

# Лабораторная работа 3.3.1

## Измерение удельного заряда электрона методами магнитной фокусировки и магнетрона

Попова Софья Б04-401

September 2025

### Цель работы

Определение отношения заряда электрона к его массе методом магнитной фокусировки и методом магнетрона.

### Оборудование

А) электронно-лучевая трубка (с блоком питания), соленоид, регулируемый источник постоянного тока, вольтметр, магнитометр (миллitesламетр или милливеберметр);

Б) электронная лампа с цилиндрическим анодом, регулируемый источник постоянного тока, соленоид, вольтметр, два амперметра.

### Теоретическая часть

#### А. Метод магнитной фокусировки

В постоянном однородном магнитном поле траектории заряженных частиц представляют собой спирали. За время  $T$  (циклотронный период), заряд сместится вдоль магнитного поля на расстояние  $L$  (шаг спирали). При малых углах расстояние  $L$  не зависит от угла вылета, так что все электроны, вышедшие из одной точки, после одного оборота вновь соберутся в одной точке — сфокусируются. Индукция поля  $B$ , при которой точка фокусировки отстоит от точки вылета на расстоянии  $L$ , определяется величиной  $e/m$  — удельным зарядом частицы.

Используемые формулы:

$$\Phi = BSN \quad (1)$$

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 U_A}{L^2} \cdot \frac{n^2}{B_\Phi^2(n)} \quad (2)$$

#### Б. Метод магнетрона

В так называемом методе магнетрона отношение  $e/m$  измеряется на основе исследования движения электрона в скрещенных (перпендикулярных друг другу) электрическом и магнитном полях. При наличии магнитного поля траектории электронов искривляются, вследствие чего при достаточно большом  $B$  ни один электрон не достигнет анода. Таким образом, при заданном напряжении  $U$  между пластинами существует некоторое критическое значение магнитной индукции  $B_{кр}(U)$ , при котором траектории касаются поверхности анода. Если  $B < B_{кр}$ , то все электроны достигают анода, и ток через магнетрон имеет то же значение, что и без магнитного поля. Если же  $B > B_{кр}$ , то электроны не достигают анода, и ток через вакуумный диод равен нулю.

Используемые формулы:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_A}{B_{kp}^2 r_A^2} \quad (3)$$

## Практическая часть

### Часть А

#### Характеристики приборов

- Амперметр источника тока:  $\Delta_I = 0,01$  А;
- Вольтметр источника тока:  $\Delta_U = 0,1$  В;
- Вольтметр ускоряющего напряжения:  $\Delta_{U_A} = 0,01$  кВ;
- Милливеберметр:  $\Delta_B = 0,1$  мВб (потому что стрелка чуть двигалась во время измерений)
- Параметр катушки  $SN = 3000$  см<sup>2</sup>;
- Длина трубки  $L = 26,5$  см.

#### Измерение калибровочной кривой $B(I)$

	Первое направление тока							
I, А	3.64	2.89	2.32	1.67	1.31	0.55	0.35	0.15
Φ, мВб	5	4	3.2	2.3	1.8	0.8	0.5	0.2
B, $\frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} \cdot 10^{-2}$	1.66	1.33	1.06	0.76	0.6	0.26	0.16	0.06
	Противоположное направление тока							
I, А	3.6	2.8	2.11	1.5	1.23	0.8	0.54	0.22
Φ, мВб	4.9	3.8	2.8	2.2	1.7	1.15	0.8	0.3
B, $\frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} \cdot 10^{-2}$	1.63	1.26	0.93	0.73	0.56	0.38	0.26	0.1

Таблица 1: Зависимость магнитного поля в соленоиде от тока в его обмотке

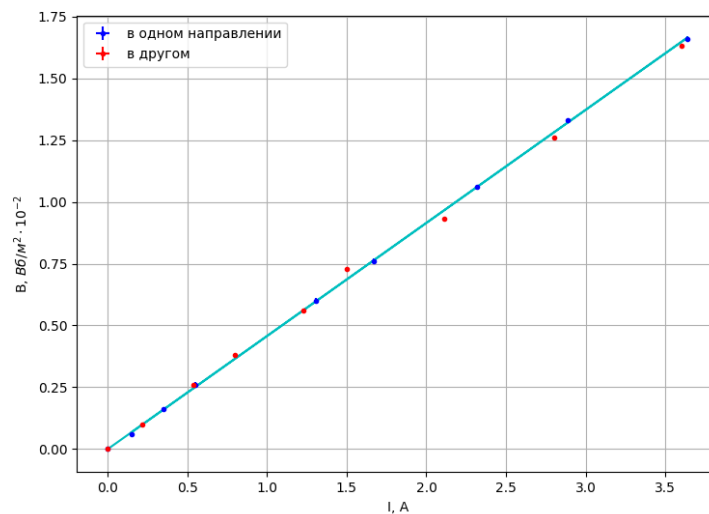


Рис. 1: Зависимость магнитного поля в соленоиде от тока в его обмотке

	Первое направление тока					
номер фокуса	1	2	3	4	5	
$I_{\text{ф}}, A$	0.64	1.3	1.96	2.61	3.35	
	Противоположное направление тока					
номер фокуса	1	2	3	4	5	6
$I_{\text{ф}}, A$	0.67	1.34	1.98	2.38	2.92	3.48

