

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

Цель работы – экспериментально определить удельный заряд электрона и сравнить результат с табличным значением.

Теория и описание метода измерений

Явление термоэлектронной эмиссии позволяет получить поток электронов, движущихся в вакууме практически без соударений. Когда электроны попадают в область действия электрического и магнитного полей, на них действует сила Лоренца:

$$\mathbf{F} = e\mathbf{E} + e[\mathbf{v} \times \mathbf{B}], \quad (1)$$

где e – заряд электрона.

Комбинируя различными способами величины, направления электрического и магнитного полей и изменяя скорость потока электронов, можно получить заданные траектории движения электронов.

Покоившийся электрон под действием электрического поля приобретает кинетическую энергию, равную работе электрического поля:

$$\frac{mv^2}{2} = eU. \quad (2)$$

Если этот электрон далее попадет в область, занятую однородным постоянным магнитным полем, то электрон станет двигаться по окружности радиусом r (при условии перпендикулярности вектора скорости электрона к вектору магнитной индукции):

$$\frac{mv^2}{r} = evB. \quad (3)$$

Таким образом, если электронам придать скорость при помощи электрического поля и затем направить поток электронов в область постоянного магнитного поля перпендикулярно силовым линиям поля, то можно по известным характеристикам (скорости электронов v , индукции магнитного поля B) определить удельный заряд электрона e/m .

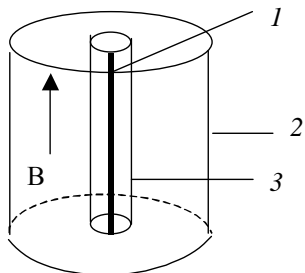


Рис. 1

Требуемые условия можно создать в электровакуумном приборе, называемом магнетроном. Магнетрон представляет собой электровакуумный триод, помещенный во внешнее магнитное поле. Это поле создается катушкой (соленоидом) и направлено вдоль оси магнетрона. На рис. 1: 1 – катод – источник электронов; 2 – анод; 3 – сетка.

Особенность конструкции магнетрона в том, что катод представляет собой тонкую нить, а управляющая сетка и анод имеют цилиндрическую форму, причем оси сетки и анода совпадают с катодом (коаксиальны). Расстояние между сеткой и катодом намного меньше радиуса анода R . Схема подключения магнетрона и катушки представлена на рис. 2. Электрон разгоняется электрическим полем, действующим между катодом и сеткой до скорости v . Поскольку разность потенциалов между сеткой и анодом равна нулю, электрон в пространстве между сеткой и анодом движется с постоянной скоростью.

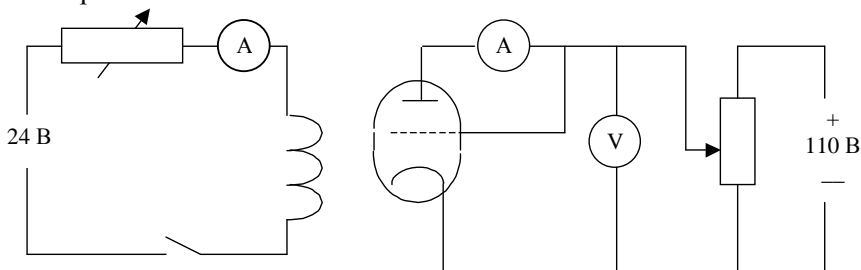


Рис. 2

Анодный ток I_A управляется внешним магнитным полем. Траектории движения электронов в зависимости от величины магнитной индукции представлены на рис. 3. Радиус окружности (траектории электрона) обратно пропорционален величине магнитной индукции B .

При возрастании магнитной индукции диаметр траектории электрона становится меньше расстояния от сетки до анода, электроны не будут достигать анода и анодный ток прекратится. Идеальная зависи-

