

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

### **Лабораторная работа 3.3.1**

Измерение удельного заряда электрона методами магнитной  
фокусировки и магнетрона

Выполнил:

Гисич Арсений

Б03-102

Долгопрудный

2022

# 1 Аннотация

В данной работе было определено отношение заряда электрона к его массе методами магнитной фокусировки и магнетрона.

## 2 Метод магнитной фокусировки

### 2.1 Теоретические сведения

Здесь удельный заряд электрона определяется по формуле

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8\pi^2 U}{L^2} \left( \frac{n^2}{B_\phi^2} \right), \quad (1)$$

где  $U$  — ускоряющий потенциал в электронной трубке,  $L$  — путь электрона,  $B_\phi$  — фокусирующее поле,  $n$  — номер фокуса.

### 2.2 Методика измерений

Основной частью установки является электронный осциллограф, 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, ускоряется анодным напряжением. Пропустив пучок сквозь две узкие диафрагмы, можно выделить электроны с практически одинаковой продольной скоростью. Небольшое переменное напряжение, поступающее с клеммы «Контрольный сигнал» осциллографа на отклоняющие пластины, изменяет только поперечную составляющую скорости. При увеличении магнитного поля линия на экране стягивается в точку, а затем снова удлиняется.

Магнитное поле создается постоянным током, величина которого регулируется ручками источника питания и измеряется амперметром. Ключ служит для изменения направления поля в соленоиде.

Величина магнитного поля определяется с помощью миллиамперметра.

На точность результатов может влиять внешнее магнитное поле, особенно продольное.

Измерения магнитного поля с помощью миллиамперметра обычно проводятся в предварительных опыта: при отключении ключа устанавливается связь между силой тока и индукцией магнитного поля в соленоиде.

### 2.3 Используемое оборудование

1. электронно-лучевая трубка;
2. соленоид;
3. регулируемый источник постоянного тока;
4. вольтметр;
5. магнитометр.



Рис. 1: Схема установки

## 2.4 Результаты измерений и обработка данных

Параметры установки:

$$L = 26,5 \text{ см}$$

$$SN = 3000 \text{ см}^2$$

$$U_A = 1,23 \pm 0,025 \text{ кВ}$$

$$r_{\text{внш}} = 5 \text{ Ом}$$

Результаты измерения калибровочной зависимости  $B(I)$  при двух направлениях тока через обмотку представлены в таб. 1 и 2.

$I, A$	$\sigma_I, A$	$\Phi, мВб$	$\sigma_\Phi, мВб$	$B, мТл$	$\sigma_B, мТл$
0	0,005	0	0,05	0	0,2
1,000	0,005	1,10	0,05	3,7	0,2
1,500	0,005	1,60	0,05	5,3	0,2
2,000	0,005	2,10	0,05	7,0	0,2
2,500	0,005	2,60	0,05	8,7	0,2
3,000	0,005	3,10	0,05	10,3	0,2
3,500	0,005	3,80	0,05	12,7	0,2
4,000	0,005	4,20	0,05	14,0	0,2
4,500	0,005	4,50	0,05	15,0	0,2

Таблица 1: Результаты измерений калибровочной кривой при прямом направлении тока

$I, A$	$\sigma_I, A$	$\Phi, мВб$	$\sigma_\Phi, мВб$	$B, мТл$	$\sigma_B, мТл$
0	0,005	0	0,05	0	0,2
1,000	0,005	1,00	0,05	3,3	0,2
1,500	0,005	1,50	0,05	5,0	0,2
2,000	0,005	2,10	0,05	7,0	0,2
2,500	0,005	2,70	0,05	9,0	0,2
3,000	0,005	3,20	0,05	10,7	0,2
3,500	0,005	3,70	0,05	12,3	0,2
4,000	0,005	4,40	0,05	14,7	0,2
4,500	0,005	4,80	0,05	16,0	0,2

Таблица 2: Результаты измерений калибровочной кривой при обратном направлении тока

Калибровочный график  $B(I)$  представлен на рис. 2.

