

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

Учебно-методическое руководство  
по выполнению лабораторной работы № 6-2

Уфа 2007

Методическое руководство содержит краткую теорию движения частиц в магнитном поле и описание одного из методов определения удельного заряда электрона.

Предназначено для студентов всех специальностей.

Составитель: Кондрашев О.Ф., доцент, докт. техн. наук  
Рецензент: Лейберт Б.М., доцент, канд. техн. наук

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ.** Изучение закономерностей движения заряженных частиц в магнитном поле.

**ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.** Электронно-лучевая трубка с источником питания и узлами управления, киловольтметр, катушки Гельмгольца, амперметр.

**КРАТКАЯ ТЕОРИЯ.** Анализ движения электрона в электрическом и магнитном полях позволяет определить отношение его заряда к массе  $\left(\frac{e}{m}\right)$  – удельный заряд электрона из следующих соображений. При движении электрона со скоростью  $\mathbf{V}$  в магнитном поле с индукцией  $\mathbf{B}$  на него действует сила Лоренца:

$$\mathbf{F} = e[\mathbf{V} \cdot \mathbf{B}] \quad (1)$$

Эта сила перпендикулярна как движению частиц, так и направлению магнитного поля. Если  $\mathbf{V} \perp \mathbf{B}$ , то траектория движения представляет собой окружность (рис. 1), т.к. сила Лоренца выступает как центростремительная сила:

$$\frac{mV^2}{r} = eVB, \quad (2)$$

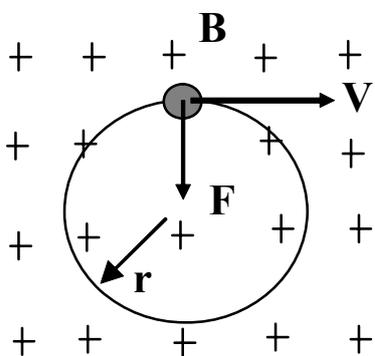


Рис. 1

где  $r$  – радиус окружности.

До скорости  $V$  электроны разгоняются в электрическом поле, пройдя разность потенциалов  $U$ . Кинетическая энергия частиц в ускоряющем электрическом поле равна:

$$\frac{mV^2}{2} = eU, \quad (3)$$

Из (2) и (3) следует, что удельный заряд электрона можно определить из выражения:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2}, \quad (4)$$

где параметры  $U$ ,  $B$  и  $r$  находятся экспериментально.

В данной лабораторной работе непосредственное измерение радиуса траектории невозможно, так как движение электронов происходит в электронно-лучевой трубке (ЭЛТ), представляющей собой вакуумированный стеклянный сосуд (рис. 2), где с помощью электронной пушки (1) формируется узкий пучок электронов, ускоряемых высоким напряжением ( $U \sim 1000$  В), которое приложено между электронной пушкой и анодом (2).

