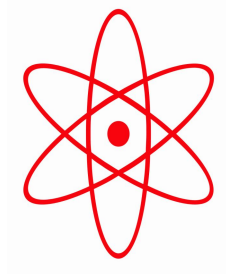


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОР-
НОЙ РАБОТЫ



ФКЛ-14

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ
МАГНЕТРОНА**

Тула, 2011 г

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА МЕТОДОМ МАГ- НЕТРОНА.

Цель работы: изучить движение электрона в электрическом и магнитном полях и определить удельный заряд электрона.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Электрон – первая из открытых элементарных частиц, носитель отрицательного элементарного заряда $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл ($4,8 \cdot 10^{-10}$ ед. СГСЭ). Электрон самая легкая из всех заряженных частиц. Его масса $m_e \approx 9,1 \cdot 10^{-28}$ г в 1836 раз меньше массы протона. В пределах точности эксперимента электрон – стабильная частица. Его время жизни, по крайней мере, не менее $2 \cdot 10^{22}$ лет.

Электрон открыт в 1897 г. Дж. Дж. Томпсоном, показавшим, что так называемые катодные лучи, возникающие при электрическом разряде в разреженных газах, представляют собой поток отрицательно заряженных частиц, обладающих определенными массой и электрическим зарядом.

На электрический заряд e , движущийся со скоростью \vec{V} в электрическом и магнитном полях, действует сила

$$\vec{F} = e\vec{E} + e[\vec{V} \times \vec{B}], \quad (1.1)$$

где \vec{E} – напряженность электрического поля; \vec{B} – индукция магнитного поля.

Под действием этой силы частица с массой m получает ускорение

$$\vec{w} = \frac{e}{m} \{ \vec{E} + [\vec{V} \times \vec{B}] \}$$

Уже один вид этого наиболее общего уравнения движения заряженной частицы в полях позволяет сделать очень важный вывод:

*характер движения и траектория заряженной частицы зависят не от ее заряда или массы в отдельности, а лишь от отношения e/m . Величина e/m называется **удельным зарядом частицы**. Измеряя скорости и траектории частиц, движущихся в электрических и магнитных полях, можно определить величину и знак удельного заряда. На этой простой идее основываются многочисленные методы экспериментального определения удельного заряда электрона, в частно-*

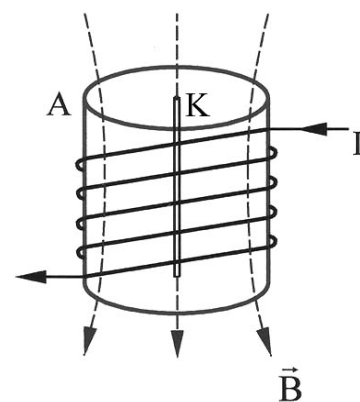


Рис. 1 Конструкция лампы-магнетрона

сти, метод магнетрона.

Сущность метода магнетрона заключается в том, что двухэлектродная электронная лампа с цилиндрическими коаксиальными катодом и анодом помещается в магнитное поле, создаваемое, например, соленоидом так, чтобы ось лампы совпала с направлением магнитного поля (рис. 1). Направление электрического поля в этом случае будет перпендикулярно направлению магнитного поля.

Точный расчет траектории, описываемой электроном, довольно сложен, потому что в данном случае электрон движется в неоднородном радиальном электрическом поле, создаваемом электродами цилиндрического конденсатора, для которого напряженность поля равна:

$$E = \frac{\eta}{2\pi\epsilon_0 r}, \quad (1.2)$$

где η – заряд на единицу длины; r – расстояние от оси цилиндра до рассматриваемой точки.

Однако, если радиус нити-катода значительно меньше радиуса анода, то напряженность электрического поля будет значительной лишь в непосредственной близости катода, и траектория электрона в других областях пространства будет практически полностью определяться магнитным полем.

Так как направление магнитного поля и направление движения электрона взаимно перпендикулярны, то электрон под действием магнитного поля опишет траекторию, близкую к окружности. Центробежное ускорение в этом случае создается силой Лоренца:

$$\vec{F} = e[\vec{V} \times \vec{B}] \quad (1.3)$$

и, следовательно,

$$m \frac{V^2}{r} = eVB, \quad (1.4)$$

где r – радиус кривизны траектории электрона.

