

### 3.3.1 (4.3). ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

2 сентября 2016 г.

#### А. Метод магнитной фокусировки

**В работе используются:** электронно-лучевая трубка и блок питания к ней; источник постоянного тока; соленоид; электростатический вольтметр; милливеберметр; ключи.

В этом упражнении удельный заряд электрона определяется по формуле

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 V}{l^2} \left( \frac{n^2}{B_{\Phi}^2} \right), \quad (1)$$

где  $V$  — ускоряющий потенциал в электронной трубке,  $l$  — путь электрона,  $B_{\Phi}$  — фокусирующее поле,  $n$  — номер фокуса.

**Экспериментальная установка.** Основной частью установки является электронный осциллограф С1-1, трубка которого вынута и установлена в длинном соленоиде, создающим магнитное поле. Напряжение на отклоняющие пластины и питание подводятся к трубке многожильным кабелем.

Пучок электронов, вылетающих из катода с разными скоростями (энергия электрона  $\simeq 0,1$  эВ), ускоряется анодным напряжением  $\simeq 1$  кВ. Пропустив пучок сквозь две узкие диафрагмы, можно выделить электроны с практически одинаковой продольной скоростью  $v_{\parallel}$ . Небольшое переменное напряжение, поступающее с клеммы «Контрольный сигнал» осциллографа на отклоняющие пластины, изменяет только поперечную составляющую скорости. Угол  $\alpha$  отклонения пучка от оси трубки, таким образом, зависит от времени, и электроны прочерчивают на экране трубки светящуюся линию. При увеличении магнитного поля линия на экране сокращается, постепенно стягиваясь в точку, а затем снова удлиняется. Второе прохождение через фокус происходит в том случае, когда электроны на пути от катода к экрану описывают два витка спирали, третье — при трёх витках.

Анодное напряжение, определяющее продольную скорость электронов, измеряется электростатическим киловольтметром.

Магнитное поле в соленоиде создаётся постоянным током (рис. 1), сила которого регулируется ручками источника питания и измеряется амперметром  $A$  источника. Ключ  $K$  служит для изменения направления поля в соленоиде.



Рис. 1. Схема установки для измерений  $e/m$  методом магнитной фокусировки

Величина магнитного поля определяется с помощью милливеберметра ( $mWb$  на рис. 1). Этот прибор измеряет изменение магнитного потока, пронизывающего измерительную (пробную) катушку, которая намотана на один каркас с соленоидом. Устройство милливеберметра и методы работы с ним изложены в техническом описании, расположенном на установке.

На точность результатов может влиять внешнее магнитное поле, особенно продольное. Оно не вызывает размытия фокуса, но изменяет величину фокусирующего поля. Присутствие внешнего магнитного поля проще всего обнаружить с помощью переполюсовки соленоида: при изменении направления поля показания милливеберметра будут отличаться, но их полусумма не зависит от наличия постоянного продольного поля.

Измерение магнитного поля с помощью милливеберметра обычно производится в предварительных опытах: при отключении ключа К устанавливается связь между силой тока, протекавшего через соленоид, и индукцией магнитного поля в соленоиде. По измеренным значениям строится калибровочный график, который используется при обработке результатов основных измерений для пересчёта от тока к индукции магнитного поля.

## ЗАДАНИЕ

В работе предлагается определить значения магнитных полей, при которых происходит фокусировка электронного пучка, и по результатам измерений рассчитать удельный заряд электрона  $e/m$ .

### 1. Подготовка приборов к работе

1. Познакомьтесь с назначением ручек управления источника питания магнита GPR (см. в конце папки). Установите все ручки регулировки источника питания на минимум сигнала (крайнее левое положение) и включите источник в сеть; используя сначала ручки «FINE» — точно, затем «COARSE» — грубо, установите ток «CURRENT» и напряжение «VOLTAGE» на максимум; определите предельное значение силы тока через соленоид; уберите ток «CURRENT», пользуясь сначала ручкой «COARSE», затем «FINE», при этом регуляторы напряжения остаются на максимуме (можно менять ток ручками регулировки напряжения «VOLTAGE» при неизменном положении регуляторов тока).
2. Включите осциллограф; убедитесь, что напряжение с клеммы «Контрольный сигнал» подано на вертикальный (или горизонтальный) вход усилителя; установите ручку «Диапазон частот» в положение «Выкл». Убедитесь, что включена подсветка электростатического вольтметра.

