

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 $I_{\text{ф}}$, при которых происходит фокусировка электронов на экран ЭЛТ; на основании полученных значений $I_{\text{ф}}$ 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 θ 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.

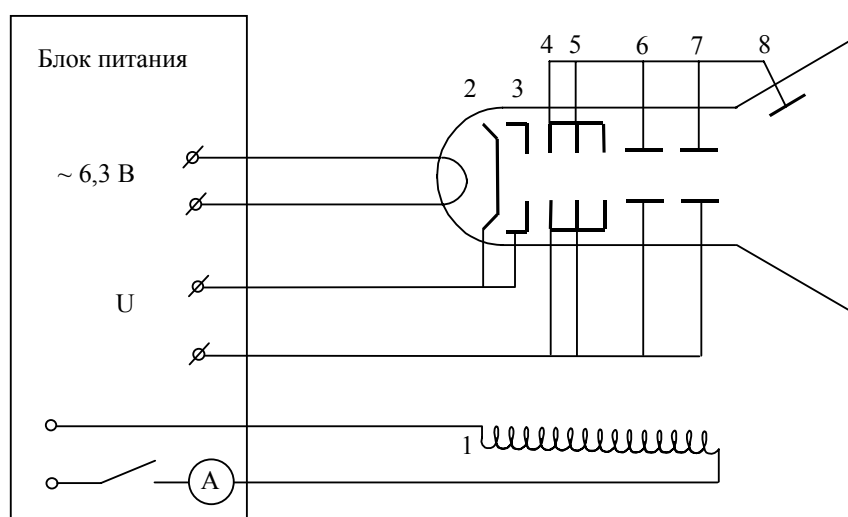


Рис. 1

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 θ 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 μ - 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:

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

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

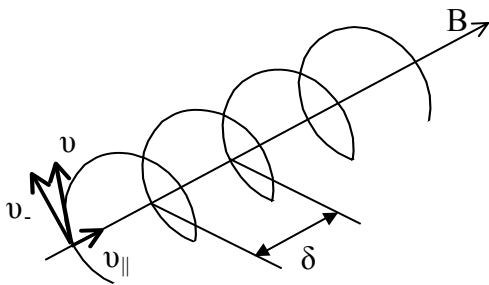


Рис. 2..

Результирующая траектория движения представляет собой цилиндрическую спираль, ось которой совпадает с направлением \vec{B} (см. рис. 2). Шаг спирали δ 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 δ , проходимое электронами вдоль силовой линии за один оборот, не зависит от θ ($\theta \ll 1$). 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 δ , 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_ϕ - 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 θ 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_ϕ 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.