

Лабораторна робота № 10

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОНА МЕТОДОМ ТОМОСОНА

Мета роботи – визначити відношення заряду електрона до його маси на основі взаємної компенсації відхилень, викликаних взаємно перпендикулярними електричним і магнітним полями, які одночасно діють на електрони, що рухаються перпендикулярно до обох полів.

Прилади та пристрой: осцилограф типу 10-70; катушка індуктивності; блок живлення УІП-2; вольтметр; змінний резистор.

Теоретичні відомості

Ідея методу визначення питомого заряду електрона належить відомому англійському фізику Дж. Томсону. Він використав цей метод 1897 року, щоб встановити природу катодних і анодних променів у трубках з розрідженими газами. Ці досліди привели до відкриття електрона та ізотопів, а також вперше було визначено питомий заряд електрона.

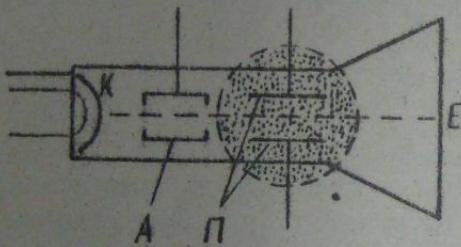


Рис.10.1

На рис.10.1 зображене схему приладу для визначення питомого заряду електрона методом Томсона. За джерело струму працює катод в підігрівом K . Електрони, що виходять з катода, прискорюються і фокусуються анодом A , якщо має форму циліндра. Сфокусований пучок електронів потрапляє в простір між пластинами P плоского конденсатора, а потім на флуоресцентний екран E , викликаючи його свічення під дією електронів. Усі елементи приладу знаходяться в скляному балоні, в якому створено вакуум. Якщо на пластини конденсатора подати напругу, то пучок електронів рухатиметься в практично однорідному електричному полі, яке відхилятиме електрони у вертикальному напрямі. Внаслідок цього пучок електронів потрапить не в центр екрана, а зміститься на деяку відстань y /рис.10.2/. Обчислимо це зміщення.

Розглянемо вузький пучок електронів, який за відсутності електричного поля потрапляє на екран у точку O . Знайдемо відхилення сліду пучка на екрані, викликаного однорідним електричним полем, перпендикулярним до напряму руху електронів, і діючого на шляху довжиною L . Позначимо початкову швидкість електронів v_0 . На електрон в електричному полі діє сила $F = qE$, яка надає йому постійного

На рис.10.1 зображене схему приладу для визначення питомого заряду електрона методом Томсона. За джерело струму працює катод в підігрівом K . Електрони, що виходять з катода, прискорюються і фокусуються анодом A , якщо має форму циліндра. Сфокусований пучок електронів потрапляє в простір між пластинами P плоского конденсатора,

за значенням і напрямом прискорення $a_y = eE/m$. Під дією електричного поля електрони знаходяться протягом часу $t = \ell/v_0$. За цей період вони змістяться на відстань

$$y_1 = \frac{a_y t^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \left(\frac{\ell}{v_0} \right)^2 E$$

і отримають перпендикулярну до v_0 складову швидкості

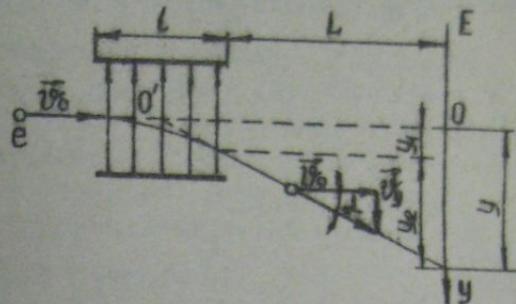


Рис.10.2

$$\vec{v}_y = \frac{e}{m} \frac{\ell}{v_0} E.$$

Зовні конденсатора електрони рухаються за інерцією прямолінійно під деяким кутом α до напряму швидкості v_0 . Тоді

