

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5.1.2

Исследование эффекта Комптона

Автор работы: Хоружий Кирилл

От: 18 ноября 2021 г.

Цель работы

1. Исследование энергетического спектра γ -квантов, рассеянных на графите, с помощью сцинтилляционного спектрометра;
2. Определение энергии рассеянных γ -квантов в зависимости от угла рассеяния;
3. Определение энергии покоя частиц, на которых происходит комптоновское рассеяние.

Оборудование

Источник излучения, графитовый стержень, сцинтилляционный счётчик, ФЭУ, ЭВМ

Экспериментальная установка

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. На рисунке обозначены: А – амперметр; Б7-4 – стабилизированный источник питания (подаёт напряжение накала); K_1 – тумблер для включения в цепь источника Б7-4; Б5-10 – выпрямитель (подаёт на анод ускоряющее напряжение); Pi_3 – потенциометр, регулирующий величину ускоряющего напряжения; V_1 – вольтметр, измеряющий величину ускоряющего напряжения; 4,5 В – батарея КБСЛ, – источник задерживающего потенциала; Pi_2 – потенциометр, регулирующий величину задерживающего потенциала; V_2 – вольтметр, измеряющий величину задерживающего потенциала; K_3 – ключ, переключающий схему из статического режима в динамический; Т – понижающий трансформатор, – подаёт ускоряющий потенциал при динамическом режиме.

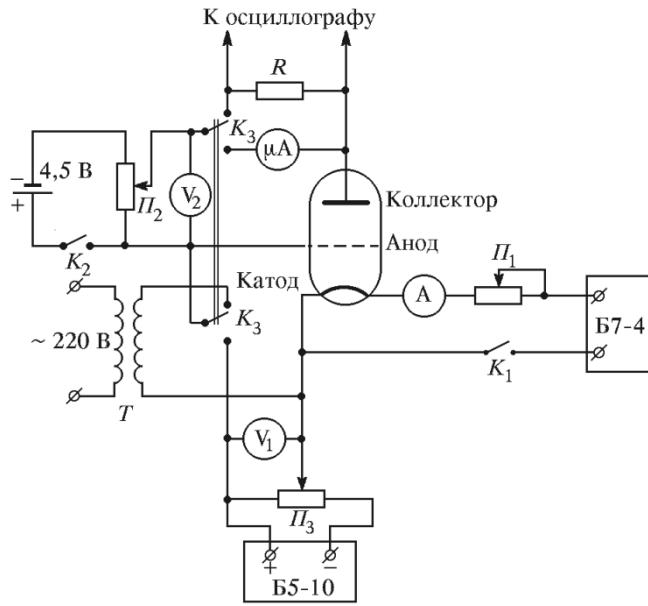


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

Разреженный одноатомный газ заполняет трёхэлектродную лампу. Электроны, испускаемые разогретым катодом, ускоряются в постоянном электрическом поле, созданном между катодом и сетчатым анодом лампы. Передвигаясь от катода к аноду, электроны сталкиваются с атомами гелия.

Теория

Рассмотрим столкновение электрона с атомом Не. Если энергия электрона недостаточна, чтобы возбудить/ионизировать атом то *упругое столкновение*, электрон не теряет энергию.

При большой разности потенциалов энергия электрона достаточна для возбуждения атомов, а значит происходит *неупругое столкновение*, кинетическая энергия передаётся одному из атомных электронов, в результате чего происходит:

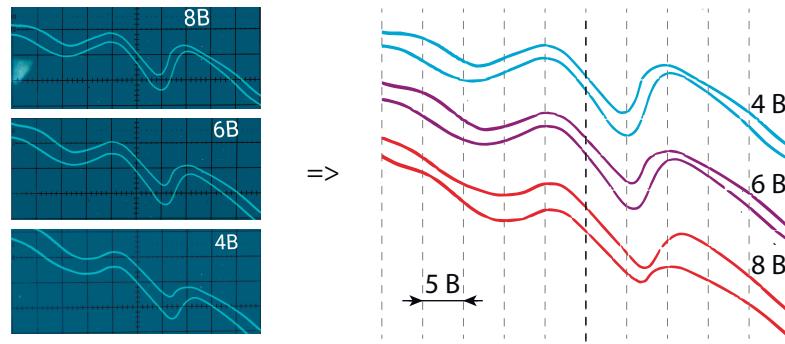
- **возбуждение** – переход одного из атомных электронов на свободный энергетический уровень;
- **ионизация** – отрыв электрона от атома.

А значит, измерив ΔU_1 между максимумами и минимумами, отстоящих на равное расстояние, определим энергию первого возбужденного состояния.

Измерения

Далее используются обозначения: U_2 – задерживающий потенциал, U_1 – ускоряющее напряжение, I – ток коллектора.

Динамический режим. В динамическом режиме, измерим ВАХ лампы $I(U)$, см. рис. 2. Оцифруем полученные зависимости, и измерим для них ΔU , см. таблицу 1.

Рис. 2: Измерение ΔU_1 в динамическом режиме

Среднее значение для $\Delta U_{1,\text{dyn}}$ получилось: $\Delta U_{1,\text{dyn}} = (18 \pm 1)$ В. Погрешность обусловлена разбросом снятых с ВАХ значений.

Статический режим. В статическом режиме, посмотрим на ВАХ лампы $I(U)$, см. таблицу 2. Погрешность измерений: $\sigma[U_1] = 0.1$ В, $\sigma[I] = 0.5 \mu\text{A}$. Построим зависимость $I(U)$ для различных запирающих напряжений, см. рис. 3.

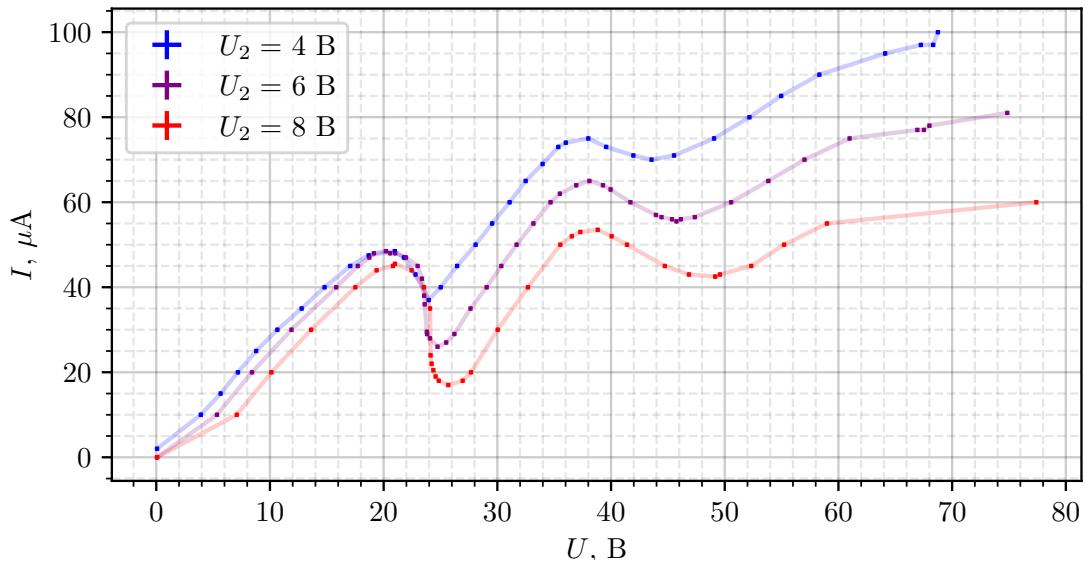


Рис. 3: Измерение ВАХ в статическом режиме при различных запирающих напряжениях.

