

## Лабораторная работа 2.34.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГНИТНОЙ ФОКУСИРОВКИ

**Цель работы:** изучение закономерностей движения слаборасходящегося пучка моноэнергетических электронов, распространяющихся в однородном магнитном поле; экспериментальное определение пространственных характеристик траекторий моноэнергетических электронов, сфокусированных в электронно-лучевой трубке (ЭЛТ) при наложении внешнего магнитного поля; определение удельного заряда электрона  $e/m$ .

**Подготовка к выполнению работы:** изучить законы движения заряженных частиц в постоянных электрических и магнитных полях; уметь рассчитывать траекторию движения заряженной частицы в однородном магнитном поле; ознакомиться с устройством и работой ЭЛТ.

**Задание:** определить значения тока  $I_{\phi}$ , при которых происходит фокусировка электронов на экран ЭЛТ; на основании полученных значений  $I_{\phi}$  и параметров ЭЛТ и соленоида рассчитать удельный заряд электрона.

#### Библиографический список

1. Савельев И.В.- Курс общей физики.- М.: Наука, 1989, т.2, §§ 39, 42-44, 72-74.
2. Трофимова Т.И.- Курс физики.- М.: Высшая школа, 1990, §§ 114, 115, 119.

#### Контрольные вопросы

1. Что такое сила Лоренца?
2. Что называется удельным зарядом электрона?
3. Какова форма траектории заряженной частицы, влетающей в однородное магнитное поле перпендикулярно силовым линиям?
4. Какова форма траектории заряженной частицы, влетающей в однородное магнитное поле под отличным от прямого углом к силовым линиям поля?

5. Изменяется ли кинетическая энергия частицы, движущейся в однородном магнитном поле, если другие поля отсутствуют?
6. В чем суть способа определения удельного заряда электрона методом магнитной фокусировки?
7. Какие другие методы определения удельного заряда электрона вы знаете?
8. Чему равно табличное значение удельного заряда электрона?

### Описание аппаратуры и метода измерений

В настоящей работе используется один из классических способов определения удельного заряда электрона - метод магнитной фокусировки. В основе метода лежат закономерности движения заряженных частиц в однородных магнитных полях. В частности, если из некоторой точки однородного магнитного поля под небольшими углами  $\theta$  к его направлению с одинаковой скоростью вылетают электроны (или другие заряженные частицы), то их траектории вновь пересекутся (сфокусируются) в точках, положение которых определяется величиной индукции магнитного поля  $B$ , скоростью электронов  $V$  и удельным зарядом электрона  $e/m$ , где  $e$ - заряд электрона,  $m$ - его масса.

Принципиальная схема установки представлена на рис. 1.

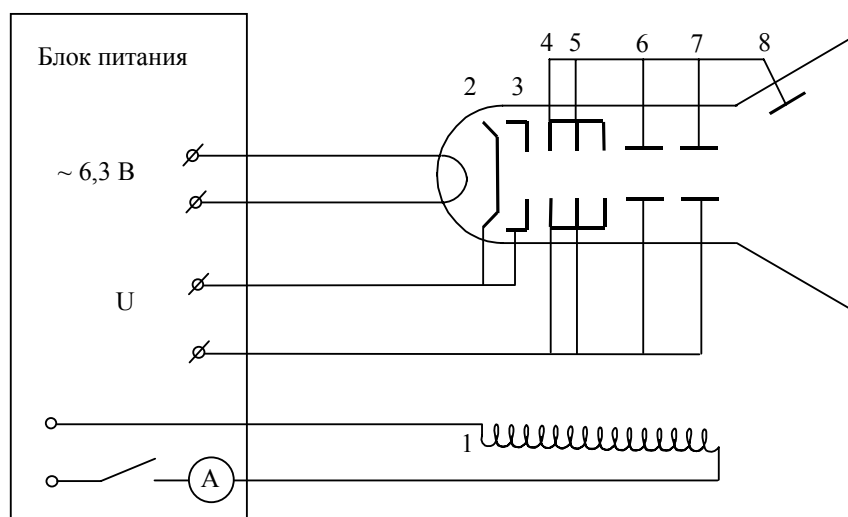


Рис. 1

1-соленоид, 2- катод, 3- модулятор, 4, 5, 8- аноды, 6, 7- отклоняющие пластины.

