становится прозрачным для электронов. При дальнейшем уменьшении энергии электронов сечение рассеяния опять начинает возрастать.

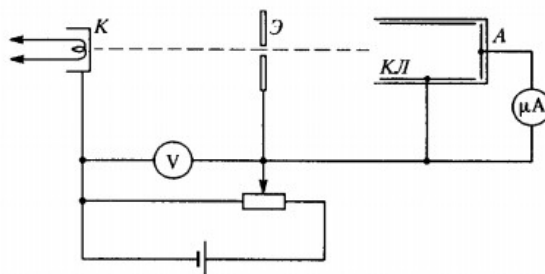


Рис. 2: Схема эксперимента Рамзауэра