После прогрева на экране трубки должна появиться светящаяся линия. Отрегулируйте яркость и чёткость линии ручками «Яркость» и «Фокус» осциллографа, размер — ручками «Ослабление» и «Усиление».

Убедитесь, что при увеличении магнитного поля линия стягивается в точку.

## II. Калибровка электромагнита

### 3. Познакомьтесь с устройством милливеберметра (см. ТО).

Прокалибруйте электромагнит — определите связь между индукцией  $B$  магнитного поля в соленоиде и током  $I$  через обмотки магнита. Для этого с помощью милливеберметра снимите зависимость магнитного потока  $\Phi = BSN$ , пронизывающего пробную катушку, находящуюся в магнитном поле, от тока  $I$ . Величина  $SN$  (произведение площади сечения пробной катушки на число витков в ней) указана на установке. Ток измеряется амперметром  $A$ .

Подвижная система милливеберметра находится в безразличном равновесии, поэтому можно перевести переключатель прибора в положение «Корректор» и с помощью регулятора установить любое начальное положение стрелки, удобное для измерений. Вернув переключатель в положение «Измерение», отметьте начальное положение стрелки. Затем разомкните ключ  $K^1$  и по величине отклонения стрелки от начального положения определите магнитный поток  $\Phi$ , который пронизывал измерительную катушку (вся шкала — 10 мВб). Разделив поток на величину  $SN$  (произведение площади витка измерительной катушки на число витков в ней), можно рассчитать индукцию поля  $B$  в соленоиде.

Проведите измерения потока  $\Phi = f(I)$  во всём диапазоне изменения тока сначала при одном направлении тока через обмотку, затем при другом.

## III. Определение фокусирующего тока

### 4. Установите минимальный ток через соленоид и, постепенно увеличивая его, найдите значение тока $I_{\Phi}$ , при котором линия первый раз стягивается в точку (сила тока $I_{\Phi}$ зависит, конечно, от ускоряющего напряжения $V$ , а величина $V$ меняется с изменением яркости луча, поэтому не следует изменять яркость до конца измерений).

Продолжая увеличивать ток, снимите зависимость  $I_{\Phi}$  от порядкового номера фокуса  $n$ .

Повторите измерения п. 4 для другого направления магнитного поля.

### 5. Запишите ускоряющее напряжение $V$ (показания киловольтметра), величины $L$ и $SN$ , указанные на установке, и характеристики приборов.

Погрешность милливеберметра зависит от сопротивления измерительной катушки. В нашей установке оно составляет  $\simeq 5$  Ом.

### 6. Установите регуляторы источника питания на минимум сигнала и отключите источник. Отключите осциллограф.

## Обработка результатов

### 1. Постройте график $B_{\Phi} = f(I)$ .

### 2. По графику $B_{\Phi} = f(I)$ определите усреднённые значения $B_{\Phi}$ для каждого фокуса и построьте график зависимости $B_{\Phi} = f(n)$ . Используйте наклон графика для расчёта $e/m$ с помощью формулы (1).

### 3. Оцените погрешности и сравните результат с табличным.

<sup>1</sup> Измерения ведутся только при быстром РАЗМЫКАНИИ ключа, т.к. при быстром замыкании можно повредить контакты.

## Б. Метод магнетрона

**В работе используются:** электронная лампа с цилиндрическим анодом; соленоид; источники питания лампы и соленоида; вольтметр постоянного тока; миллиамперметр, амперметр.

В этом упражнении удельный заряд электрона определяется формулой

$$\frac{e}{m} = \frac{8V_a}{B_{кр}^2 r_a^2}, \quad (3)$$

где  $V_a$  — анодное напряжение,  $B_{кр}$  — критическое поле (см. рис 4),  $r_a$  — радиус анода.

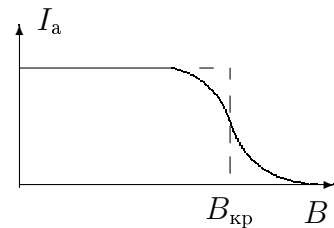


Рис. 4. Зависимость анодного тока от индукции магнитного поля в соленоиде

### Экспериментальная установка.

Схема установки приведена на рис. 5. Двухэлектродная лампа Л с цилиндрическим анодом специально изготовлена из немагнитных материалов. Анод лампы состоит из трёх металлических (нержавеющая сталь) цилиндров одинакового диаметра.