Ее основным элементом является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), расположенная на оси соленоида 1 (длинной многослойной цилиндрической катушки). В ЭЛТ формируется моноэнергетический пучок электронов. Для этого между соединенными накоротко катодом 2 и модулятором 3 и так же замкнутыми анодами 4, 5, 8 и отклоняющими пластинами 6, 7 прилагается напряжение  $U$ , создающее (в результате такого соединения) ускоряющее электрическое поле лишь между расположенными модулятором 3 и первым анодом 4. В результате испущенные раскаленным катодом электроны приобретают скорость

$$V = \sqrt{\frac{2eU}{m}}, \quad (1)$$

где  $e$ - заряд электрона,  $m$ - его масса. Их часть, прошедшая малое отверстие в первом аноде, образуют узкий пучок электронов, направленный вдоль ЭЛТ.

В отсутствие внешнего магнитного поля этот пучок, достигнув экрана ЭЛТ, образует на нем светящееся пятно диаметром  $d \approx 5$  мм, позволяющее определить максимальное угловое отклонение  $\theta$  электронов пучка от оси ЭЛТ. Для нашего типа трубки (7Л055И) расстояние от катода до экрана  $l = 10$  см. Поэтому  $\theta \leq d/2l = 2,5 \cdot 10^{-2} \ll 1$ .

При пропускании тока  $I$  через обмотку соленоида сформированный в ЭЛТ многоэлектронный пучок электронов движется в однородном магнитном поле

$$B = \mu\mu_0 \frac{NI}{L}, \quad (2)$$

где  $\mu$  - магнитная проницаемость среды;  $\mu_0 = 4 \cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнитная постоянная;  $N$  - число витков соленоида;  $L$  - его длина.

Вследствие этого на каждый электрон со стороны магнитного поля действует сила Лоренца, равная:

$$\vec{F}_e = e[\vec{v}, \vec{B}] = e[\vec{v}_\parallel, \vec{B}] + e[\vec{v}_\perp, \vec{B}] = e[\vec{v}_\perp, \vec{B}], e[\vec{v}_\parallel, \vec{B}] = 0, \quad (3)$$

где  $v_{\parallel} = v_0 \cos \theta$ , и  $v_{\perp} = v_0 \sin \theta$  - параллельная и перпендикулярная полю  $\vec{B}$  составляющие скорости  $\vec{v}_0$  электрона, соответственно.

Определим форму траектории электрона. Из формулы (1) видно, что в любой момент времени проекция силы Лоренца на направление магнитного поля  $\vec{B}$  равно нулю, поэтому движение электрона в этом направлении есть равномерное прямолинейное движение со скоростью  $v_{\parallel} = v_0 \cos \theta$ . С другой стороны сила Лоренца в любой момент перпендикулярна  $v_{\perp}$ , т.е. создаваемое этой силой ускорение для  $v_{\perp}$  является нормальным и не может изменить величины  $v_{\perp}$ . Тогда согласно (1) и сила Лоренца  $F_L$  остается неизменной по величине. Таким образом, движение электрона в плоскости, перпендикулярной индукции магнитного поля  $\vec{B}$ , есть движение с постоянной скоростью под действием постоянной по величине силы, перпендикулярной вектору скорости, т.е. является движением по окружности. Радиус этой окружности  $R$  и период обращения  $T$  равны:

$$R = \frac{v_{\perp}}{(e/m)B} = \frac{v_0 \sin \theta}{(e/m)B}, \quad (4)$$

$$T = \left( \frac{2\pi}{B} \right) \left( \frac{m}{e} \right). \quad (5)$$

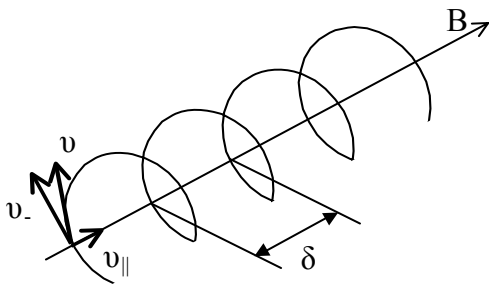


Рис. 2..