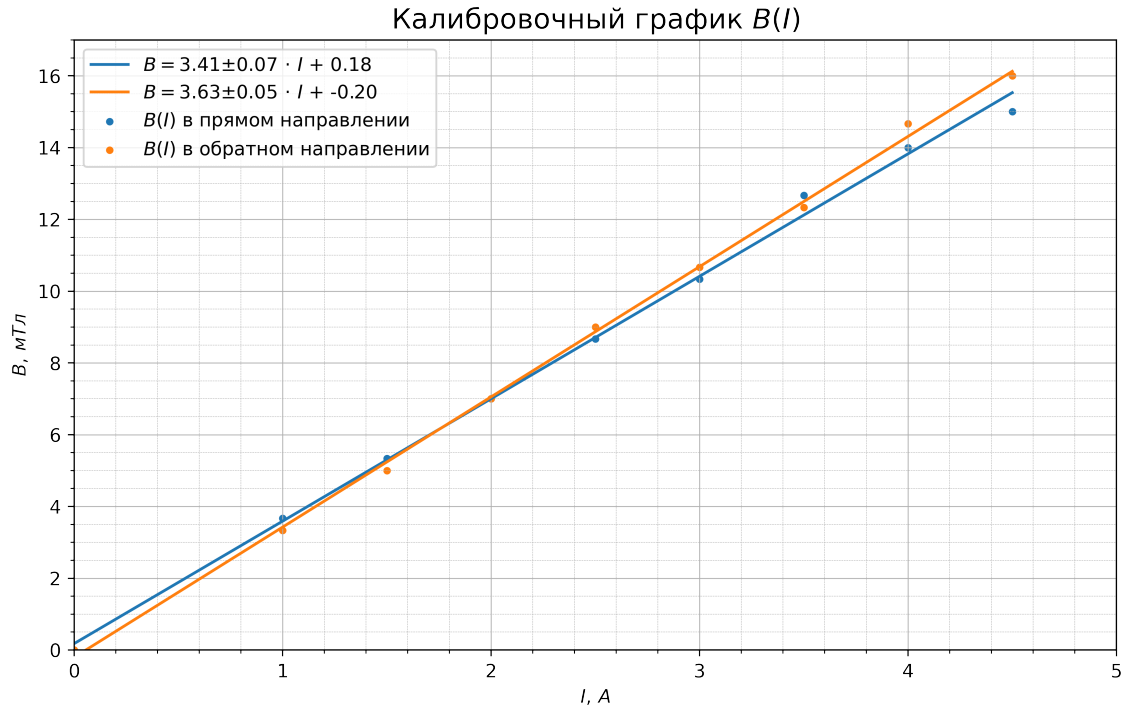


Рис. 2: Калибровочный график зависимости магнитного поля в соленоиде от тока в его обмотке

Полученные результаты измерения значения  $I_\phi$  в зависимости от номера фокуса представлены в таб. 3 и 4.

$n$	$I_\phi, A$	$\sigma_{I_\phi}, A$
1	1,350	0,005
2	2,060	0,005
3	2,800	0,005
4	3,420	0,005

Таблица 3: Результаты измерений тока фокусировки при прямом направлении тока

$n$	$I_\phi, A$	$\sigma_{I_\phi}, A$
1	1,360	0,005
2	2,070	0,005
3	2,730	0,005
4	3,520	0,005

Таблица 4: Результаты измерений тока фокусировки при обратном направлении тока

График зависимости  $B_\phi(n)$  представлен на рис. 3.

