

## Лабораторна робота №2

### Вивчення ефекту Франка і Герца

**Мета:** Виявити дискретні рівні енергії атомів при допомозі досліду Франка і Герца,

**Прилади та обладнання:** Джерела постійної напруги, амперметр, мікроамперметр, вольтметр, потенціометри, трьохелектродна лампа, вимикачі.

#### Теоретичний вступ

Дослід Франка і Герца, проведений у 1913р, став яскравим експериментальним підтвердженням постулатів Бора про існування стаціонарних енергетичних станів атомів та випускання або поглинання атомом кванта випромінювання при переході з одного стаціонарного стану в інший.

Ідея досліду полягає у вимірюванні кількості енергії, яка передається атому під час його зіткнень з електронами,

Оскільки атоми володіють дискретними значеннями енергії, то удари між електронами і атомами можуть бути як пружні, так і непружні.

Удар називають пружним, якщо електрон не передає атому енергію, а лише змінює напрям своєї швидкості.

Непружним називають удар, в результаті якого за рахунок енергії електрона змінюється внутрішній стан атома, тобто електрон при зіткненні з атомом передає атому ту енергію, яка потрібна для переведення його в збуджений стан.

У досліді джерелом електронів є катод (К), а досліджуваною речовиною — пари ртуті при тиску 0,1 мм рт. ст. (рис. 1). Між сіткою і анодом створюється слабе затримуюче електричне поле (напругою близько

0,5В) і визначається залежність анодного струму (I) від напруги на сітці(U).

Добуту криву показано на рис.2. Першого максимуму сила струму досягає, при напрузі 4,9В. Потім величина струму різко спадає. Наступний максимум наступає при напрузі 9,8В і т. д. Пояснити таку залежність I від U можна тільки наявністю стаціонарних станів атома ртуті.

Якщо напруга менша 4,9В, то зіткнення електронів з ато-

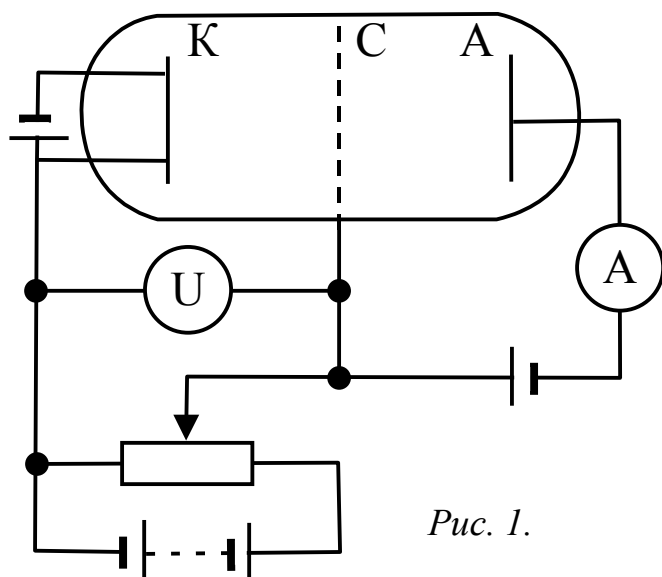


Рис. 1.

мами пружні. Струм  $I$  зростає пропорційно напрузі  $U$ . Коли напруга підвищується до 4,9В, зіткнення електронів з атомами вже непружні. Внутрішня енергія атома збільшується стрибком, а електрон після зіткнення втрачає всю свою кінетичну енергію. Затримуюче поле не пропускає до анода повільні електрони, і величина струму різко зменшується.

