

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА

Цель работы: ознакомиться с компьютерной моделью опыта Франка и Герца; найти первые потенциалы возбуждения и длины волн резонансного излучения исследуемых газов.

Приборы и принадлежности: компьютерная программа «Опыт Франка и Герца».

Краткая теория

В основе квантовой модели атома Н. Бора лежат два постулата:

1. В атоме существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния, в которых он не излучает энергии. Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны. Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением электромагнитных волн. В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные квантованные значения момента импульса, удовлетворяющие условию $mvr_n = n\hbar$ ($n=1,2,3,\dots$)

2. При переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) один фотон с энергией

$$h\nu = E_n - E_m,$$

равной разности энергий соответствующих стационарных состояний.

Франк и Герц провели в 1913 г. опыты для доказательства дискретности значений энергии атомов.

Схематичное изображение установки для проведения опыта (рис. 1):

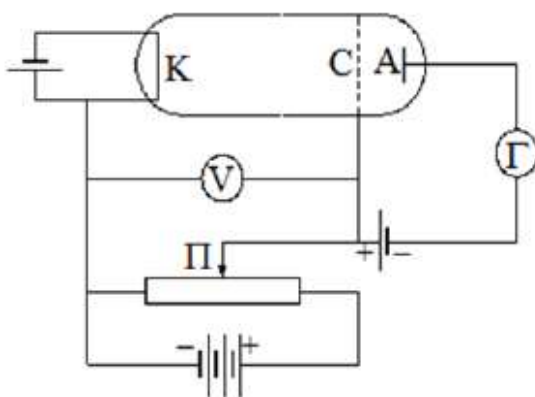


Рис. 1

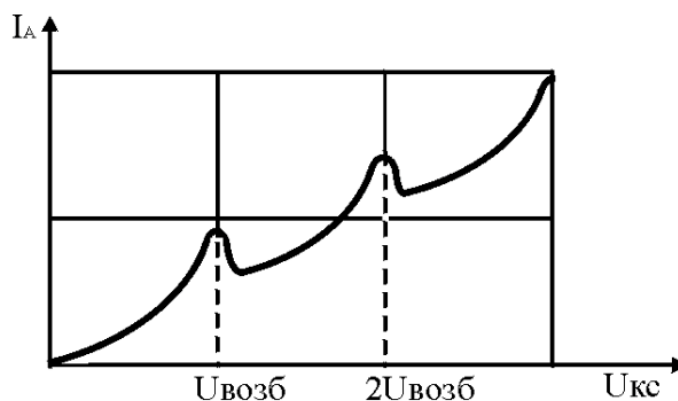


Рис. 2

Зависимость силы тока I в цепи анода от напряжения U в опыте Франка и Герца (рис. 2).

Соударения между электроном и атомом газа носят упругий характер, если энергия электрона меньше величины eU_{Π} .

Соударения между электроном и атомом газа носят неупругий характер, если энергия электрона кратна величине eU_{Π} .

Первый потенциал возбуждения – это величина, равная отношению разности энергий первого возбужденного и основного состояний атома к элементарному электрическому заряду:

$$U_{\Pi} = \frac{E_2 - E_1}{e}.$$

В данной работе первый потенциал возбуждения находится по формулам:

$$U_{\Pi 1} = U_{\max 2} - U_{\max 1}; \quad U_{\Pi 2} = U_{\max 3} - U_{\max 2}; \quad U_{\Pi 3} = U_{\min 2} - U_{\min 1}. \quad (1)$$

Энергия ΔE , передаваемая при этом атомам газа, связана с первым потенциалом возбуждения:

$$\Delta E = eU_{\Pi}.$$

Длина волны резонансного излучения газа определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{ch}{eU_{\Pi}} \quad (2)$$

Порядок выполнения работы

1. Зададим на экране дисплея один из исследуемых газов по указанию преподавателя.
2. Определим шаг изменения напряжения в опыте. Задаваемые значения напряжения $U_1, U_2, U_3, \dots$ запишем в таблицу 1.
3. С помощью компьютерной программы определим и занесем в таблицу 1 соответствующие выбранным напряжениям токи $I_1, I_2, I_3, \dots$.

