

# №9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ «МАГНЕТРОНА»

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление с наиболее распространёнными методами определения важнейшей характеристики элементарных частиц – удельного заряда.

## 2. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Электронная лампа. Электромагнит.  
Лабораторный блок питания.

## 3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В настоящей работе отношение  $\frac{e}{m}$  (удельный заряд электрона) определяется при помощи метода, получившего название «метод магнетрона». Это название связано с тем, что применяемая в работе конфигурация электрического и магнитного полей напоминает конфигурацию полей в магнетронах – генераторах электромагнитных колебаний в области сверхвысоких частот.

На рис. 1 приведена схема опыта.

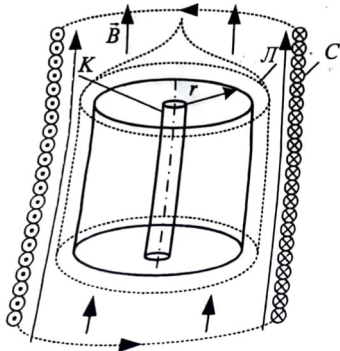


Рис. 1. Схема опыта.

Нить накала (катод) К двухэлектродной лампы Л располагается вдоль оси цилиндрического анода А, так, что электрическое поле направлено по радиусу  $r$ . Лампа помещена внутри соленоида С, создающего магнитного поля  $B$ , параллельное катоду.

На рисунке показано сечение витков соленоида и направление циркулирующего по виткам постоянного тока. Величина индукции магнитного поля, создаваемого соленоидом, пропорциональна току и может изменяться при питании соленоида от регулируемого источника постоянного тока.

Рассмотрим траекторию электрона, вылетевшего из катода при потенциале анода  $U_A$ .

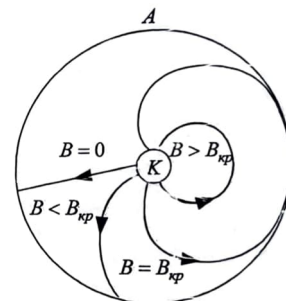


Рис.2. Траектории электрона, вылетевшего из катода.

В отсутствии магнитного поля (рис.2) траектория электрона прямолинейна и направлена вдоль радиуса. При включении магнитного поля, на движущиеся электроны будет действовать сила Лоренца

$$\vec{F}_L = -e[\vec{V} \times \vec{B}], (1)$$

где  $e$  - заряд электрона;

$\vec{V}$  - скорость электрона;

$\vec{B}$  - индукция магнитного поля.

Сила Лоренца отклоняет электроны перпендикулярно направлению вектора скорости в каждый данный момент времени. При слабом магнитном поле траектория несколько искривляется, но электроны всё же попадают на анод.

При некотором критическом значении индукции магнитного поля траектория искривляется настолько, что касается анода. Наконец, при  $B \geq B_{кр}$  электроны вовсе не попадают на анод и возвращаются к катоду.

Анодный ток  $I_A$  при увеличении магнитного поля изменялся бы при этом так, как показано на рис.3 пунктирной линией,

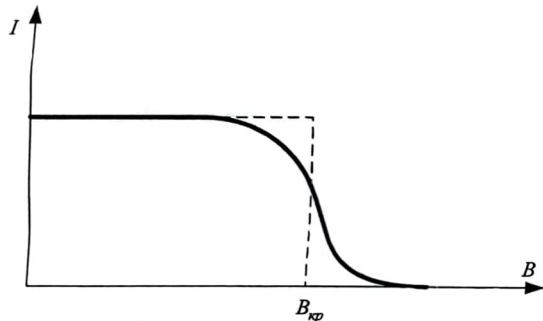


Рис.3.График анодного тока.

то есть по исчезновению анодного тока можно определить  $B_{кр}$ , а

$B_{кр}$ , в свою очередь, связано с удельным зарядом  $\frac{e}{m}$  и параметрами лампы. Покажем это.