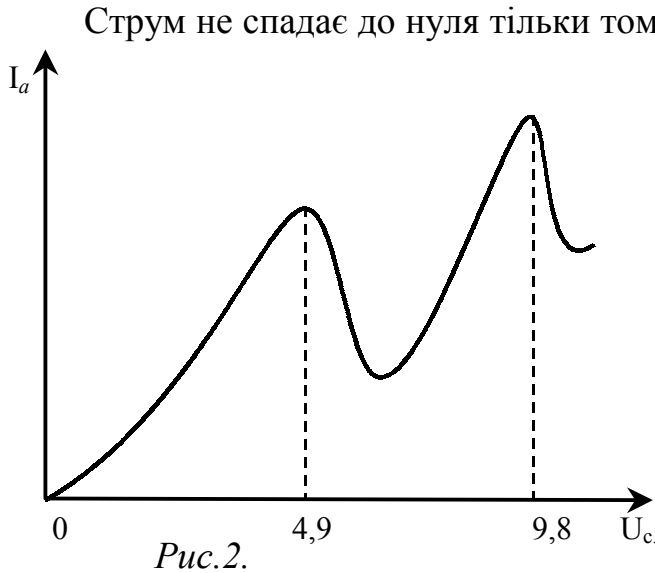


Рис.2.

Струм не спадає до нуля тільки тому, що якась частина електронів досягає сітки, не зазнавши непружних зіткнень. Другий максимум кривої, поданої на рис, 2, виникає тому, що при напрузі 9,8В електрони на шляху до сітки зазнають двох непружних зіткнень.

Потрібної для непружного зіткнення енергії електрон набуває тільки тоді, коли досягає сітки після проходження різниці потенціалів 4,9В. Звідси впливає, що внутрішня енергія атомів

ртуті не може змінюватися на величину, меншу  $\Delta W = 4,9\text{eV}$ . Отже, внутрішня енергія атома не може набути довільних значень і не може змінюватися на довільні значення. Це свідчить про те, що атом має дискретний набір стаціонарних станів. Правильність цього висновку підтверджується й тим, що при напрузі 4,9В пари ртуті починають випромінювати. Частота випромінювання, знайдена за формулою

$$\omega = \frac{\Delta W}{\hbar}, \quad (1)$$

$\hbar$  – стала Планка;  $\Delta W = eU$ ;  $U$  – критичний потенціал атома ртуті, збігається з експериментальним спостереженням. Це означає, що збуджені атоми ртуті переходять потім у нижчі енергетичні стани і випромінюють світлові кванти відповідно до другого постулату Бора,

Критичним потенціалом називають різницю потенціалів, пройшовши яку, електрон при зіткненні з атомом зазнає непружного удару, Критичний потенціал переходу атома з основного стану в перший збуджений стан називають першим або резонансним. Критичний потенціал переходу атома з основного стану в другий збуджений стан називають другим і т.д,

Аналогічні досліди були проведені із іншими газоподібними речовинами. Було встановлено, що в парі калію електрони втрачають енергію порціями в 1,63 eV; в парі натрію — порціями в 2,12 eV; в гелію – порціями в 21eV.

### Опис методу і установки

Вивчення недружних ударів електронів з атомами інертних газів в даній лабораторній роботі проводять на установці принципова схема якої показана на рис. 3. Робочою лампою є радіолампа тиратрон ТГ-01/03, запов-

нений аргоном, також використовують лампи для вимірювання вакууму ЛМ-2 або ПМИ-2, заповнені гелієм.

Для визначення резонансного потенціалу атома аргону і довжини хвилі фотона, випромінюваного ним, знімають вольт-амперну характеристику лампи  $I = f(U)$  при незмінній напрузі  $U_1$ .

