

Лабораторная работа 3.3

**Определение удельного заряда электрона
методом магнетрона**

Лабораторная работа 3.3.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ
МАГНЕТРОНА

Рекомендуемая литература: [1 - §109, 114, 115];
[2 - §21.1, 23.1, 23.31];
[3 - §36, 37]

Цель работы: изучение движения заряженных частиц в магнитном поле, определение удельного заряда электрона.

Теоретические сведения

Отношение заряда электрона к его массе, называемое удельным

зарядом, может быть определено по изменению траектории движения электрона под действием электрического или магнитного полей.

Движение электрона $q = e$ в скрещенных электрическом и магнитном полях (вектор напряженности электрического поля \vec{E} перпендикулярен вектору магнитной индукции \vec{B}) изображено на рис. 3.1.

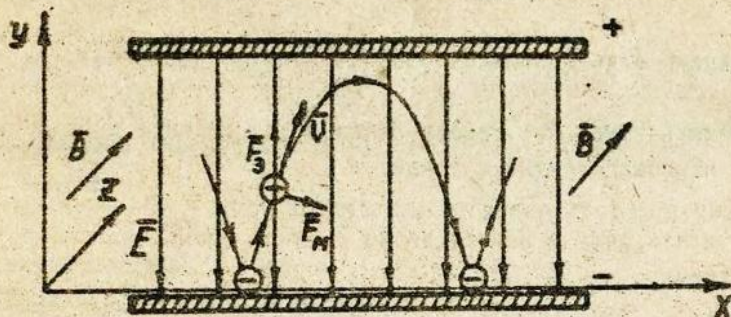


рис. 3.1

Любая движущаяся со скоростью \vec{v} заряженная частица в общем случае испытывает действие силы Лоренца

$$\vec{F}_L = q \cdot \vec{E} + q[\vec{v} \vec{B}], \quad (3.1)$$

где q - заряд частицы.

Существует особый класс электронных приборов - магнетроны, в которых реализуется движение заряженных частиц в скрещенных электрическом и магнитном полях. В качестве магнетрона в лабораторной работе используется двухэлектродная электронная лампа с коаксиально расположенными цилиндрическим катодом и анодом. Лампа помещена внутрь соленоида, создающего магнитное поле, направленное вдоль оси электронной лампы. Между катодом и анодом создается электрическое поле, ускоряющее электроны, испускаемые раскаленным катодом, в направлении анода. В отсутствие магнитного поля электроны испытывают действие только электрического поля:

$$\vec{F}_E = e \cdot \vec{E}. \quad (3.2)$$

При наличии магнитного поля действующая на электрон сила со стороны магнитного поля будет равна

$$\vec{F}_M = e [\vec{v} \vec{B}]. \quad (3.3)$$

Модуль этой силы равен $F_M = e \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$, где α - угол между направлением вектора скорости электрона и вектором магнитной индукции. Направление силы \vec{F}_M перпендикулярно векторам скорости и магнитной индукции и определяется правилом левой руки.

Действие силы \vec{F}_M не изменяет модуля вектора скорости частицы и не приводит к изменению кинетической энергии, так как \vec{F}_M всегда перпендикулярна вектору скорости, но искривляет траекторию движения частицы (рис. 3.2). По мере увеличения индукции магнитного поля искривление траекторий становится все более значительным. Можно создать достаточно сильное магнитное поле, при котором траекторий электронов искривится настолько, что электроны перестанут достигать анода и по замкнутой траектории будут возвращаться на катод. В этом случае анодный ток магнетрона прекратится.