Два крайних цилиндра электрически изолированы от среднего небольшими зазорами и используются для устранения краевых эффектов на торцах среднего цилиндра, ток с которого используется при измерениях. В качестве катода используется тонкая (диаметром 50 мкм) хорошо натянутая вольфрамовая проволока, расположенная по оси всех трёх цилиндров анодной системы. Катод лампы разогревается переменным током, отбираемым от стабилизированного источника питания. С этого же источника на анод лампы подаётся постоянное напряжение  $V_a$  (0–120 В), регулируемое с помощью потенциометра и измеряемое вольтметром  $V$ .

Лампа закреплена в соленоиде. Магнитное поле в соленоиде создаётся постоянным током (рис. 5), сила которого регулируется ручками источника питания и измеряется амперметром  $A$ .

Индукция магнитного поля в соленоиде рассчитывается по току  $I_M$ , протекающему через обмотку соленоида. Коэффициент пропорциональности между ними указан на установке.

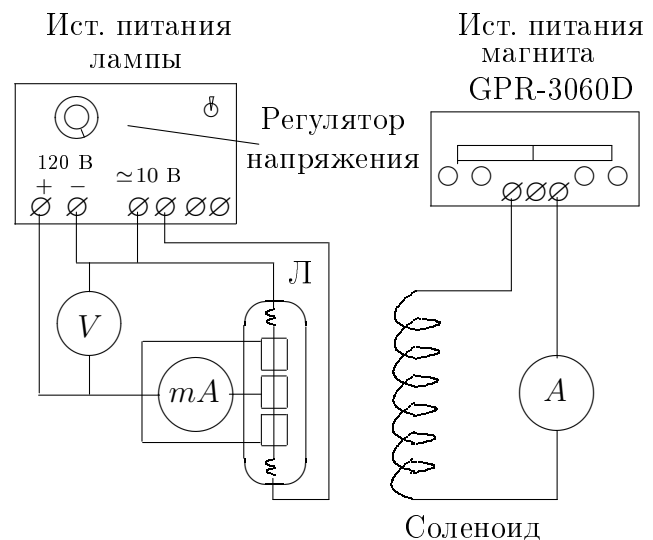


Рис. 5. Схема установки для измерений  $e/m$  методом магнетрона

## ЗАДАНИЕ

В работе предлагается исследовать зависимость анодного тока от тока, протекающего через соленоид, при различных напряжениях на аноде лампы и по результатам измерений рассчитать удельный заряд электрона.

1. Познакомьтесь с назначением ручек управления источника питания магнита GPR (см. ТО в конце папки). Установите все ручки регулировки источника питания на минимум (крайнее левое положение) и включите источник в сеть; используя сначала ручки «FINE» — точно, затем «COARSE» — грубо, установите ток «CURRENT» и напряжение «VOLTAGE» на максимум; определите предельное значение силы тока через соленоид; уберите ток «CURRENT», пользуясь сначала ручкой «COARSE», затем «FINE», при этом регуляторы напряжения остаются на максимуме (можно менять ток ручками регулировки напряжения «VOLTAGE» при неизменном положении регуляторов тока).
2. Включите источник питания лампы. Установите на аноде лампы потенциал  $V_a = 70$  В. Снимите зависимость анодного тока  $I_a$  от индукции магнитного поля в соленоиде (от тока  $I_m$  через соленоид). Ток  $I_m$  рекомендуем измерять амперметром  $A$  (он точнее, чем амперметр источника). В области резкого изменения  $I_a$  точки должны лежать чаще (рис. 4).
3. Снимите аналогичные зависимости  $I_a = f(I_m)$  для 5–6 фиксированных значений  $V_a$  в диапазоне 70–120 В.
4. Запишите параметры установки и характеристики приборов.
5. Установите регуляторы источников питания на минимум сигнала и отключите источники.

### Обработка результатов

1. Постройте на одном листе семейство кривых  $I_a(B)$ . Для каждого значения  $V_a$  определите по графику критическое значение индукции магнитного поля  $B_{кр}$ .
2. Постройте график зависимости  $B_{кр}^2$  от  $V_a$ . Используя угловой коэффициент полученной прямой, определите удельный заряд электрона  $e/m$  с помощью формулы (3).
3. Оцените погрешности и сравните результат с табличным.

Исправлено 2-IX-2016 г.