Определим максимумы и минимумы найденных зависимостей, см. таблицу 1. Заметим, что расстояние для максимумов и минимумов ΔU различается. Возможно, это связана с особенностями измерения максимумов и минимумов. Скорее всего это связано с особенностями установки.

U_2 , В	$U_1^{\min I}$, В	$U_1^{\min II}$, В	ΔU_1^{\min} , В	$U_1^{\max I}$, В	$U_1^{\max II}$, В	ΔU_1^{\max} , В	$\Delta U_{1,\text{dyn}}$, В
4	24.0	43.6	20	21.0	38.0	17	17
6	24.7	45.8	21	20.2	38.1	18	18
8	25.7	49.2	23	21.0	38.1	17	18

Таблица 1: Результаты измерения экстремумов

Про измерение максимумов. В статическом режиме тщательно измерялись области вблизи экстремумов. За экстремум бралась точка такая, что изменения U_1 приводили к отступлению вверх/вниз от экстремума на $\sigma[I] = 0.5 \mu\text{A}$.

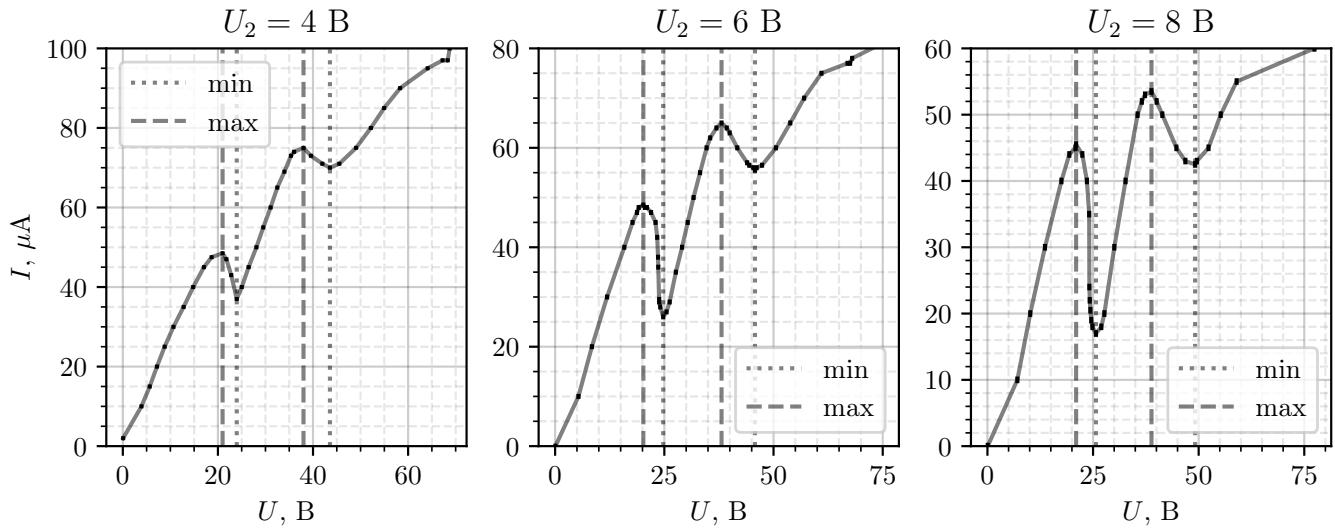


Рис. 4: Определение экстремумов ВАХ лампы в статическом режиме

На рис. 4 приведены измеренные таким образом значения для экстремумов.