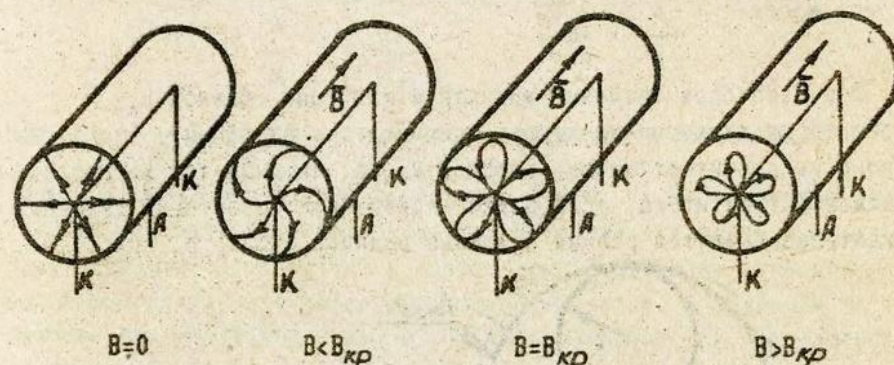


Рис. 3.2

За критическое значение магнитного поля принимается минимальное значение магнитной индукции, при котором прекращается анодный ток. Рассмотрим движение электронов в магнетроне с нитевидным катодом. Анализ движения электронов в этом случае наиболее прост. Напряженность электрического поля имеет значительную величину лишь вблизи катода. Это позволяет, рассматривая задачу, считать, что электроны ускоряются в непосредственной близости от катода и далее движутся в пространстве, где, можно считать, практически отсутствует электрическое поле. Если пренебречь начальными скоростями электронов, то кинетическая энергия электронов, покидающих катод, в этом случае будет определяться разностью потенциалов между катодом и точкой пространства, где находится электрон. В случае нитевидного катода практически все падение потенциала приходится на прикатодную об-

ласть, и можно считать, что электроны покидают катод с энергией, которая определяется разностью потенциалов между катодом и анодом

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = e \cdot U_a \quad (3.4)$$

где m — масса электрона, v — скорость электрона, U_a — разность потенциалов между анодом и катодом.

Если учесть, что со стороны магнитного поля на электрон будет действовать сила, искривляющая траекторию его движения, то уравнение движения электрона будет иметь вид

$$e \cdot U \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (3.5)$$

где r — радиус кривизны траектории движения электрона. Из уравнений (3.4) и (3.5) можно выразить отношение заряда электрона к его массе

$$\frac{e}{m} = \frac{2 \cdot U_a}{B^2 r^2} \quad (3.6)$$

При некотором значении магнитной индукции, равном B_{kp} , траектория движения электрона искривляется настолько, что электроны не достигают анода. Следовательно, анодный ток магнетрона должен прекратиться, если радиус кривизны r траектории движения электрона окажется равным половине радиуса анода r_a (рис. 3.3).

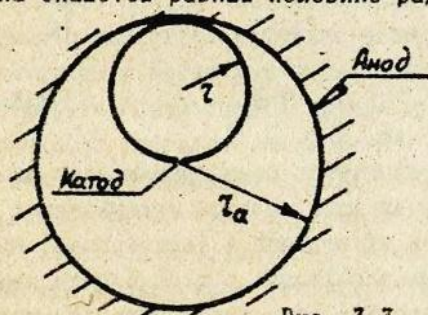


Рис. 3.3

С учетом последнего получим

$$\frac{e}{m} = \frac{8 \cdot U_a}{B_{kp}^2 \cdot r_a^2}$$

Определить величину магнитной индукции можно, воспользовавшись выражением для определения магнитной индукции внутри длинного

соленоида $B = \mu_0 n \cdot I$, где n — количество витков на единицу длины соленоида, I — сила тока в обмотке, μ_0 — магнитная постоянная.

С учетом последнего выражения удельный заряд электрона будет равен

$$\frac{e}{m} = \frac{8 U_a}{\mu_0^2 n^2 I_{kp}^2 r_a^2}$$

В реальной установке используется электронная лампа, диаметром катода которой пренебречь нельзя. Можно показать, что в этом случае удельный заряд электрона определяется следующим выражением

$$\frac{e}{m} = \frac{8 U_a}{\mu_0^2 n^2 r_a^2 (1 - r_k^2 / r_a^2)^2 \cdot I_{kp}^2}$$

где r_a — радиус анода, r_k — радиус катода.

Запишем последнюю формулу в виде

$$\frac{e}{m} = k \frac{U_a}{I_{kp}^2} \quad (3.7)$$

где $k = \frac{8}{\mu_0^2 n^2 r_a^2 (1 - r_k^2 / r_a^2)^2}$ — коэффициент, зависящий от конструктивных параметров установки. Здесь I_{kp} — критический ток, т.е. такое значение тока в обмотке соленоида, при котором электроны, движущиеся от катода к аноду лампы, настолько отклоняются магнитным полем, что перестают достигать анода. В реальном магнетроне при увеличении тока в соленоиде анодный ток прекращается не мгновенно. В этом случае для нахождения I_{kp} строят зависимость анодного тока магнетрона от тока в соленоиде и принимают значение критического тока равным току соленоида, при котором наблюдается начало спада анодного тока.