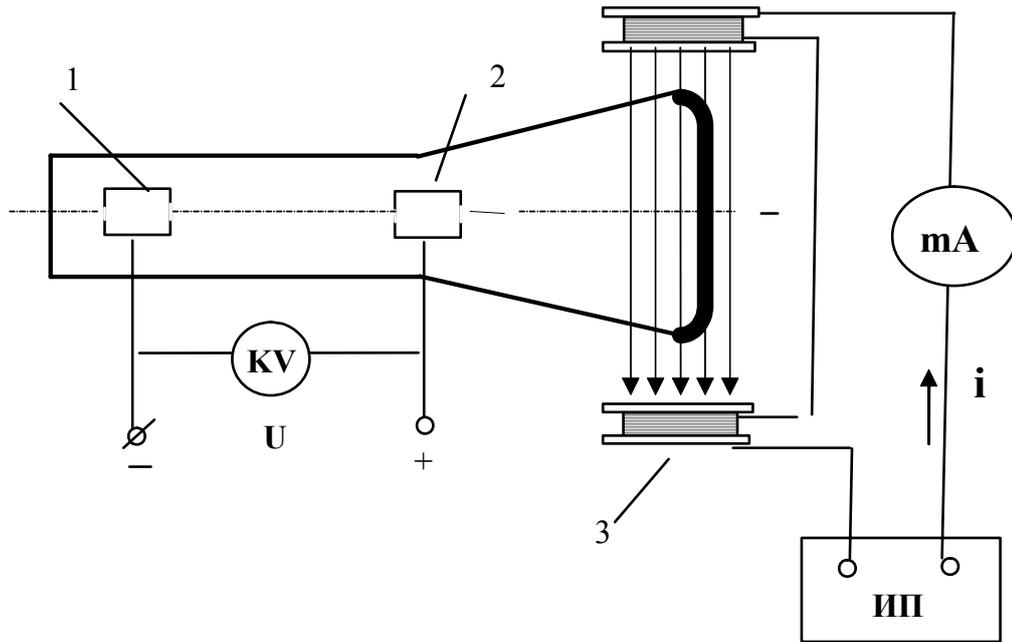


Рис. 2

Плоские катушки Гельмгольца, расположенные на корпусе ЭЛТ (3), создают вертикальное магнитное поле, индукция которого в опытах изменяется с помощью протекающего через катушки электрического тока.

Радиус траектории движения электронов в этом случае находится по величине отклонения электронного луча  $x$  (рис. 3,) от продольной оси ЭЛТ (ось  $Y$ ) и расстоянию от анода до экрана  $L$ . Из треугольника  $ACB$  видно, что

$$r^2 = (r - x)^2 + L^2. \quad (5)$$

Здесь начало координат совмещено с анодом, а направление оси  $Y$  совпадает с траекторией неотклоненного электронного пучка до входа последнего в магнитное поле.

Из (5) получим выражение для радиуса:

$$r = \frac{x^2 + L^2}{2x}. \quad (6)$$

Учитывая, что магнитная индукция, создаваемая катушками Гельмгольца, равна

$$B = \frac{\mu_0 N i}{2\sqrt{2} R},$$

то после подстановки (6) в (4), получим расчетную формулу для опреде-

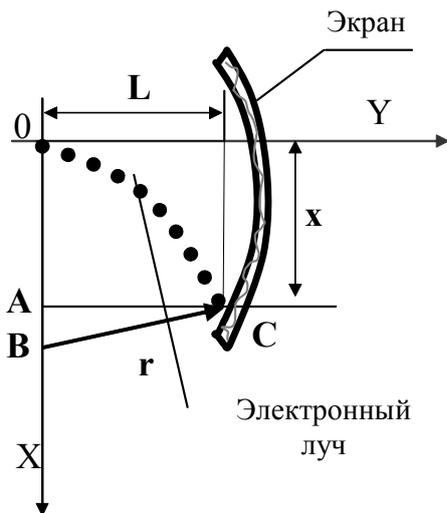


Рис. 3

ления удельного заряда электрона в окончательном виде:

$$\frac{e}{m} = \frac{64UR^2}{\mu_0^2 N^2 L^4} \cdot \frac{x^2}{i^2 \left(1 + \frac{x^2}{L^2}\right)^2} = C \cdot f. \quad (7)$$

Здесь  $N$  и  $R$  – соответственно число витков и радиус катушек;  $i$  – сила тока, протекающего в катушках;  $C$  и  $f$  – обозначения постоянной и переменной частей расчетной формулы.

**ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ.** Выполнять требования техники безопасности при работе с электроприборами. Соблюдать особые меры предосторожности при работе с ЭЛТ и киловольтметром, клеммы которых находятся под высоким напряжением.

### ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка состоит из источников питания низкого (рис. 4, ИП) и высокого напряжения (смонтирован в одном блоке с ЭЛТ), собственно ЭЛТ, миллиамперметра (mA) и киловольтметра (KV).

На панели корпуса ЭЛТ расположены ручки управления: 1 – выключатель; 2 – регулировка яркости; 3 – регулировка смещения по X; 4 – фокусировка электронного луча.