С другой стороны, скорость электрона связана с разностью потенциалов U между анодом и катодом соотношением:

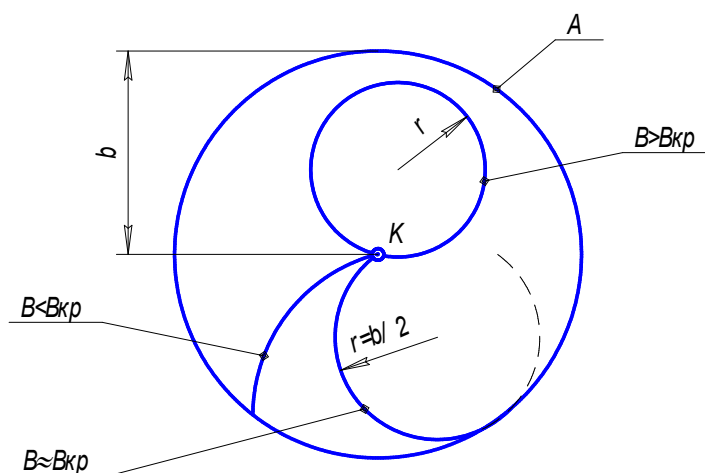
$$\frac{mV^2}{2} = eU. \quad (1.5)$$

Комбинируя (1.4) и (1.5), можно получить

$$r^2 = \frac{2mU}{eB^2}. \quad (1.6)$$

Из уравнения (1.6) видно, что при постоянном U радиус r обратно пропорционален B . Это означает, что при значениях B , меньших некоторого критического, радиус кривизны достаточно велик и электроны будут достигать анода. Однако, увеличивая индукцию магнитного поля, можно найти такое значение $B = B_{кр}$, при достижении и превышении которого электроны пере-

станут поступать на анод и, следовательно, анодный ток обратится в нуль. Траектория электронов при различных величинах магнитной индукции представлена на (рис. 2), где A – анод; K – катод; b – радиус анода; r – радиус кривизны траектории.



Р и с. 2

В критическом режиме радиус кривизны r будет равным

$$r = \frac{b}{2},$$

где b – радиус анода, и (6) примет вид:

$$b^2 = \frac{8mU}{eB_{кр}^2}, \quad (1.7)$$

откуда

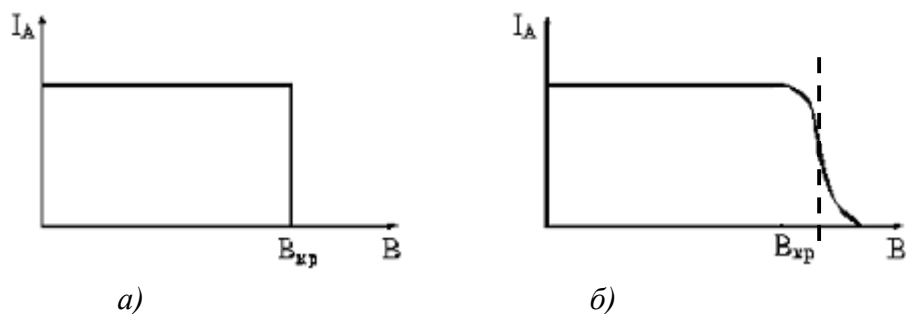
$$\frac{e}{m} = \frac{8U}{b^2 B_{кр}^2}. \quad (1.8)$$

Если бы все электроны обладали одинаковыми скоростями, то при достижении критического магнитного поля ток через лампу прекращался бы сразу (рис. 3,а). Однако, поскольку электроны, эмитируемые катодом, характеризуются некоторым распределением по скоростям, то реальная кривая зависимости анодного тока от индукции магнитного поля (так называемая *сбросовая характеристика*) выглядит несколько иначе (рис. 3,б). Значение силы тока соленоида в точке перегиба кривой и будет критическим током.