Описание лабораторной установки

Электрическая схема установки приведена на рис. 3.4. Измерительный блок содержит источники питания и измерительные приборы, которые с помощью проводников подключаются к соответ-

внешним цепям магнетрона. Регулируемый источник питания ИП1 служит для питания соленоида. Ток обмотки соленоида измеряется с помощью амперметра А. Анодное напряжение на аноде лампы Л1 создается регулируемым источником ИП2. Измерительный прибор G, подключенный к аноду источника, имеет два режима работы. Если положение ключа К соответствует положению "U анода", прибор работает как вольтметр и регистрирует напряжение на аноде магнетрона. В положении ключа К "I анода" прибор измеряет ток анода магнетрона. Источник

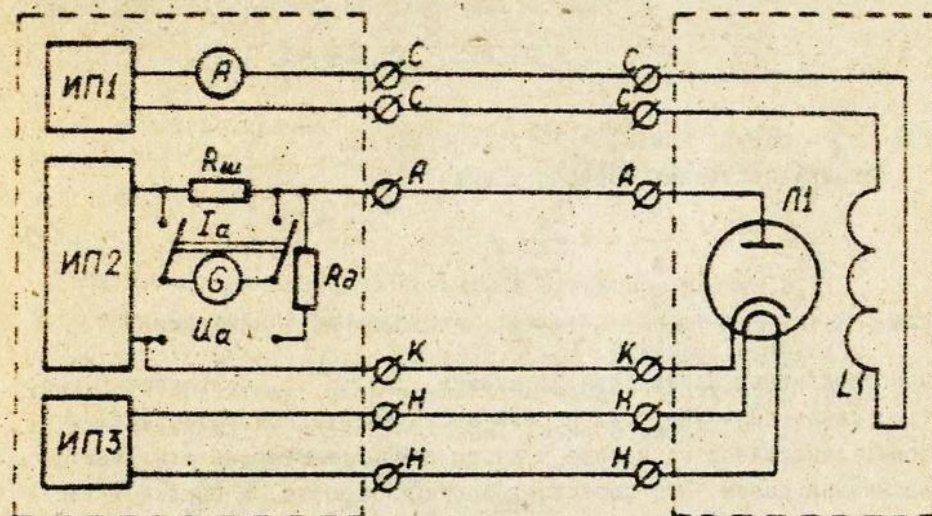


Рис. 3.4

ник питания ИП3 служит для накала катода магнетрона. На рис. 3.5 приведено расположение органов управления на лицевой панели блока питания, а на рис. 3.6 - расположение клемм на блоке магнетрона.

На рис. 3.5 :

- 1 - клеммы для подключения магнетрона;
- 2 - измерительный прибор с двумя режимами работы - режимом измерения тока анода (предел измерения 100 мА) и режимом измерения напряжения анода (предел измерения 10 В);
- 3 - тумблер переключения режимов измерительного прибора 2;
- 4 - измерительный прибор для измерения тока соленоида (предел измерения 5 А);
- 5 - регулятор установки напряжения на аноде магнетрона;
- 6 - регулятор установки тока соленоида;
- 7 - тумблер включения питания.

На рис. 3.4.:

- 1 - клеммы подключения соленоида к блоку питания;
- 2 - клемма подключения анода магнетрона к блоку питания;
- 3 - клеммы подключения подогревателя катода к блоку питания;
- 4 - клемма подключения катода к блоку питания.