Таблица 1

Газ	k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Аргон	U, В	1,0	3,0	5,0	7,0	8,0	9,0	10,1	11,0	11,6	12,0	13,0	14,1	15,0	16,0	18,1	20,0	21,0	22,1
	I, mA	1	7	18	37	48	60	76	91	99	87	65	50	45	46	60	85	101	121

Газ	k	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Аргон	U, В	23,0	24,0	25,0	26,1	27,0	28,0	29,0	30,1	32,0	33,0	34,1	34,6	35,0	36,1	37,0	38,1	39,0	40,0
	I, mA	141	105	79	63	59	62	70	83	116	135	160	173	153	106	86	73	71	77

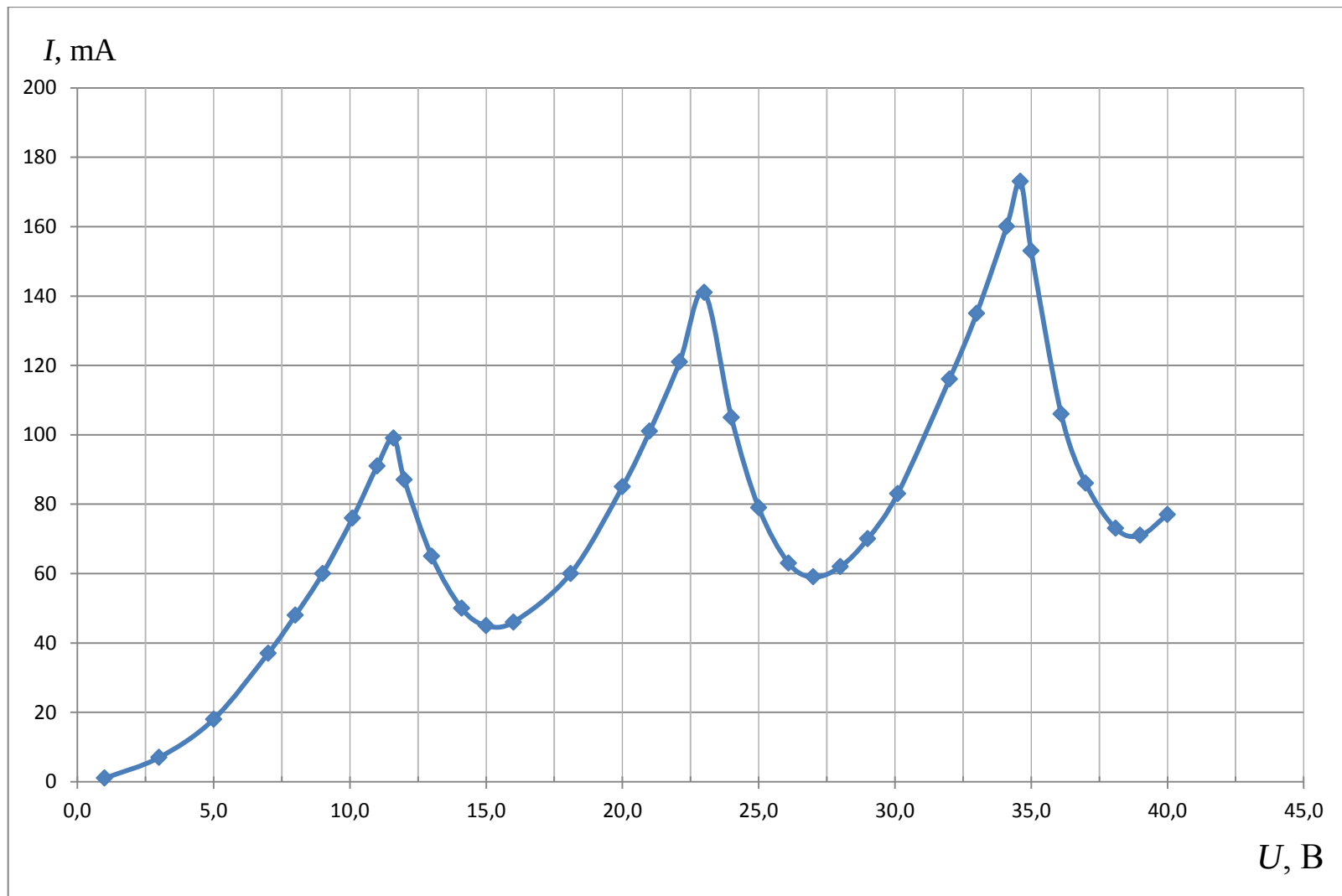
Обработка результатов измерений

1. По данным таблицы 1 построим график зависимости $I = f(U)$. Найдем по графику значения напряжений $U_{\max 1}, U_{\min 1}, U_{\max 2}, U_{\min 2}, U_{\max 3}$, занесем найденные значения в таблицу 2.