Найдем радиус кривизны траектории в момент касания анода. Векторы  $\vec{V}$  и  $\vec{B}$  перпендикулярны, и сила Лоренца  $F_L = eVB_{кр}$ , направленная к центру кривизны, играет роль центростремительной силы.

Тогда по второму закону Ньютона:

$$eVB_{кр} = m \frac{V^2}{R}, (2)$$

и соответственно

$$\frac{e}{m} = \frac{V}{RB_{кр}}, (3)$$

Скорость электронов найдем из закона сохранения энергии (начальную скорость электрона пренебрегаем):

$$eU_A = \frac{mV^2}{2} (4)$$

Подставим найденное из (4)

$$V = \sqrt{\frac{2eU_A}{m}} (5)$$

в (3)

$$\frac{e}{m} = \frac{\sqrt{\frac{2eU_A}{m}}}{RB_{кр}} (6)$$

и, после возведения обеих частей уравнения (6) в квадрат, получаем:

$$\frac{e}{m} = \frac{2U_A}{R^2 B_{кр}^2} (7)$$

Из конструкции схемы следует:

$$R = \frac{(b - d_k)}{2},$$

где  $b$  - диаметр цилиндра анода;  
 $d_k$  - диаметр катода.

Поскольку  $d_k \ll b$ , то  $R = \frac{b}{2}$

Тогда

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_A}{b^2 B_{кр}^2}. (8)$$

Формула (8) позволяет вычислить  $\frac{e}{m}$ , если при заданном значении

$U_A$  найдено  $B_{кр}$ .

Экспериментальная зависимость анодного тока  $I_A$  от индукции магнитного поля показана на рис.3 сплошной линией. Пунктирная линия соответствует одинаковой начальной скорости электронов. На самом деле, электроны, испускаемые нагретым катодом, обладают различными начальными скоростями, поэтому критические условия

достигаются для разных электронов при различных значениях индукции  $B$ .

В этом случае  $B_{кр}$  определяется серединой участка наиболее крутого спада (точкой перегиба) экспериментальной зависимости.

В лабораторной работе снимается зависимость анодного тока  $I_A$  от тока соленоида  $I_C$ . Для достаточно длинного соленоида, применяемого в работе, индукцию в месте расположения лампы можно определить по формуле бесконечно длинного соленоида:

$$B = \mu_0 \frac{N}{L} I_C, (9)$$

где  $N$  - число витков соленоида;  
 $L$  - длина соленоида.

Следовательно

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_A L^2}{b^2 \mu_0^2 N^2 I_C^2}, (10)$$

#### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

##### 4.1 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лицевая панель установки представлена на рисунке 4.

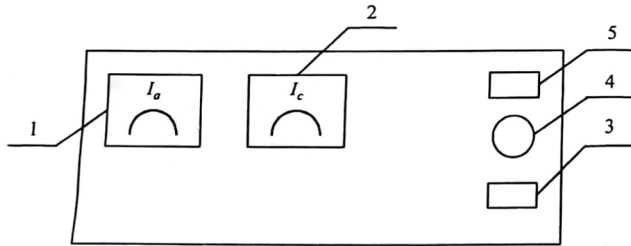


Рис.4. Лицевая панель установки.

На лицевой панели имеются: миллиамперметр (1) для измерения анодного тока лампы, миллиамперметр (2) для измерения тока соленоида, индикатор сетевого питания (3) и кнопка включения

питания (5). Для регулирования тока соленоида имеется ручка регулятора (4).

Питание установки осуществляется от сети 220В  $\pm$  10%. Через разделительный трансформатор получает питание регулятор тока соленоида, накал лампы и цепь анода лампы. Измерение тока соленоида и тока лампы осуществляется миллиамперметрами.

Принципиальная схема приведена на Рис.5.

