

Лабораторная работа 5.1.3

Эффект Рамзауэра

Выполнил Жданов Елисей Б01-201

1 Цель работы:

- 1) Исследовать энергетическую зависимость вероятности рассеяния электроном атомами ксенона
- 2) Определить энергии электронов, при которых наблюдается "просветление" ксенона
- 3) Оценить размер внешней электронной оболочки ксенона

2 Оборудование:

Тиратрон ТГЗ-01/1.3Б

Блок-источник питания

Вольтметры

Осциллограф

3 Теоретическая справка

Рассеяние электрона на атоме можно приближённо рассматривать как рассеяние частицы энергии E на потенциальной яме длины ℓ и глубины U_0 . Уравнение Шрёдингера имеет вид

$$\Psi'' + k^2\Psi = 0,$$

где вне ямы

$$k^2 = k_1^2 = \frac{2mE}{\hbar^2},$$

а внутри

$$k^2 = k_2^2 = \frac{2m(E + U_0)}{\hbar^2}.$$

Коэффициент прохождения в таком случае равен

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

Заметим, что коэффициент прохождения имеет ряд максимумов и минимумов. Он максимальным при

$$\sqrt{\frac{2m(E + U_0)}{\hbar^2}} \ell = n\pi, n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Качественно эффект Рамзауэра можно объяснить, рассмотрев интерференцию прошедшей и дважды отразившейся от оболочки волн де Бройля. Длины волн вне и внутри атома:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}, \lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m(E + U_0)}}.$$

Соответственно условия на первые интерференционные максимум и минимум

$$2\ell = \frac{h}{\sqrt{2m(E_1 + U_0)}}, 2\ell = \frac{3}{2} \frac{h}{\sqrt{2m(E_2 + U_0)}}. \quad (2)$$

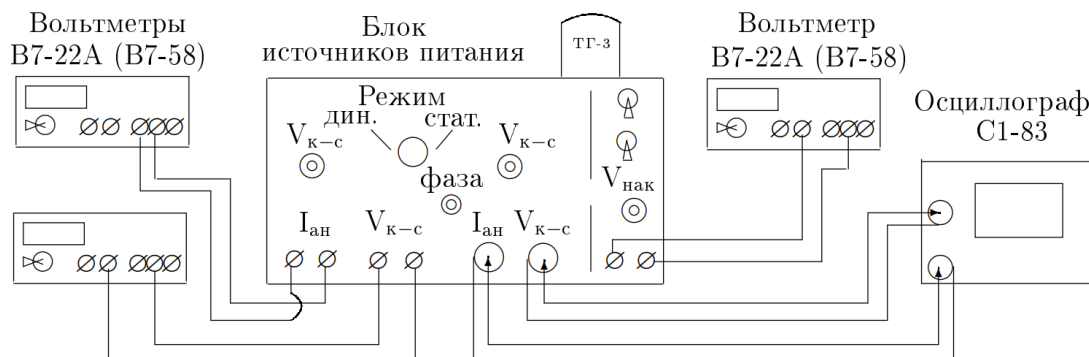
Исключая из этих соотношений глубину ямы, получим

$$\ell = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_2 - E_1)}}. \quad (3)$$

Глубина ямы при этом равна

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

4 Экспериментальная установка



Лампа-тиратрон расположена непосредственно на корпусе блока источников питания (БИП), напряжение к электродам лампы подаётся от источников питания, находящихся в корпусе прибора. Регулировка напряжения и выбор режима работы установки производится при помощи ручек управления, выведенных на лицевую панель БИП.

5 Измерения, Обработка

5.1 Динамический режим

С помощью осциллографа снимаем ВАХ в динамическом режиме при двух различных напряжениях накала.

Погрешность напряжения возьмем $\sigma_U = 0.01$ В, соответствующую его случайным колебаниям в процессе измерений.

По ВАХ определим V_{\max} , V_{\min} и $V_{\text{пробой}}$ (см. таблицу ниже). Погрешности всех проведенных на осциллографе измерений – $\sigma_V = 0.3$ В – цена деления, умноженная на $\sqrt{2}$, так как точки на двух кривых неточно совпадали по своему положению.