Для нахождения $I_{кр}$ можно построить график зависимости производной $\frac{dI_a}{dI_c}$

(точнее $\frac{\Delta I_a}{\Delta I_c}$) от тока в соленоиде I_c и по положению максимума определить

критический ток соленоида и критическое магнитное поле $B_{кр}$ по формуле (1.10)



Р и с. 3

Рассмотрим соленоид, изображенный на рис. 4. Известно, что магнитное поле на оси такого реального соленоида конечной длины может быть вычислено по формуле:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2L} \cdot (\cos \beta_1 + \cos \beta_3) \quad (1.9)$$

где N – количество витков соленоида, L – его длина, μ_0 магнитная постоянная, равная $1,26 \cdot 10^{-6}$ Г/м, β_1 и β_3 соответствующие углы, равные

$$\cos \beta_3 = \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}}, \quad \cos \beta_1 = \frac{L - a}{\sqrt{R^2 + (L - a)^2}},$$

где R – радиус витков соленоида, a

– расстояние от края соленоида до точки, в которой определяется поле.

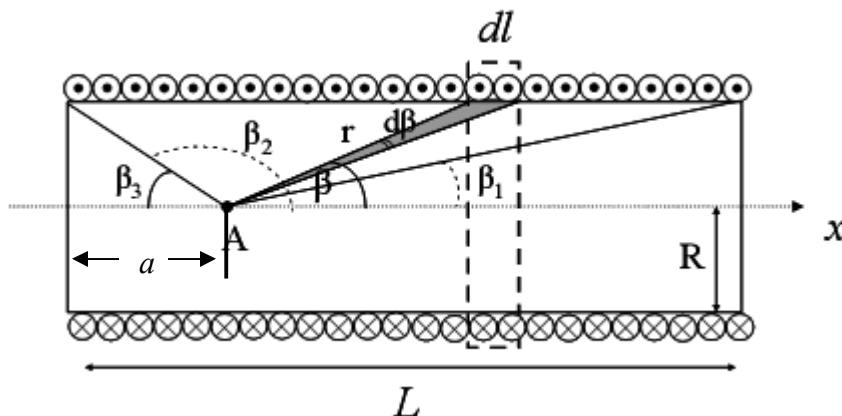


Рис.4. К расчету магнитного поля соленоида

Если лампа расположена в центре такого соленоида, то легко рассчиты-

тать магнитное поле, приняв $\cos \beta_1 = \cos \beta_3 = \frac{L/2}{\sqrt{\frac{D^2}{4} + \frac{L^2}{4}}}$, где $D = 2R$ – диаметр

соленоида. В результате получаем искомую формулу для расчета магнитного поля такой катушки:

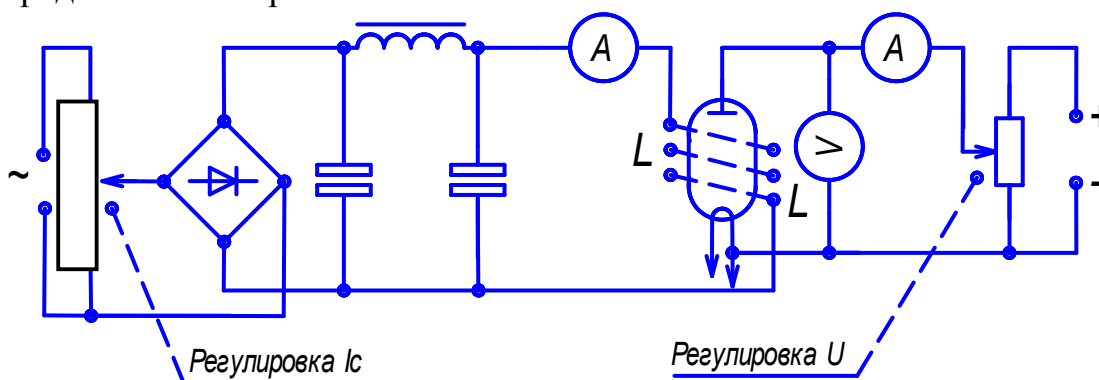
$$B = \frac{\mu_0 IN}{\sqrt{D^2 + L^2}} \quad (1.10)$$

Если длина катушки много больше диаметра, то формулу (1.10) можно переписать в виде:

$$B = \mu_0 I \frac{N}{L} \quad (1.11)$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Блок-схема установки для определения удельного заряда электрона представлена на рис. 5.



