

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ № 1.3

Эффект Рамзауэра - изучение рассеяния медленных электронов на атомах.

Выполнила студентка Б01-907

Юлия Прохорова

Содержание

1. Цель работы	2
2. Оборудование	2
3. Теория	2
4. Экспериментальная установка	3
5. Ход работы	4
6. Обработка результатов	5
7. Вывод	6
8. Литература	6

1. Цель работы

Исследовать энергетическую зависимость вероятности рассеяния электронов атомами инертного газа, определить энергию электронов, при которой наблюдается «просветление» инертного газа и оценить размер его внешней электронной оболочки.

2. Оборудование

Тиратрон ТГЗ-01, источник питания, электронный осциллограф, вольтметр, амперметр.

3. Теория

Качественно эффект Рамзауэра наблюдался на примере аргона: при уменьшении энергии электрона поперечное сечение упругого рассеяния ($\sigma = \frac{N}{nv}$) растет - чем меньше скорость электрона, тем медленнее он проскакивает мимо атома, тем больше времени атом и электрон взаимодействуют, а, значит, и вероятность взаимодействия растет. Однако в эксперименте с аргоном при энергиях менее 16эВ сечение начинает уменьшаться, а при 1эВ практически нулевое. При дальнейшем уменьшении энергии сечение рассеяния опять возрастает. Объяснение эффекта потребовало учета волновой природы электронов. Поучок электронов, вылетая из накаливаемого катода, проходит ускоряющую разность потенциалов между катодом и электродом и приобретает $E = \frac{mv^2}{2} = eV$. При прохождении через газ часть электронов рассеивается на атомах, уходит в сторону и собирается электродом, остальные же попадают на анод и создают анодный ток I , который пропорционален числу вошедших электронов.

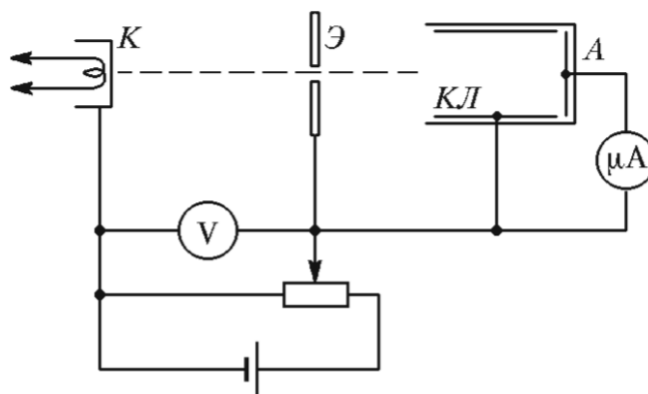


Рис. 1: Схема установки для измерения сечения рассеяния электронов в газах

При столкновении с атомом скорость электрона меняется, а, значит, меняется и длина его волны де Бройля. Следовательно для электронной волны газ - преломляющая среда с $n = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{1 - \frac{U}{E}}$, U - потенциальная энергия налетающего электрона, $\lambda = \frac{h}{mv}$.

Рассеяние электрона на атоме можно приближённо рассматривать как рассеяние частицы энергии E на потенциальной яме шириной 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

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

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

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

Это условие легко получить, рассмотрев интерференцию прошедшей и дважды отразившейся от оболочки волн де Бройля.

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

Соответственно условия на первые интерференционные максимум и минимум

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

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

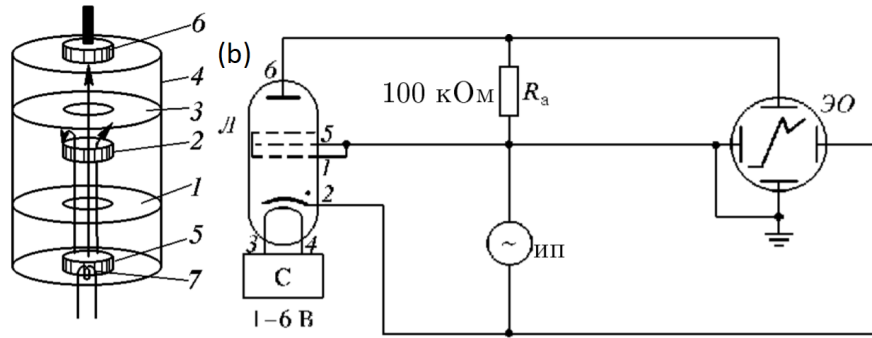


Рис. 2: (а) Схема тиратрона (слева) и его конструкция (справа): 1,2,3 – сетки, 4 – внешний металлический цилиндр, 5 – катод, 6 – анод, 7 – накаливаемая спираль. (б) Схема включения тиратрона.