	U , В	V_{\max} , В	V_{\min} , В	$V_{\text{пробой}}$, В
1	2.60 ± 0.01	1.6 ± 0.4	6.2 ± 0.4	11.4 ± 0.4
2	2.97 ± 0.01	1.8 ± 0.4	5.2 ± 0.4	11.2 ± 0.4

Таблица 1: Измерения по ВАХ тиратрона

Проверим расчёт ℓ по формулам (2) на предмет того, яма меньше предполагаемых $U_0 = 2.5$ эВ или нет.

Действительно для первого напряжения лампы:

$$l(1) = \frac{h}{\sqrt{2m(V_{\max} + U_0)}} = 3.03 \pm 0.16 \text{ А}$$

$$l(2) = \frac{h}{\sqrt{2m(V_{\min} + U_0)}} = 3.12 \pm 0.08 \text{ А}$$

Для второго:

$$l(1) = \frac{h}{\sqrt{2m(V_{\max} + U_0)}} = 2.96 \pm 0.15 \text{ А}$$

$$l(2) = \frac{h}{\sqrt{2m(V_{\min} + U_0)}} = 3.32 \pm 0.09 \text{ А}$$

Также найдём ℓ и глубину ямы по формулам (3) и (4):

$$\ell(U_{\text{нак}} = 2.6\text{В}) = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_2 - E_1)}} = 3.20 \pm 0.3 \text{ А}$$

$$\ell(U_{\text{нак}} = 2.6\text{В}) = \frac{h\sqrt{5}}{\sqrt{32m(E_2 - E_1)}} = 3.70 \pm 0.5 \text{ А}$$

$$U_0(U_{\text{нак}} = 2.6\text{В}) = 2.1 \pm 1.0 \text{ эВ.}$$

$$U_0(U_{\text{нак}} = 2.97\text{В}) = 0.9 \pm 1.0 \text{ эВ.}$$

Усредним значения и получим результат

$$U_0 = 1.5 \pm 0.8 \text{ эВ.}$$

$$\ell = 3.5 \pm 0.3 \text{ А}$$

Погрешности посчитаны на основании абсолютных и статистической погрешностей величин.

С теоретическими значениями $\ell = 2.8 \text{ А}$ и $U_0 = 2.5 \text{ В}$ полученные величины сходятся в рамках погрешностей, хотя и заметно отличаются.

Оценим ионизационный потенциал как

$$U = U_0 + V_{\text{пробой}} = 12.8 \pm 1.2 \text{ эВ.}$$

Сравнивая с потенциалами ионизации, приведёнными в описании работы, видим, что полученный потенциал в пределах погрешности совпадает с ионизационным потенциалом ксенона $U = 12.1 \text{ эВ}$.

5.2 Статический режим

Теперь снимем ВАХ титратрона в статическом режиме при тех же значениях напряжения накала, представим данные в виде графиков ниже. Проведя аналогичные расчёты, получим:

	$U, \text{В}$	$V_{\text{max}}, \text{В}$	$V_{\text{min}}, \text{В}$	$V_{\text{пробой}}, \text{В}$
1	2.60 ± 0.01	1.6 ± 0.2	6.0 ± 0.5	11.5 ± 0.5
2	2.97 ± 0.01	1.7 ± 0.2	5.2 ± 0.5	11 ± 1

Таблица 2: Измерения по ВАХ титратрона

$$\ell = 3.4 \pm 0.3 \text{ А}$$

$$U_0 = 1.4 \pm 0.5 \text{ эВ.}$$

График ниже был предварительно усреднен, а погрешность оценена таким образом: показания тока плыли на характерные 5 мкА за время подстройки напряжения. Фак-

тически такие кресты погрешности будут у точек графика. Обозначим погрешность размером точек. Характерная погрешность по напряжению окажется 0.5 Вольт у минимума и 0.2 Вольт у максимума.

Из формулы (1) оценим значения напряжений максимумов порядка $n > 2$:

$$E_2 = 20.41 \text{ эВ}, E_2 = 47.61 \text{ эВ}, E_4 = 85.69 \text{ эВ}.$$

Полученные энергии выше потенциала ионизации, поэтому эти максимумы уже не будут наблюдаться.