Р и с. 5

Электровакуумный диод 1Ц7С с радиусом анода $b=7$ мм помещен внутрь соленоида так, что их оси совпадают. Для питания соленоида L используется регулируемый выпрямитель. Кнопка «УСТАНОВКА U_a » (переменный резистор регулировка U на рис. 5) позволяет установить одно из трех рекомендуемых напряжений U_a лампы – 80, 100, 120 Вольт. Переменный резистор «ТОК КАТУШКИ» позволяет плавно регулировать ток катушки до 2 А с шагом 0.06 А. Все измеренные значения высвечиваются на ЖКД LCD индикаторе «ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР» (принятые обозначения I_k – ток катушки, А; U – напряжение анода, В; I_a – ток анода лампы, мА). Комбинированный «измерительный прибор» обеспечивает измерение напряжения на аноде лампы с точностью ± 2 В, тока катушки с точностью $\pm 0,02$ А, тока анода с точностью $\pm 0,02$ мА. Допускается нестабильность показаний измерительных приборов в пределах указанных погрешностей.

Поскольку длина соленоида значительно больше длины анода лампы, то расчет магнитного поля можно проводить по формуле (1.11). Параметры катушки: средняя длина намотки $L=0,16$ м, средний диаметр намотки $D=0,05$ м, количество витков $N \approx 1000$ витков.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться с блок-схемой установки рис.5. Включить установку в сеть напряжением ~ 220 В.
2. Перевести переключатель «СЕТЬ» на панели лабораторного модуля в положение «ВКЛ». При этом должен загореться светодиод «СЕТЬ». Ручка «ТОК КАТУШКИ» должна быть повернута до упора против часовой стрелки. Дать установке прогреться в течении 3-х минут.
3. Если напряжение на аноде лампы не установлено, установить однократным нажатием кнопки «УСТАНОВКА U_a » $U_a=80$ Вольт. **Для установки напряжения на аноде лампы кнопку «УСТАНОВКА U_a » держать нажатой не менее 2-х секунд.**
4. Вращением ручки «ТОК КАТУШКИ» снять зависимость анодного тока лампы I_a от тока катушки I_k . Шаг изменения тока катушки выбрать таким образом, чтобы получить 10-15 экспериментальных точек. Особенно тщательно промерить область «сброса» анодного тока лампы при достижении критического значения магнитного поля.
5. Кнопкой «УСТАНОВКА U_a » увеличить значение U_a лампы до 100 вольт и проделать действия п. 4.
6. Установив кнопкой «УСТАНОВКА U_a » $U_a=120$ Вольт, повторить п.4.
7. Для каждого анодного напряжения построить «сбросовую» характеристику магнетрона, определить значение критического тока катушки $I_{крит}$ и соответствующее ему критическое значения поля $B_{крит}$. по формуле (1.11) (см. рис. 3), а затем по формуле (1.8) вычислить значение удельного заряда электрона $\frac{e}{m}$. Радиус анода лампы считать равным $b=0,007$ м.
8. Вычислить среднее значение удельного заряда электрона и сравнить его с теоретическим значением $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие силы действуют на движущийся заряд в электрическом и магнитном полях?
2. Чем определяется траектория движения заряженной частицы в электромагнитном поле?
3. В чем заключается сущность метода магнетрона по определению удельного заряда электрона?
4. Какие экспериментальные методы по определению удельного заряда электрона вам известны? В чем заключается их сущность?
5. Какова причина различия теоретической и реальной сбросовых характеристик?
6. Запишите выражение для силы Лоренца в векторной форме.
7. Как определить направление силы Лоренца?
8. Как будет двигаться заряд в однородном магнитном поле, если вектор скорости и вектор индукции: а) параллельны, б) перпендикулярны, в) расположены под углом $0 < \alpha < 90^\circ$?
9. Как зависит радиус кривизны траектории электрона в магнетроне от индукции магнитного поля, если $U_a = \text{const}$?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев И.В. Курс общей физики, книга 2. Электричество и магнетизм.– М.: «Наука». 2003 г.
2. Детлаф А.А., Яворский В. М. Курс физики. М.: «Высшая школа», 1999 г.
3. Калашников С.Г. Электричество.– М.: Физматлит, 2004 г.
4. Трофимова Т.И. Курс физики.– М.: «Высшая школа», 2003г.