Для изучения эффекта используется тиратрон ТГЗ-01/1.3Б, заполненный инертным газом (Рис. 1а). Электроны эмитируются катодом, ускоряются напряжением V и рассеиваются на атомах газа (ксенона). Сетки соединены между собой и имеют один потенциал, примерно равный потенциалу анода. Рассеянные электроны отклоняются и уходят на сетку, а оставшиеся достигают анода, создавая ток I_a . Таким образом, поток электронов на расстоянии x от ускоряющей сетки уменьшается с ростом x . ВАХ анода должна быть

$$I_a = I_0 \exp(-Cw(V)), \quad (5)$$

где $I_0 = eN_0$ – ток катода, $I_a = eN_a$ – ток анода, $C = Ln_a\Delta_a$ (L – расстояние между катодом и анодом, Δ_a – площадь поперечного сечения атома, n_a – концентрация газа в лампе), $w(V)$ – вероятность рассеяния на атоме. Формулу (5) можно переписать в виде

$$w(V) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I_a(V)}{I_0}. \quad (5a)$$

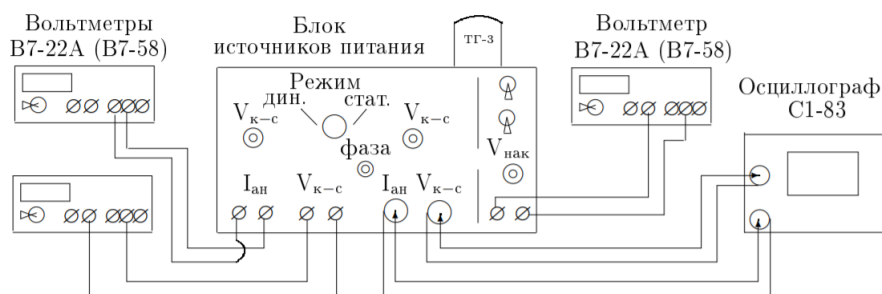


Рис. 3: Схема установки.

5. Ход работы

- 1) Подключили схему к сети переменного тока 220В (частота 50Гц).
- 2) Вначале напряжение накала установили на уровне 2 – 2,5В, осциллограф - в режиме внешней развертки.
- 3) Плавно увеличивая подавая от генератора на тиратрон напряжение, наблюдали ВАХ тиратрона.
- 4) Поднеся к лампе постоянный магнит, убедились, что магнитное поле обостряет эффект Размауэра.
- 5) Провели измерения ВАХ тиратрона на двух значениях напряжения накала.

Unak, В	Vmax, В	Vmin, В	Vpr, В
2,6	1,6	7,2	11,4
2,3	1,5	6,0	13,6

Таблица 1: Измерения, проведенные с помощью ЭО.

V, В	0,60	0,71	0,81	0,92	1,00	1,12	1,20	1,31	1,42	1,52	1,60	1,71	1,81	1,91
I, мА	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,13	0,21	0,34	0,45	0,52	0,53	0,52	0,51	0,46
V, В	2,01	2,13	2,21	2,30	2,46	2,50	2,60	2,71	2,81	2,92	3,01	3,13	3,22	3,31
I, мА	0,44	0,40	0,38	0,35	0,30	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15
V, В	3,40	3,51	3,63	3,71	3,82	3,92	4,01	4,11	4,20	4,32	4,41	4,62	4,86	4,95
I, мА	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09
V, В	5,15	5,25	5,40	5,59	5,77	5,94	6,24	6,56	6,90	7,20	7,57	7,70	7,90	8,25
I, мА	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
V, В	8,57	8,80	9,10	9,42	9,55	9,80	10,60	11,05	11,58					
I, мА	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14					

Таблица 2: ВАХ титрана при $U_{\text{нак}} = 2,303\text{В}$

V, В	0,43	0,50	0,61	0,72	0,74	0,75	0,81	0,86	0,91	0,96	1,06	1,10	1,16	1,22
I, мА	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,06	0,09	0,15	0,30	0,38	0,51	0,67
V, В	1,28	1,36	1,42	1,48	1,50	1,54	1,58	1,64	1,80	1,85	1,96	2,00	2,10	2,22
I, мА	0,82	1,02	1,14	1,27	1,31	1,37	1,43	1,49	1,58	1,58	1,56	1,55	1,51	1,44
V, В	2,31	2,45	2,71	2,87	3,01	3,30	3,55	3,69	3,93	4,05	4,24	4,53	4,84	5,04
I, мА	1,38	1,30	1,13	1,05	0,95	0,81	0,72	0,68	0,63	0,60	0,57	0,53	0,49	0,47
V, В	5,33	5,69	5,90	6,70	7,20	7,60	8,10	8,81	9,46	10,07	10,75	11,45		
I, мА	0,44	0,42	0,42	0,40	0,40	0,40	0,42	0,46	0,51	0,67	0,71	0,89		

Таблица 3: ВАХ титрана при $U_{\text{нак}} = 2,608\text{В}$

6. Обработка результатов

- 1) Построим ВАХ тиратрона при разных напряжениях накала.