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_0} = \frac{e}{m} \frac{\ell}{v_0^2} E. \quad /10.1/$$

Внаслідок цього електрон, вилетівши з конденсатора, досягне екрана зі зміщенням вздовж вертикалі на величину y_2 . Якщо позначити L відстань від екрана до більшого краю конденсатора, то зміщення y_2 можна обчислити за формулою

$$y_2 = L \operatorname{tg} \alpha = \frac{e}{m} \frac{\ell L}{v_0^2} E.$$

Отже, повне зміщення електронів в електричному полі

$$y = y_1 + y_2 = \frac{e}{m} \frac{\ell}{v_0^2} \left(L + \frac{1}{2} \ell \right) E = \operatorname{tg} \alpha \left(L + \frac{1}{2} \ell \right). \quad /10.2/$$

З формули /10.2/ випливає, що електрони, вилітаючи за межі конденсатора, рухаються так, ніби вони вилітають з центра конденсатора O' під кутом α /див. рис.10.2/. Через те що $E = V/d$, d - відстань між обкладками конденсатора/, для обчислення $\frac{e}{m}$ потрібно знати параметри приладу ℓ , L , α , v_0 , y , V . Даї останні величини можна легко виміряти, а для визначення v_0 Томсон запропонував у тій

області приладу, де є електричне поле, створити одночасно й магнітне поле /пунктирна ділянка на рис.10.1/. Це магнітне поле перпендикулярне до електричного й до початкової швидкості електронів v_0 і відхиляє електрони в тій самій площині, що й електричне поле. Напрям магнітного поля вибирається так, щоб пучок електронів відхилявся в бік, протилежний його відхиленню в електричному полі. Індукція магнітного поля B повинна бути такою, щоб вертикальна складова сили Лоренца, діючої на електрони в магнітному полі, дорівнювала електричній силі $eE = e [v_0 \times B]$. За цих умов пучок електронів у приладі не буде відхилятися, тобто потрапить у точку O на екрані. З умови рівності електричної й магнітної сил можна знайти і подати II через величини, які експериментально визначаються. Справді,

$$v_0 = \frac{E}{B} = \frac{U}{\mu_0 \mu H d}$$

Якщо магнітне поле створюється соленоїдом, то $H = nI$ і, враховуючи, що $\mu = 1$, отримаємо

$$v_0 = \frac{U}{\mu_0 n I d},$$

де I - сила струму в соленоїді; n - число витків соленоїда на одиницю його довжини.

У правій частині отриманого виразу стоять величини, які можна вимірюти в досліді, а отже й визначити v_0 . Підставивши отримане значення для v_0 у формулу /10.2/, знайдемо питомий заряд електрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{v_0^2 \gamma}{E(L + \frac{1}{2}l)} = \frac{\left(\frac{U}{\mu_0 n I d}\right)^2 \gamma}{E(L + \frac{1}{2}l) \frac{U}{d}} = k \frac{U}{I^2} \gamma, \quad /10.3/$$

де $k = \frac{1}{\mu_0 n^2 l (L + \frac{1}{2}l) d}$ - деяка величина, що залежить від параметрів приладу і є сталою для нього.

Вимірювши U , I , γ і знаючи сталу приладу k , за формулou /10.3/ можна обчислити питомий заряд електрона.

Опис експериментальної установки

Експериментальна установка для вимірювання питомого заряду електронів методом Томсона зібрана на базі серійного осцилографа ЛО-70 з

електростатичним керуванням променем. Електричне поле створюється в області між вертикально відхиляючими пластинами Π електронно-променевої трубки /рис.10.3/. Постійна напруга U подається на ці пластини від внутрішнього джерела осцилографа, а V величина регулюється потенціометром R і вимірюється виносним вольтметром V .