Результирующая траектория движения представляет собой цилиндрическую спираль, ось которой совпадает с направлением  $\vec{B}$  (см. рис. 2). Шаг спирали  $\delta$  найдем, умножив  $v_{\parallel}$  на период обращения  $T$ :

$$\delta = 2\pi \left( \frac{m}{e} \right) \frac{v_0 \cos \theta}{B} \quad (6)$$

В нашем случае  $\theta \ll 1$ , и, следовательно,

$$\delta = \frac{2\pi\nu_0}{(e/m)B}, \quad (7)$$

т.е. расстояние  $\delta$ , проходимое электронами вдоль силовой линии за один оборот, не зависит от  $\theta$  ( $\theta \ll 1$ ). Поэтому траектории всех электронов, вышедших из малого отверстия первого анода вновь пересекутся в точках, лежащих на прямой, параллельной  $\vec{B}$  и отстоящих друг от друга на расстоянии  $\delta$ , определяемом (7).

Изменением тока через соленоид можно подобрать такие значения  $\vec{B}$ , при которых расстояние от первого анода до экрана удовлетворяет условию:

$$l = n\delta; n = 1, 2, 3, \dots, \quad (8)$$

где  $n$ - номер фокусировки. При этом точка пересечения траекторий попадает на экран— электронный пучок фокусируется. В противном случае светящееся пятно на экране будет размытым. Согласно (1), (7), (8) электронный пучок будет сфокусирован на экране ЭЛТ, если:

$$\frac{l}{n} = \frac{2\pi}{(e/m)B} \sqrt{2 \frac{eU}{m}}. \quad (9)$$

Отсюда, учитывая (2), ( $\mu=1$ ):

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U}{\delta^2 B^2} = \frac{8\pi^2 U n^2 L^2}{\mu_0^2 N^2 l^2 I_\phi^2}, \quad (10)$$

здесь  $I_\phi$ - ток соленоида, при котором происходит фокусировка электронов на экран ЭЛТ. Величины  $U$ ,  $L$ ,  $l$ ,  $N$  указаны на установке.

### Порядок выполнения работы

1. Собирают схему измерений согласно рис. 1.
2. Включают блок питания ЭЛТ и соленоида.
3. При нулевом значении тока соленоида наблюдают на экране ЭЛТ размытое светящееся пятно. Измеряют диаметр  $d$  пятна и оценивают угол  $\theta$  расходимости электронного пучка по формуле  $\theta = d/2l$ .

4. Правильно регулируя ток соленоида, наблюдают на экран ЭЛТ последовательную фокусировку и расфокусировку электронного пучка.
5. Определяют значения тока  $I_\phi$  соленоида, при которых пучок фокусируется.

### **Обработка результатов измерения**

1. На основании проведенных измерений по формуле (10) рассчитывают удельный заряд электрона.
2. Относительную погрешность измерений определяют по формуле:

$$E = \frac{\Delta(e/m)}{(e/m)} = \frac{\Delta U}{U} + 2 \frac{\Delta L}{L} + 2 \frac{\Delta l}{l} + 2 \frac{\Delta I_\phi}{I}$$

Определяют абсолютную погрешность измерений  $\Delta(e/m)$ .  
Результаты измерений записывают в виде  $(e/m)_{cp} \pm \Delta(e/m)$ .

3. Сравнивают полученные значения удельного заряда электрона с табличными.