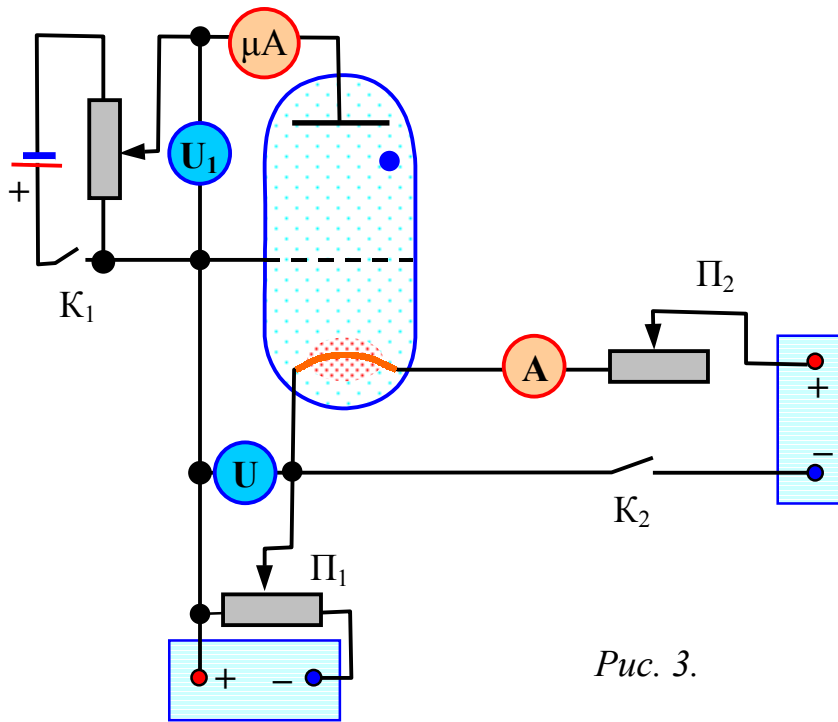


Рис. 3.

Підігрівання катода здійснюється за допомогою потенціометра  $\Pi_2$  на блоці живлення ІЭПП-1. Перед вмиканням ручки потенціометрів встановлюють в нульове положення. Величина струму в колі анода вимірюється мікроамперметром ( $\mu A$ ), а струм розжарення – амперметром (A). На анод відносно сітки подається невеликий від'ємний потенціал

( $U_1$ ), який створює слабе затримуюче електричне поле. На сітку відносно катода подається прискорюючий потенціал (U). Мікроамперметром ( $\mu A$ ) і вольтметром (U) реєструється зміна I від U.

При знятті вольт-амперної характеристики виникає ряд експериментальних труднощів. Падіння потенціалу вздовж нитки розжарення створює відмінність прискорюючих потенціалів між сіткою і різними точками нитки розжарення. В результаті отримується немоноенергетичний пучок електронів. Це, в основному, і впливає на форму кривої і на положення максимумів. Крім цього із усіх співударів при критичному потенціалі лише певна їх частка виявиться непружною. Цей фактор істотно впливає на глибину мінімуму. Спотворюючими факторами є також наявність об'ємних зарядів, можливе забруднення парами інших елементів відповідно з іншими потенціалами збудження, а також вторинні ефекти (фотоэффект від випромінювання збуджених атомів та ін.)

Також слід прийняти до уваги, що катод і анод в трубці з гарячим катодом завжди бувають зроблені із різних металів. Тому між катодом і анодом при відсутності зовнішньої напруги обов'язково є контактна різниця потенціалів, яка також належить до спотворюючих факторів.

Вмикання прискорюючої напруги U здійснюється тумблером "Сеть" на блоці живлення ВУП-2, а подається U на сітку лампи через потенціометри на блоці живлення і на панелі лампи (плавна зміна напруги).

Крива затримки залежності анодного струму  $I$  від затримуючого потенціалу  $U_1$  знімається при незмінній різниці потенціалів  $U$ . Добуту криву затримки, тобто криву розподілу електронів за енергіями (рис. 4), використовують для оцінки поперечного перерізу електронно-атомних зіткнень.

За графіком (рис, 4) визначають  $I$  та  $\Delta I$ , де  $I$  початковий струм, а  $I$  –

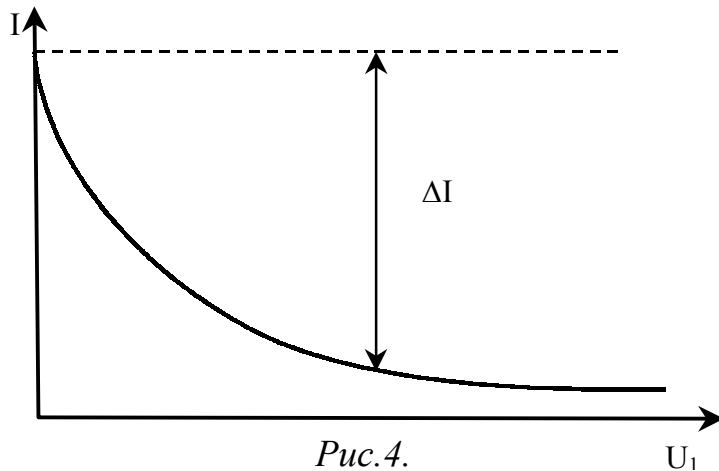


Рис.4.