Результат измерений. Итого, средние значения для ΔU в статическом режиме получились:

$$\Delta U_{1,\text{stat}}^{\min} = (21 \pm 1) \text{ В},$$

$$\Delta U_{1,\text{stat}}^{\max} = (17 \pm 1) \text{ В},$$

$$\Delta U_{1,\text{dyn}} = (18 \pm 1) \text{ В},$$

$$\Delta U_{1,\text{table}} = 21.6 \text{ В},$$

где также приведено табличное значение $\Delta U_1^{\text{table}}$. Нетрудно перевести эти результаты в единицы энергии E возбуждения первого уровня атома Не:

$$E_{\text{stat}}^{\min} = (21 \pm 1) \text{ эВ},$$

$$E_{\text{stat}}^{\max} = (17 \pm 1) \text{ эВ},$$

$$E_{\text{dyn}} = (18 \pm 1) \text{ эВ},$$

$$E_{\text{table}} = 21.6 \text{ эВ}.$$

Ближе всего к табличному оказалось значение E_{stat}^{\min} .

Выводы

Воспроизведен опыт Франка-Герца. Подтверждено наличие дискретных уровней возбуждения атомов. Двумя способами измерен ВАХ вакуумной лампы, по которому определена энергия возбуждения первого уровня атома Не, совпадающие с табличным значением по порядку.

Наиболее близким к табличному, оказалось измерения E по минимуму в статическом режиме:

$$E_{\text{stat}}^{\min} = (21 \pm 1) \text{ эВ}, \quad E_{\text{table}} = 21.6 \text{ эВ}.$$

Приложение

Таблица 2: Измерения $U_2 = 4$ В

U_1 , В	I , μA
0.1	2.0
3.9	10.0
5.6	15.0
7.1	20.0
8.7	25.0
10.6	30.0
12.7	35.0
14.8	40.0
17.0	45.0
18.6	47.5
20.9	48.5
21.7	47.0
22.8	43.0
23.9	37.0
25.0	40.0
26.4	45.0
28.0	50.0
29.5	55.0
31.0	60.0
32.4	65.0
33.9	69.0
35.3	73.0
36.0	74.0
38.0	75.0
39.5	73.0
41.9	71.0
43.5	70.0
45.5	71.0
49.0	75.0
52.1	80.0
54.9	85.0
58.3	90.0
64.1	95.0
67.2	97.0
68.3	97.0
68.7	100.0

Таблица 3: Измерения $U_2 = 6$ В

U_1 , В	I , μA
0.1	0.0
5.3	10.0
8.4	20.0
11.8	30.0
15.8	40.0
17.7	45.0
18.7	47.0
19.1	48.0
20.2	48.5
20.5	48.0
21.0	48.0
21.9	47.0
22.9	45.0
23.3	42.0
23.5	38.0
23.6	36.0
23.8	29.5
23.8	29.0
24.0	28.0
24.7	26.0
25.5	27.0
26.2	29.0
27.6	35.0
29.0	40.0
30.3	45.0
31.6	50.0
33.1	55.0
34.6	60.0
35.5	62.0
36.9	64.0
38.1	65.0
39.2	64.0
39.9	63.0
41.7	60.0
43.9	57.0
44.4	56.5
45.3	56.0
45.7	55.5
46.1	56.0
47.3	56.5
50.5	60.0
53.8	65.0
57.0	70.0
60.9	75.0
66.9	77.0
67.5	77.0
68.0	78.0
74.8	81.0

Таблица 4: Измерения $U_2 = 8$ В

U_1 , В	I , μA
0.1	0.0
7.0	10.0
10.1	20.0
13.6	30.0
17.5	40.0
19.3	44.0
20.8	45.0
20.9	45.5
22.4	44.0
23.5	40.0
24.0	35.0
24.1	24.0
24.2	22.0
24.3	20.5
24.5	19.0
24.8	18.0
25.6	17.0
26.9	18.0
27.6	20.0
30.0	30.0
32.6	40.0
35.5	50.0
36.5	52.0
37.3	53.0
38.8	53.5
40.0	52.0
41.4	50.0
44.7	45.0
46.8	43.0
49.1	42.5
49.5	43.0
52.3	45.0
55.2	50.0
58.9	55.0
77.4	60.0