мость анодного тока от величины магнитной индукции представлена на рис. 4. Так как сетка расположена вблизи катода, в расчете радиусом сетки можно пренебречь и можно считать, что анодный ток исчезает при $r = \frac{R}{2}$, где R – радиус анода. Значение магнитной индукции внутри длинного соленоида $l \gg 2R_C$ (l – длина соленоида, R_C – радиус витка соленоида) определяется значением силы тока в соленоиде:

$$B = \frac{\mu_0 N I_C}{l}. \quad (4)$$

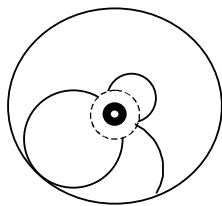


Рис. 3

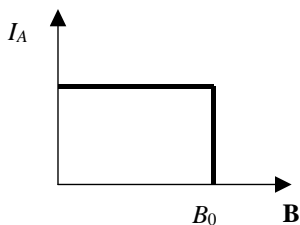


Рис. 4

В лабораторной работе используется соленоид ограниченной длины, и необходимо ввести поправочный коэффициент, учитывающий неоднородность магнитного поля внутри соленоида. Тогда для предельного значения индукции магнитного поля получим

$$B_0 = k \frac{\mu_0 N I_{Cотс}}{l}, \quad (5)$$

где $I_{Cотс}$ – ток в соленоиде, при котором анодный ток в магнетроне падает до нуля (ток отсечки). Разрешая систему уравнений (2)–(5), можно выразить величину удельного заряда электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{8}{\left(k \mu_0 \frac{N}{l} R\right)^2} \frac{U_A}{I_{Cотс}^2} \quad (6)$$

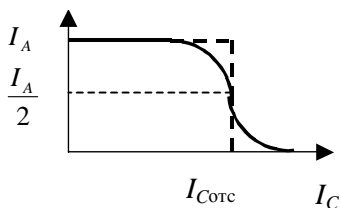


Рис. 5

Ток отсечки можно найти из графика зависимости анодного тока от

тока в соленоиде, фиксируя ступеньку падения анодного тока (рис. 5). Поскольку электроны при термоэмиссии имеют разные скорости и наблюдается неоднородность электрического и магнитного полей, падение анодного тока происходит постепенно. Поэтому за величину тока отсечки $I_{C_{отс}}$ можно принять ток соленоида, при котором анодный ток уменьшается в два раза. При этом монотонная зависимость $I_A(I_C)$ аппроксимируется в виде прямоугольной ступени с площадью, равной площади, ограниченной монотонной кривой.

Задание к работе

1. * Вывести формулу (6). По табличным значениям заряда e и массы m электрона вычислить удельный заряд электрона e/m (это число и будет называться его табличным значением $(e/m)_{\text{таб}}$).

Примечание. Задания, помеченные звездочкой, выполняются студентами дома.

2. * Получить формулу для расчета погрешности измерения удельного заряда электрона $\sigma_{\frac{e}{m}}$. Учесть, что удельный заряд электрона определяется в результате косвенного измерения анодного напряжения, тока отсечки, а также длины соленоида и радиуса анода.

3. В лаборатории снять зависимость анодного тока магнетрона от тока соленоида при значениях анодного напряжения $U = 60, 70, 80$ В. На пологих участках характеристика должна иметь 2–3 точки, а на крутом участке 10–15 точек.

4. Построить графики зависимости анодного тока от тока соленоида.

5. Определить по экспериментальным кривым значения отсекающего тока для каждого анодного напряжения.

6. Вычислить для трех случаев удельный заряд электрона по формуле (6) и найти среднее значение.

7. Определить погрешность измерений $\sigma_{\frac{e}{m}}$.

8. Сделать выводы по лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какова цель работы?
2. Каково табличное значение удельного заряда электрона?
3. Как работает магнетрон?
4. Какие силы действуют на электрон в магнетроне на различных участках пути?
5. При каком условии анодный ток в магнетроне прекратится?
6. Как определяется величина отсекающего тока в соленоиде?
7. Каков ожидаемый вид экспериментальных зависимостей анодного тока от величины тока в соленоиде?
8. Как оценивать погрешность измерения удельного заряда электрона?
9. Каковы классы точности ваших приборов?
10. Как вычисляются максимальные приборные погрешности?
11. Какие требования предъявляются к внутренним сопротивлениям амперметра и вольтметра?
12. Попытайтесь построить траекторию движения электрона в скрещенных электрическом и магнитном полях: $v_0 = 0, E = E_y, B = B_z$.

Литература

1. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2004.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т. 2. – М.: Астрель, 2001.
3. Калашиников С.Г. Электричество. – М.: Физматлит, 2003.