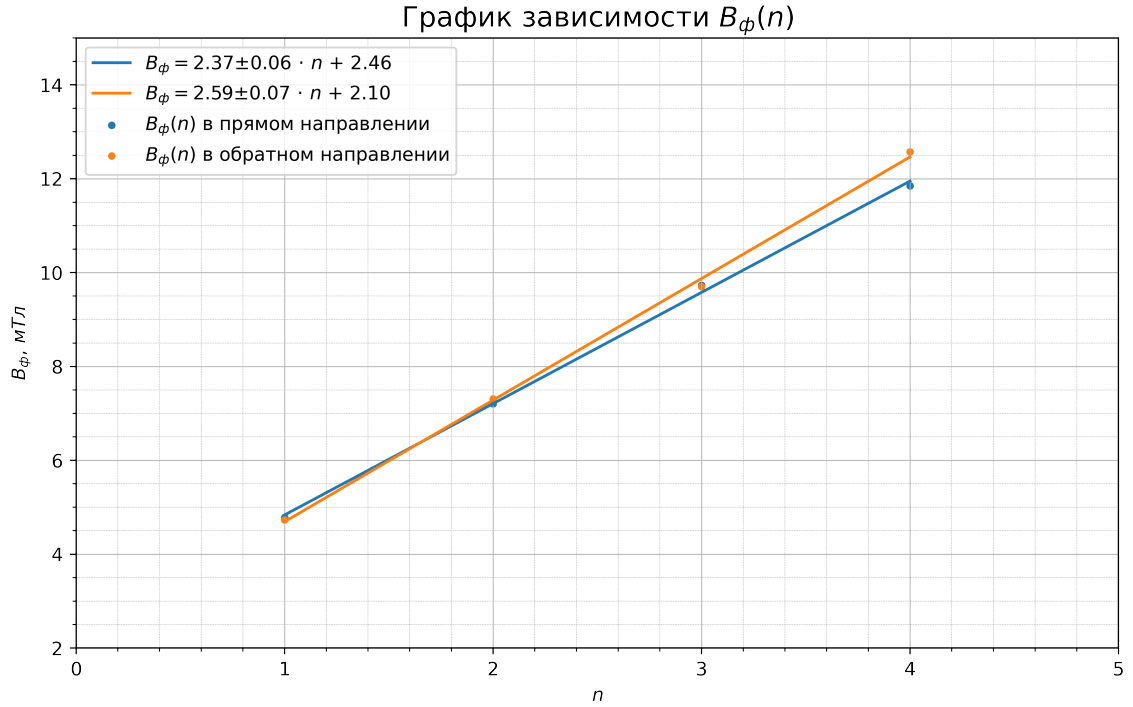


Рис. 3: График зависимости фокусирующего поля от номера  $n$

По формуле (1) вычисляем  $e/m$ . Полученное значение:

$$\frac{e}{m} = 1,6 \pm 0,1 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}.$$

## 3 Метод магнетрона

### 3.1 Теоретические сведения

Здесь удельный заряд электрона определяется по формуле

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8V_a}{B_{\text{кр}}^2 r_a^2},$$

где  $V_a$  — анодное напряжение,  $B_{\text{кр}}$  — критическое поле,  $r_a$  — радиус анода.

### 3.2 Методика измерений

Два крайних цилиндра изолированы от среднего меньшими зазорами и используются для устранения краевых эффектов на торцах среднего цилиндра, ток с которого используется при измерениях. В качестве катода используется тонкая вольфрамовая проволока. Катод разогревается переменным током, отбираемым от стабилизированного источника питания.

С этого же источника на анод лампы подается напряжение, регулируемое с помощью потенциометра и измеряемое вольтметром.

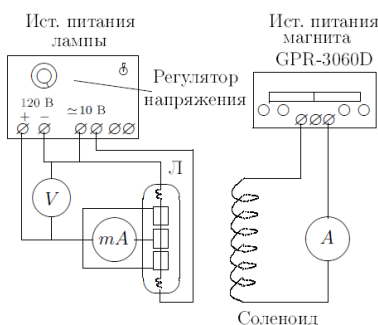


Рис. 4: Схема установки

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

Лампа закреплена в соленоиде. Магнитное поле в соленоиде создается постоянным током, сила которого регулируется ручками источника питания и измеряется амперметром.

### 3.3 Используемое оборудование

1. электронная лампа с цилиндрическим анодом;
2. регулируемый источник постоянного тока;
3. соленоид;
4. вольтметр;
5. 2 амперметра.

### 3.4 Результаты измерений и обработка данных

## 4 Обсуждение результатов и выводы

В данной работе исследовалась зависимость сдвига фаз в цепи переменного тока от его активного сопротивления при различных параметрах контура. По результатам измерений для RC-цепи зависимость существенно отклоняется от теоретической, а для RL-цепи согласуется с теорией. Это может быть вызвано плохим контактом соединительных проводов, небольшим количеством измерений или особенностями оборудования в экспериментальной установке.

Добротность исследованной RCL-цепи не превысила 10 при нулевом сопротивлении магазина, а при подключении дополнительного сопротивления и вовсе близка к единице. Это позволяет сделать вывод о том, что данная установка мало подходит для изучения собственных слабозатухающих колебаний в RCL-цепи, так как затухание колебаний в такой цепи будет слишком быстрым. Однако проведённый опыт показал, что полученные значения добротности достаточны для применимости использованной установки при исследовании вынужденных колебаний.

При исследовании фазовращателя рассчитанное теоретически сопротивление магазина, при котором сдвиг фаз между входным и выходным напряжениями равен  $\pi/2$ , близко от подобранной экспериментально, что согласуется с теорией.