Указанными регуляторами обеспечивается минимальный размер и нужная яркость светового пятна.

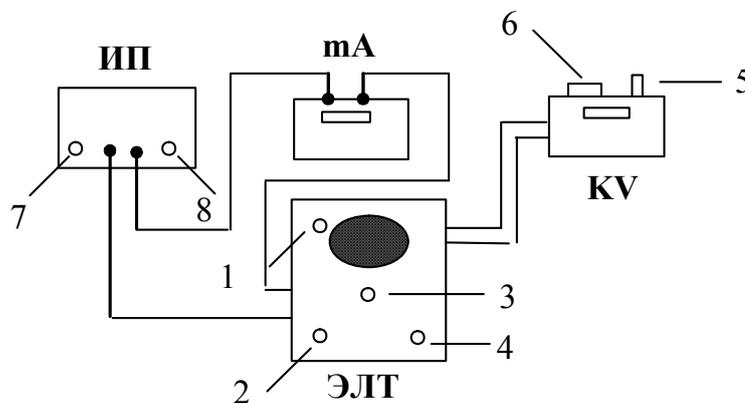


Рис. 4

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить KV к работе: кнопкой (5) включить прибор. Если смещен нуль вольтметра, то регулятором (6) привести световой указатель в начало шкалы.

2. Тумблером (1) включить питание ЭЛТ, ручками управления (2, 3, 4) отрегулировать яркость и фокус светового пятна, переместить его в центр экрана
3. Измерить величину ускоряющего напряжения с помощью **КВ** и занести в таблицу. *Выключить питание вольтметра.*
4. Тумблером (7) включить **ИП**. Регулятором (8) установить первое из 5-ти произвольных значений силы тока в диапазоне 5...50 мА и занести в таблицу.
5. Измерить смещение электронного луча с помощью миллиметровой сетки экрана и занести в таблицу.
6. Провести аналогичные измерения по п. 4...5 для 4-х других значений силы тока.
7. После проведения опытов уменьшить ток регулятором **ИП** до нуля, выключить питание всех приборов.

Таблица

Данные для расчета удельного заряда электрона

$i \times 10^{-3}$ , А	$x \times 10^{-3}$ , м	$f = \frac{x^2}{i^2 \left(1 + \frac{x^2}{L^2}\right)^2}$	$\varepsilon$ , %	Постоянные установки
5				$R = (4 \pm 0,10) \times 10^{-2}$ , м
⋮				$L = 0,1 \pm 0,001$ , м
⋮				$N = 920$ витков
50				$U = \dots\dots$ В
Среднее значение				$C = \frac{64UR^2}{\mu_0^2 N^2 L^4} = \dots\dots$

### ОБРАБОТКА ИЗМЕРЕНИЙ

1. Для всех значений силы тока рассчитать величину переменной части  $f$  расчетной формулы (7), вычислить среднеарифметическое значение этой функции и занести в таблицу.
2. Вычислить постоянную  $C$  расчетной формулы.
3. Определить среднюю величину удельного заряда по уже найденным среднеарифметическому значению функции  $f$  и постоянной  $C$ .
4. Вывести расчетную формулу для определения погрешности величины удельного заряда ( $\varepsilon$ ), результат вычислений занести в таблицу.
5. Рассчитать скорость электрона в ЭЛТ с помощью выражения (3), используя полученное выше значение удельного заряда электрона. Оце-

ните погрешность определения этого параметра.

6. Конечный результат представить в виде:

$$\frac{e}{m} = \left( \frac{e}{m} \right)_{CP} \pm \Delta \left( \frac{e}{m} \right)_{CP}, \quad \frac{Kл}{кг};$$

$$V = V_{CP} \pm \Delta V_{CP}, \quad м/с .$$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как зависит скорость движения электронов от величины силы тока в катушках Гельмгольца?
2. Изменится ли траектория движения частицы в магнитном поле при изменении знака ее заряда?
3. Какова траектория частицы, влетающей в магнитное поле под произвольным углом?