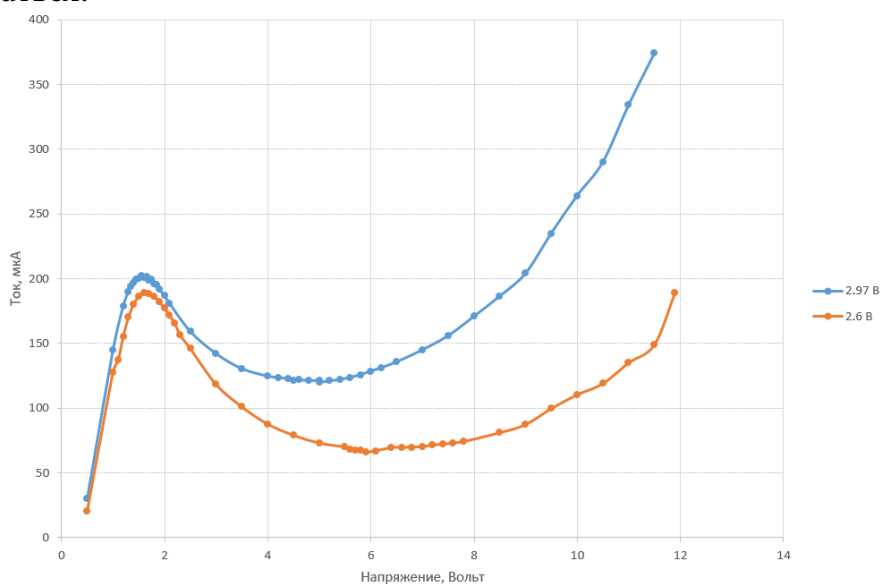


Рис. 1: ВАХ титратрона при разных напряжениях накала.

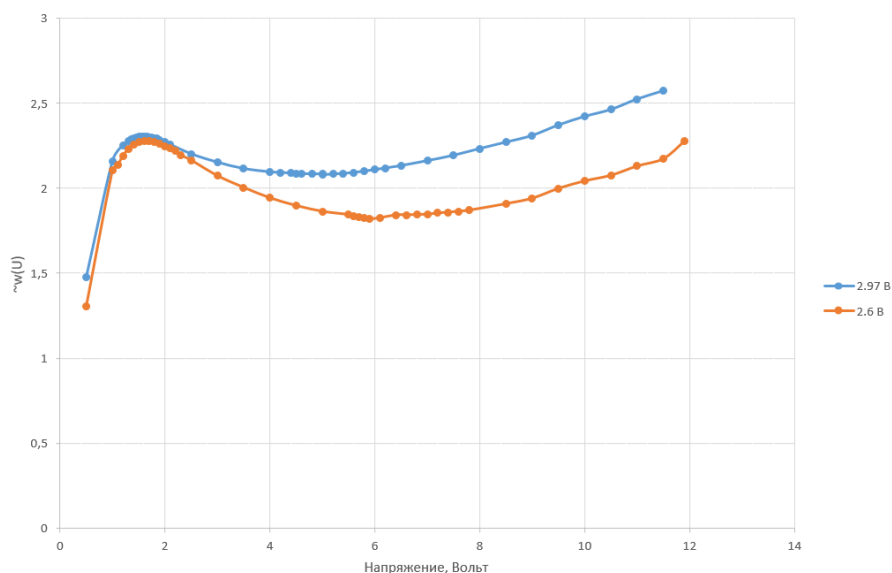


Рис. 2: Качественный вид зависимости $w = w(V)$.

Наконец, можно получить зависимость вероятности рассеяния от напряжения на титротроне. Качественный график приведён на рисунке (поскольку ток катода неизвестен и зависит от напряжения на лампочке)

6 Вывод

Полученные значения, хоть и близки к теоретическим, оказались немного заниженными.

Тем не менее, эксперимент прекрасно подтверждает сам эффект Рамзауэра, на вольт-амперных характеристиках отчетливо видны пики максимума и минимума поглощения.

Подведем вывод по полученным значениям:

	Энергия ионизации, эВ	U_0 В	ℓ , А
Теоретически	12.1	2.5	2.8
Динамика	12.8 ± 1.2	1.7 ± 0.2	3.5 ± 0.3
Статика	12.9 ± 1.0	1.4 ± 0.5	3.4 ± 0.3

Таблица 3: Результаты

Принципиальной разницы в точности статического и динамического метода не было обнаружено, что в очередной раз подчеркивает, что оборудование было хорошо откалибровано, и все значения корректные.

Вероятностное распределение также зависит от напряжения согласованно с теорией.

Итак, все цели работы выполнены.