Таблица 2: Значения тока  $I_{\text{ф}}$  в точках фокусов

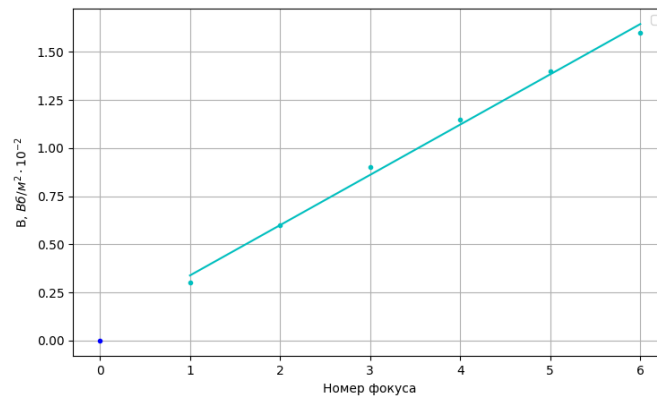
### Определение фокусов

Значение ускоряющего напряжения -  $U_A = 960 \text{ В}$

### Определение значений $B_{\text{ф}}$

номер фокуса	1	2	3	4	5	6
$B_{\text{ф}}, \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} \cdot 10^{-2}$	0.3	0.6	0.9	1.15	1.4	1.6

Таблица 3: Усреднённые значения  $B_{\text{ф}}$



Наклон графика: 0,2614

$$L = 0.265$$

По формуле (2) и используя наклон графика и значение L определим удельный заряд электрона:

$$e/m = 1.58 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

Табличное значение:  $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$

## Часть Б

### Характеристики приборов

- Миллиамперметр:  $\Delta I_a = 0,002$  мА (потому что стрелка чуть двигалась во время измерений);
- Амперметр соленоида:  $\Delta I_m = 0,004$  мА (потому что стрелка чуть двигалась во время измерений);
- Вольтметр:  $\Delta U = 0,5$  В;
- Параметр лампы  $k = 2,8 \cdot 10^{-2} \frac{T}{A}$ ;
- Параметр лампы  $r_a = 12$  мм.

### Измерение зависимости анодного тока $I_A$ от тока через соленоид $I_C$

Таблица со значениями  $I_A$  и  $I_C$  для разных значений напряжения  $U_A$  приведена в конце отчёта.

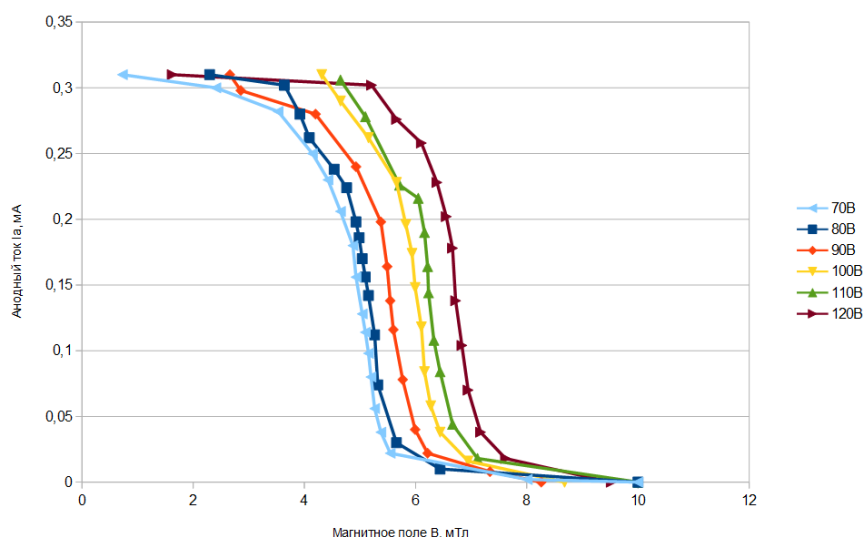


Рис. 2: Зависимость анодного тока  $I_A$  от магнитного поля  $B$

По графику определяется  $B_{кр}$ :