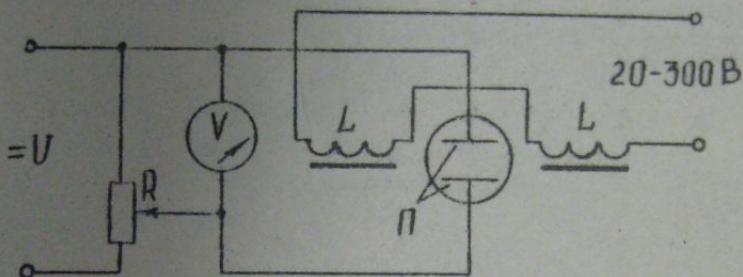


Рис.10.3

Магнітне поле, силові лінії якого йдуть горизонтально, створюється в тій самій області простору, що й електричне поле, з допомогою двох катушок індуктивності L , змонтованих зовні електронно-променевої трубки. Катушка L живиться від виходу УІІ "20-300 В". Сила струму I , що проходить через катушки, регулюється потенціометром виходу УІІ "20-300 В" і вимірюється міліамперметром, змонтованим на його передній панелі. Згідно з вимогою методу магнітне поле практично однорідне між пластинами Π і швидко спадає зовні області існування електричного поля.

Параметри установки: $\ell = 10 \text{ мм}$; $\angle = 45 \text{ мм}$; $a = 5 \text{ мм}$, $\mu = 4 \cdot 10^3 \text{ м}^{-1}$. Розмір клітинки сітки екрана $6 \times 6 \text{ мм}$.

Порядок виконання роботи

1. Встановити ручку потенціометра R на установці / і регулятора виходу "20-300 В" у крайню ліву позицію.

2. Увімкнути осцилограф і блок живлення УІІ-2 в мережу і дати прогрітися 10 хв. Здійснити попереднє регулювання осцилографа. Вимкнути генератор розгортки осцилографа і встановити слід променя в центрі екрана.

3. Обертаючи ручку потенціометра R , подати на пластини Π напругу такої величини, щоб світлова точка на екрані осцилографа змістилася від центра на відстань 5...10 мм. Величину зміщення і відповідну йому напругу U записати в таблицю.

y , мм	U , В	I , А	U/I^2
----------	---------	---------	---------

4. Обертанням ручки регулятора виходу УП "20-300 В" встановити такий струм I в котушках \angle , щоб світлова точка на екрані повернулася в свою початкову позицію в центрі екрана. Записати в таблицю силу струму I , вимірюну приладом УП.

5. Повторити вимірювання, описані в пп. 3 і 4, 5-8 разів, змінюючи зміщення y сліду електронного променя на екрані.

Обробка результатів вимірювань

1. Обчислити сталій множник κ за формулою /10.3/.

2. Користуючись даними таблиці, визначити питомий заряд електронів за формулою /10.3/ для кожного з дослідів.

3. Знайти середнє значення питомого заряду електронів за даними усіх дослідів і визначити абсолютну та відносну похибки одержаного результату порівняно з табличним значенням e/m .

4. Визначити середню швидкість електронів у пучку за даними одного з дослідів за формулою.

Контрольні запитання

1. Якою траекторією рухатиметься частинка, яка влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно до ліній індукції поля?

2. Який характер руху зарядженої частинки в однорідному магнітному полі?

3. Як виводиться рівняння кривої, якою рухається заряджена частинка в однорідному електричному полі /початкова швидкість частинки перпендикулярна до силових ліній поля/?

4. Як обчислити для попереднього випадку зміщення частинки?

5. У чому полягає метод Томсона визначення питомого заряду частинки?

6. Як побудовано пристрій для вимірювання питомого заряду електронів методом Томсона?

Лабораторна робота № II

ЗНІМАНИЯ КРИВОЇ НАМАГНІЧУВАННЯ І ПЕТЛІ ГІСТЕРЕЗИСУ
ФЕРОМАГНЕТИКІВ У ЗМІННИХ МАГНІТНИХ ПОЛЯХ

Мета роботи - дослідити процеси намагнічування і перемагнічування феромагнетиків у змінному магнітному полі.