Таблица 2

Газ	$U_{\max 1}$	$U_{\min 1}$	$U_{\max 2}$	$U_{\min 2}$	$U_{\max 3}$
Аргон	В	В	В	В	В
	11,6	15,0	23,0	27,0	34,6

Вольт-амперная характеристика



2. Найдем значения первого потенциала возбуждения согласно формулам (1). Результаты занесем в табл. 3.

$$U_{\Pi 1} = U_{\max 2} - U_{\max 1} = 23,0 - 11,6 = 11,4 \text{ (В)}$$

$$U_{\Pi 2} = U_{\max 3} - U_{\max 2} = 34,6 - 23,0 = 11,6 \text{ (В)}$$

$$U_{\Pi 3} = U_{\min 2} - U_{\min 1} = 27,0 - 15,0 = 12,0 \text{ (В)}$$

1. Вычислим среднее значение первого потенциала возбуждения. Результат занесем в табл. 3.

$$\langle U_{\Pi} \rangle = 11,67 \text{ (В)}$$

4. Найдем отклонения $U_{\Pi i}$ от среднего:

$$\Delta U_{\Pi 1} = |\langle U_{\Pi} \rangle - U_{\Pi 1}| = 0,27 \text{ (В)}$$

$$\Delta U_{\Pi 2} = |\langle U_{\Pi} \rangle - U_{\Pi 2}| = 0,07 \text{ (В)}$$

$$\Delta U_{\Pi 3} = |\langle U_{\Pi} \rangle - U_{\Pi 3}| = 0,33 \text{ (В)}$$

5. Найдем среднюю квадратичную погрешность

$$S_{U_{\Pi}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta U_{\Pi i})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,27^2 + 0,07^2 + 0,33^2}{3 \cdot (3-1)}} = 0,1764 \text{ (В)}$$

6. Зададим надежность α и по таблице найдем коэффициент Стьюдента:

$$t_{\alpha} = 2,35 \text{ при } \alpha = 0,9 \text{ и } n = 3$$

7. Найдем абсолютную погрешность первого потенциала возбуждения. Результат занесем в табл. 3.

$$\Delta U_{\Pi} = t_{\alpha} \cdot S_U = 2,35 \cdot 0,1764 = 0,4145 \text{ (В)}$$

8. Найдем относительную погрешность первого потенциала возбуждения. Результат занесем в табл. 3.

$$\varepsilon_U = \frac{\Delta U_{\Pi}}{\langle U_{\Pi} \rangle} \cdot 100\% = \frac{0,4145}{11,67} \cdot 100\% = 3,6\%$$

9. Найдем среднюю длину волны резонансного излучения исследуемого газа согласно формуле (2). Результат занесем в табл. 3.

$$\langle \lambda \rangle = \frac{ch}{e \langle U_{\Pi} \rangle} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 11,67} = 1,065 \cdot 10^{-7} \text{ (м)}$$

6. Рассчитаем абсолютную и относительную погрешности определения величины λ по методу обработки результатов косвенных измерений.

$$\varepsilon_{\lambda} \approx \varepsilon_U = 3,6\%$$

$$\Delta \lambda = \frac{\varepsilon_{\lambda} \cdot \langle \lambda \rangle}{100\%} = 0,036 \cdot 1,065 \cdot 10^{-7} = 0,03834 \cdot 10^{-7} \text{ (м)}$$

Результаты занесем в таблицу 3.

Таблица 3

Газ	$U_{\Pi 1}$	$U_{\Pi 2}$	$U_{\Pi 3}$	$\langle U_{\Pi} \rangle$	ΔU_{Π}	$\varepsilon_{U_{\Pi}}$	$\langle \lambda \rangle$	$\Delta \lambda$	ε_{λ}
	В	В	В	В	В	%	нм	нм	%
Аргон	11,4	11,6	12,0	11,7	0,4	3,6	107	4	3,6

Выводы

В работе изучалась компьютерная модель опыта Франка и Герца.

В качестве газа, заполняющего лампу, использовался аргон.

По экспериментальным данным построена вольт-амперная характеристика, по которой определены положения максимумов и минимумов вольт-амперной характеристики, разность потенциалов которых равна первому потенциалу возбуждения.

Рассчитаны значения первого потенциала возбуждения:

$$11,4 \text{ В}; 11,6 \text{ В}; 12,0 \text{ В}.$$

Экспериментальное значение первого потенциала возбуждения:

$$U_{\Pi} = (11,7 \pm 0,4) \text{ В}, \alpha = 0,9, \varepsilon = 3,6 \%$$

Экспериментальное значение длины волны резонансного излучения:

$$\lambda = (107 \pm 4) \text{ нм}, \alpha = 0,9, \varepsilon = 3,6\%$$

Справочные значения первого потенциала возбуждения и длины волны резонансного излучения для аргона равны соответственно 11,56 В и 107,5 нм.

Экспериментальные и справочные значения первого потенциала возбуждения и длины волны резонансного излучения совпадают с учетом погрешности измерений.