$U_A$ , В	70	80	90	100	110	120
$B_{кр}$ , мТл	4.94	5.12	5.52	5.98	6.23	6.75

Таблица 4: Критические значения  $B_{кр}$

Угловой коэффициент: 0.4254

По формуле (3) по угловому коэффициенту из графика определим заряд электрона  $\frac{e}{m}$ :

$$\frac{e}{m} = \frac{8}{0,4254 \cdot 12^2} = 1,306 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

Табличное значение:  $\frac{e}{m} = 1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг

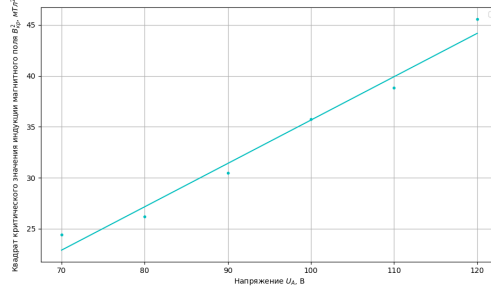


Рис. 3: Зависимость  $B_{кр}^2$  от  $U_A$

## Вывод

Методом магнитной фокусировки:  $e/m = (1,54 \pm 0,03) \cdot 10^{11}$  Кл/кг;

Методом магнетрона:  $e/m = (1,29 \pm 0,09) \cdot 10^{11}$  Кл/кг.

Табличное значение удельного заряда  $(e/m)_{теор} = 1,76 \cdot 10^{11}$  Кл/кг.

Оба метода дали результаты, сходящиеся по порядку с табличным значением, однако первый метод (магнитной фокусировки) оказался точнее. Это можно объяснить низкой точностью миллиамперметра и определением  $B_{кр}$  по графику.

Напряжение $U_A = 70В$																
$I_M$ , А	0,026	0,086	0,126	0,148	0,158	0,166	0,174	0,176	0,18	0,182	0,184	0,1856	0,188	0,192	0,198	0,286
$I_A$ , мА	0,3	0,31	0,282	0,25	0,23	0,206	0,18	0,156	0,128	0,114	0,098	0,08	0,056	0,038	0,022	0,002
$B$ , мТл	0,728	2,408	3,528	4,144	4,424	4,648	4,872	4,928	5,04	5,096	5,152	5,1968	5,264	5,376	5,544	8,008
Напряжение $U_A = 80В$																
$I_M$ , А	0,082	0,13	0,14	0,146	0,162	0,17	0,176	0,178	0,18	0,182	0,184	0,188	0,19	0,202	0,23	0,7
$I_A$ , мА	0,31	0,302	0,28	0,262	0,238	0,224	0,198	0,186	0,17	0,156	0,142	0,112	0,074	0,03	0,01	0
$B$ , мТл	2,296	3,64	3,92	4,088	4,536	4,76	4,928	4,984	5,04	5,096	5,152	5,264	5,32	5,656	6,44	19,6
Напряжение $U_A = 90В$																
$I_M$ , А	0,095	0,102	0,15	0,176	0,192	0,196	0,198	0,2	0,206	0,214	0,222	0,262	0,295			
$I_A$ , мА	0,31	0,298	0,28	0,24	0,198	0,164	0,138	0,116	0,078	0,04	0,022	0,008	0			
$B$ , мТл	2,66	2,856	4,2	4,928	5,376	5,488	5,544	5,6	5,768	5,992	6,216	7,336	8,26			
Напряжение $U_A = 100В$																
$I_M$ , А	0,154	0,166	0,184	0,202	0,208	0,212	0,214	0,218	0,222	0,224	0,23	0,248	0,31			
$I_A$ , мА	0,31	0,29	0,262	0,228	0,196	0,174	0,148	0,118	0,084	0,058	0,038	0,016	0			
$B$ , мТл	4,312	4,648	5,152	5,656	5,824	5,936	5,992	6,104	6,216	6,272	6,44	6,944	8,68			
Напряжение $U_A = 110В$																
$I_M$ , А	0,166	0,182	0,204	0,216	0,22	0,222	0,224	0,226	0,23	0,238	0,254	0,55				
$I_A$ , мА	0,306	0,278	0,226	0,216	0,19	0,164	0,144	0,108	0,084	0,044	0,018	0				
$B$ , мТл	4,648	5,096	5,712	6,048	6,16	6,216	6,272	6,328	6,44	6,664	7,112	15,4				
Напряжение $U_A = 120В$																
$I_M$ , А	0,058	0,186	0,202	0,218	0,228	0,234	0,238	0,24	0,244	0,248	0,256	0,272	0,34			
$I_A$ , мА	0,31	0,302	0,276	0,258	0,228	0,202	0,178	0,138	0,104	0,07	0,038	0,018	0			
$B$ , мТл	1,624	5,208	5,656	6,104	6,384	6,552	6,664	6,72	6,832	6,944	7,168	7,616	9,52			