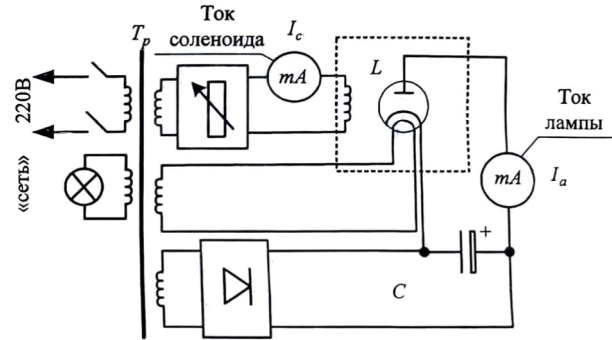


Рис.5

##### 4.2 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения измерений включить установку и прогреть в течение 5 минут до прекращения роста анодного тока лампы.

После прогрева снять зависимость тока анода  $I_a$  от тока соленоида  $I_C$ . Регулировку тока соленоида осуществлять с помощью ручки регулятора тока, на лицевой панели. Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

$I_c (A) \cdot 10^{-3}$	30	40	50	60	...	...	...	...	200
$I_a (mA)$									

##### 4.3 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Построить график зависимости  $I_a(I_c)$ . График строится на миллиметровке размером не менее формата А5. По графику определить критическое значение тока соленоида  $I_{кр}$  (точка наиболее крутого спада  $I_a$ ). Вычислить значение удельного заряда электрона по формуле (10). Технические параметры установки приведены в табл. 2.

Таблица 2

$U_a(B)$	$L(м)$	$N$	$b(м)$
10	0,04	1000	0,02

Вычислить относительную погрешность измерений

$$\varepsilon = \frac{\Delta\left(\frac{e}{m}\right)}{\left(\frac{e}{m}\right)} = \frac{\Delta U_A}{U_A} + 2\frac{\Delta L}{L} + 2\frac{\Delta b}{b} + 2\frac{\Delta\mu_0}{\mu_0} + 2\frac{\Delta I_{кр}}{I_{кр}} + 2\frac{\Delta N}{N},$$

где  $\frac{\Delta U_A}{U_A} = 0,01$  - соответственно классу вольтметра;

$\Delta L = 1$  мм - измерение проводилось миллиметровой линейкой.

$\Delta b = 0,1$  мм - измерение проводилось штангенциркулем;

$\Delta\mu_0 = 0$  - так как  $\mu_0$  - табличная величина;

$\Delta N = 0$  - число витков точно известно,  $N = 1000$  витков;

$$2\frac{\Delta I_{кр}}{I_{кр}} \approx 0,2, \text{ если при построении графика выбран } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

рекомендованный масштаб.

Поскольку в данном эксперименте относительная погрешность

$2\frac{\Delta I_{кр}}{I_{кр}}$  значительно больше других слагаемых, то можно положить

$$\varepsilon = 2\frac{\Delta I_{кр}}{I_{кр}} = 0,2$$

Определить абсолютную погрешность

$$\Delta\left(\frac{e}{m}\right) = \varepsilon\left(\frac{e}{m}\right)$$

Записать окончательный результат

$$\frac{e}{m} = \frac{e}{m} \pm \Delta\left(\frac{e}{m}\right); \varepsilon = \dots\%,$$

соблюдая правила округления.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется удельным зарядом частицы.
2. Выведите формулу определения удельного заряда электрона по методу магнетрона.
- 5.3. Как определить скорость электрона в данной работе.
4. В чем состоит метод определения критической индукции магнитного поля.
5. Что является источником магнитного поля и как оно определяется.

### Список литературы

1. Калашников С.Г. Электричество: Учебник для вузов. Изд. 5е исправленное и дополненное. М. Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1985 г. 576с.: ил.
2. Калашников С.Г. Электричество. Изд. 3е стереотипное. Учебное пособие для студентов университетов. М. Наука. 1970 г. 666с. с ил.
3. Н.В. Савельев, Курс общей физики Т.2 М. «Наука» 2002.
4. Л.Л. Гольден, Руководство к лабораторным занятиям по физике, М. «Наука» 1973.