число електронів, які зазнали непружного удару з атомами в об'ємі  $V$  між сіткою і анодом:

$$V = Sd, \quad (2)$$

де  $S$  – площа сітки,  $d$  – відстань між сіткою і катодом.

Теорія удару [1] дає для  $\Delta I$  співвідношення:

$$\Delta I \approx eNnv\sigma V, \quad (3)$$

де  $e$  – заряд електрона,  $N$  – концентрація атомів газу,  $n$  – концентрація електронів,  $v$  – швидкість електрона;  $\sigma$  – поперечний переріз непружного удару електрона з атомом.

З деяким наближенням потік електронів можна оцінити так

$$nv = I / (S \cdot e). \quad (4)$$

Поперечний переріз непружного удару електрона з атомом, отриманий із співвідношень (2), (3), (4).

$$\sigma \approx \frac{\Delta I}{I} \cdot \frac{1}{Nd}. \quad (5)$$

Концентрацію атомів газу можна визначити з рівняння

$$N = \frac{P}{kT}, \quad (6)$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $T$  – температура катода ( $\sim 2000$  К,  $P$  – тиск газу.

Тоді

$$\sigma = \frac{\Delta I}{I} \cdot \frac{kT}{Pd}. \quad (7)$$

## Порядок виконання роботи

1. Зібрати електричне коло у відповідності із схемою, зображеною на рис. 3.
2. Перед ввімкненням установки в мережу перевірити положення потенціометрів, ручки яких повинні знаходитись в крайньому лівому положенні. Ввімкнути джерела живлення.
3. Потенціометром на блоці живлення ІЭПП-1 встановити струм розжарювання 0,5 А (1,14 А). Струм розжарювання необхідно змінювати повільно, очікуючи встановлення стаціонарного режиму роботи катода.
4. Зніміть залежність  $I = f(U)$  при  $U_1 = \text{const}$  для значень  $U_1$  (1В, 2В, 3В), змінюючи  $U$  від 0 до 30В за допомогою ручки потенціометра  $\Pi_1$ .
5. Побудуйте графік залежності  $I = f(U)$  при  $U_1 = \text{const}$ . За графіком визначте значення резонансного потенціалу атома гелію.
6. Згідно з формулою (1) обчислити довжину хвилі фотона, що випромінюється атомом гелію.
7. При постійній напрузі на сітці  $U$  виміряти величини анодного струму  $I$ , змінюючи потенціометром затримуючу напругу. від 0 до 11В через 1В на джерелі живлення постійного струму Б5-50.
8. Побудувати графік залежності  $I = f(U_1)$  і визначити на ньому  $I$  та  $\Delta I$ .
9. Згідно з формулою (7) оцінити поперечний переріз електронно-атомних зіткнень.

## Контрольні запитання

1. Сформулюйте постулати Бора.
2. Що називається пружним і непружним ударом електрона з атомом?
3. Що підтверджує дослід Франка і Герца?
4. Чому мінімальне значення анодного струму не дорівнює нулю?
5. Як пояснюється світіння газів при електричному розряді?
6. Пояснити характер зміни вольт-амперної характеристики в досліді Франка з Герца.

## Література

1. Шпольський З.В. Атомна фізика. К., Вища школа. Т. 1, 1963,
2. Білий М.І. Атомна фізика. К., Вища школа, 1973.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 5, Ч. 1. Атомная физика. М., Наука, 1986.
4. Загальна фізика. Лабораторний практикум. / Під ред. І.Т. Горбачука. К., Вища школа, 1992.
5. Лабораторные занятия по физике / Под ред. Л.Л. Гольдина. М., Наука, 1983,