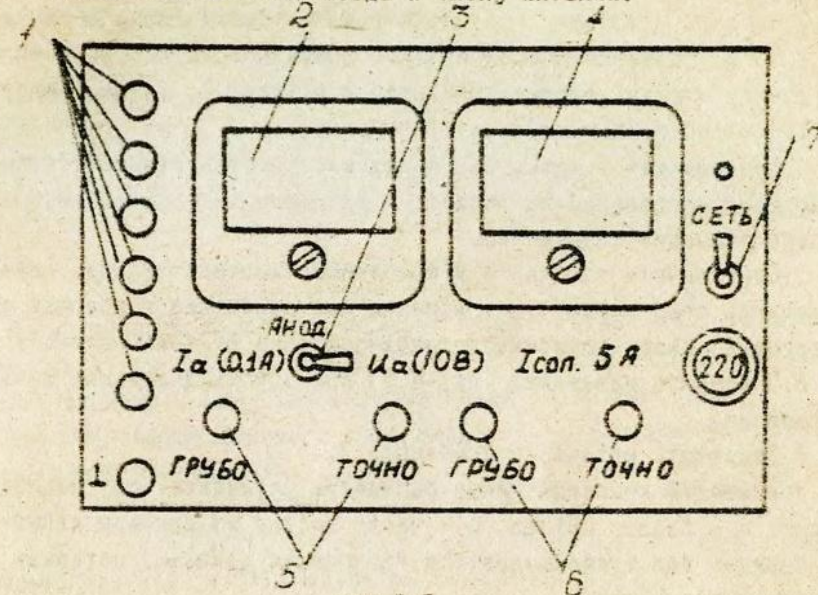


рис. 3.5

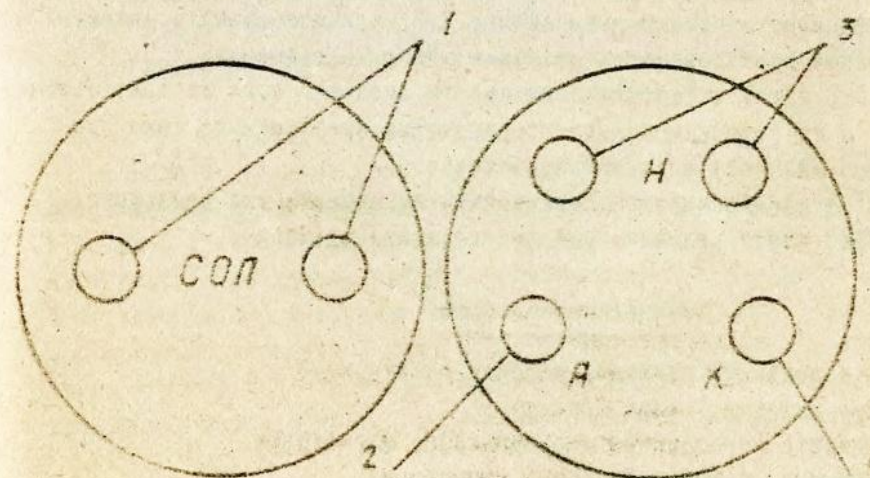


рис. 3.6

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой, органами управления и измерительными приборами. Определить цены деления шкал вольтметра и амперметра.
2. Собрать установку (подключить магнетрон к блоку питания).
3. После проверки преподавателем правильности сборки подключить установку к сети. Включить питание тумблером 7. Дать прогреться катоду магнетрона в течение 1,5 минут.
4. Переключить тумблер 3 в положение, соответствующее режиму измерения напряжения на аноде, и регулятором 5 установить первое значение напряжения.
5. Переключить тумблер 3 в положение, соответствующее режиму измерения тока анода, и, изменяя ток соленоида с помощью регуляторов 6, снять зависимость анодного тока от тока соленоида.
6. Повторить измерения (пп. 4,5) при других значениях анодного напряжения.
7. Выключить установку тумблером 7.
8. Измерить конструктивные параметры установки: r_a - радиус анода; r_k - радиус катода; n - число витков на единицу длины соленоида. Или воспользоваться табличными данными, которыми снабжена установка.
9. Используя приведенную в описании формулу, рассчитайте коэффициент, входящий в выражение 3.7, или используйте рекомендованное преподавателем значение этого коэффициента.
10. Построить графики зависимости анодного тока от тока соленоида, и по графикам определить значение критического тока для разных значений анодного напряжения.
11. Воспользовавшись приведенным выражением для удельного заряда, найти величину удельного заряда электрона.

Контрольные вопросы.

1. Что называют удельным зарядом электрона?
2. Что называют силой Лоренца?
3. Опишите конструкции используемого магнетрона.
4. Поясните принцип действия магнетрона.
5. Дайте определение понятия "критический ток".
6. Как в данной работе находится значение критического тока?