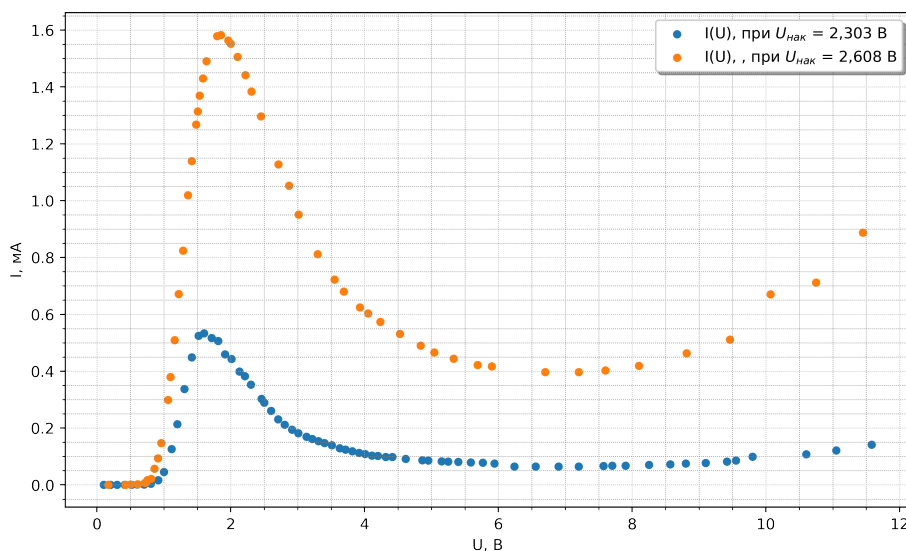


Рис. 4: ВАХ тиратрона при разных напряжениях накала.

- 2) По напряжению пробоя убеждаемся, что тиратрон наполнен ксеноном, чье напряжение ионизации составляет 12,1 эВ.
- 3) Считаем $U_0 = 2,5$ эВ, а ℓ найдем из формул (2), причем $l_{\text{теор}} = 108$ пм.
 $l_1 = 111,9 \pm 2,4$ пм, отличается от теоретического почти на 4%.
 $l_2 = 108,5 \pm 2,4$ пм, отлично сходится в пределах погрешности.
- 4) Рассчитаем также по формуле (3)
 $l = 124,1 \pm 2,7$ пм, отличается от теоретического на 15%.
- 5) Из формулы (1) оценим значения напряжений максимумов порядка $n > 2$:

$$E_2 = 16.7 \text{ эВ}, E_3 = 40.7 \text{ эВ}, E_4 = 74.3 \text{ эВ}.$$

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

- 6) Наконец, в соответствии с (5а), можно получить качественную зависимость вероятности рассеяния от напряжения на титротроне.

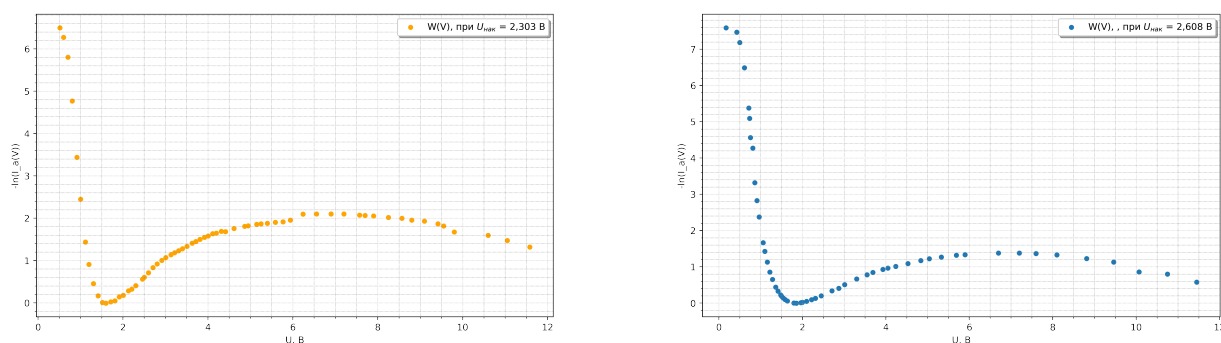


Рис. 5: График качественной зависимости $w(V) = -\frac{1}{C} \ln \frac{I_a(V)}{I_0}$

7. Вывод

В ходе работы была статическим и динамическим методом исследована ВАХ титратрона, в обоих случаях соответствующая теоретической, получено значение размера внешней оболочки атома инертного газа.

8. Литература

Игошин Ф.Ф., Самарский Ю.А., Ципенюк Ю.М. - Лабораторный практикум по общей физике: Учеб. пособие для вузов. Т. 3 Квантовая физика. М.: Физматкнига, 2005.