

Группа	Р3207	К работе допущен	
Студент	Садовой Г.В.	Работа выполнена	
Преподаватель	Терещенко Г.В.	Отчет принят	

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.03 "Определение удельного заряда электрона"

1 Цель работы

Определить удельный заряд электрона методом магнетрона.

2 Задачи, решаемые при выполнении работы

- 1. Провести измерения зависимости анодного тока I_a вакуумного диода от величины тока в соленоиде при различных значениях анодного напряжения.
- 2. Построить графики зависимостей I_a от B и определить по ним величины критических полей для каждого значения анодного напряжения.
- 3. По значениям критического поля найти величину удельного заряда электрона и оценить ее погрешность.

3 Объект исследования

Анодный ток в соосном вакуумном диоде под действием магнитного поля соленоидной обмотки.

4 Метод экспериментального исследования

Измерение анодного тока при изменении тока на соленоиде при различном напряжении на аноде.

5 Рабочие формулы и исходные данные

Радиус анода: $r_a = 3 \text{ мм}$

Диаметр катушки: $d = 37 \text{ мм}$

Длина катушки: $l = 36 \text{ мм}$

Число витков катушки: $N = 1500$

Удельный заряд электрона:

$$\frac{e}{m} = \frac{8U}{B_c^2 r_a^2} \quad (1)$$

где U - анодное напряжение, $r = r_a$ и $B = B_c$ - критическое значение магнитной индукции (только

в таком случае траектория электронов будет касательной к аноду):

Магнитное поле внутри соленоида конечной длины в СИ ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-6} \frac{H}{A^2}$):

$$B = \frac{\mu_0 I N}{\sqrt{d^2 + l^2}} \quad (2)$$

6 Измерительные приборы

№	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Мультиметр в режиме амперметра	электронный	$0 \div 10 \text{ A}$	$0,005 \text{ A}$
2	Мультиметр в режиме амперметра	электронный	$0 \div 2 \text{ mA}$	$0,05 \text{ mA}$
3	Вольтметр	электронный	$9 \div 13 \text{ B}$	$0,05 \text{ B}$

7 Схема установки

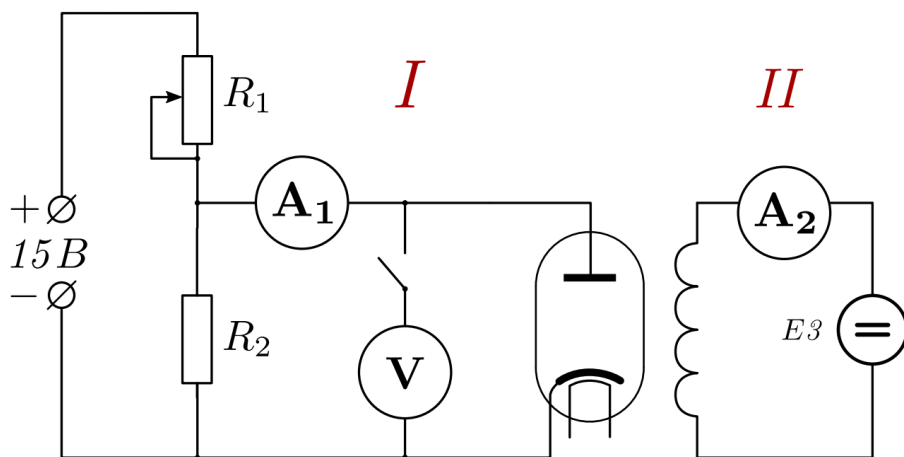


Рис. 1: Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки

8 Результаты прямых измерений и их обработки

№ опыта	Анодное напряжение					
	$U = 9 \text{ В}$		$U = 10,5 \text{ В}$		$U = 13,5 \text{ В}$	
	$I_c, \text{ мА}$	$I_a, \text{ мА}$	$I_c, \text{ мА}$	$I_a, \text{ мА}$	$I_c, \text{ мА}$	$I_a, \text{ мА}$
1	0,001	0,214	0,000	0,259	0,000	0,347
2	0,022	0,214	0,023	0,259	0,030	0,347
3	0,043	0,214	0,057	0,259	0,060	0,347
4	0,061	0,214	0,086	0,259	0,085	0,348
5	0,086	0,214	0,100	0,259	0,110	0,348
6	0,106	0,214	0,131	0,260	0,134	0,348
7	0,135	0,214	0,150	0,260	0,149	0,350
8	0,161	0,213	0,174	0,260	0,161	0,350
9	0,180	0,212	0,192	0,257	0,181	0,349
10	0,207	0,204	0,214	0,249	0,203	0,344
11	0,228	0,174	0,236	0,207	0,230	0,328
12	0,248	0,134	0,266	0,147	0,262	0,230
13	0,268	0,110	0,285	0,126	0,289	0,176
14	0,289	0,093	0,307	0,110	0,308	0,149
15	0,311	0,082	0,330	0,098	0,337	0,144
16	0,332	0,070	0,354	0,083	0,362	0,125
17	0,352	0,061	0,378	0,073	0,383	0,112
18	0,382	0,051	0,395	0,066	0,410	0,099
19	0,403	0,046	0,424	0,057	0,428	0,091
20	0,425	0,041	0,448	0,052	0,452	0,081
21	0,444	0,038	0,460	0,049	0,472	0,075
22	0,467	0,034	0,480	0,045	0,486	0,070
23	0,499	0,031	0,500	0,042	0,500	0,067

Таблица 1: Результаты прямых измерений токов на аноде и на соленоиде и дальнейших расчетов

$U, \text{ В}$	$I_{cp}, \text{ мА}$	$B_{kp}, \text{ мТл}$	$e/m, \text{ Кл/кг}$
9	0,228	83,2	$1,16 \times 10^{11}$
10,5	0,236	86,1	$1,26 \times 10^{11}$
13,5	0,262	95,6	$1,31 \times 10^{11}$

Таблица 2: Значения критической силы катодного тока и индукции магнитного поля в центре соленоида

9 Расчёт результатов косвенных измерений

По формуле (2) были рассчитаны значения B , данные внесены в Таблицу 2.

$$B = \frac{\mu_0 I N}{\sqrt{d^2 + l^2}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} \cdot 0,228}{\sqrt{0,036^2 + 0,037^2}} = 83,2 \text{ мТл.} \quad (3)$$

Удельный заряд электрона для каждого значения анодного напряжения и критического тока вычислялся по формуле (1):

$$\frac{e}{m} = \frac{8U}{B_c^2 r_a^2} = \frac{8 \cdot 9}{0,228^2 \cdot 0,003^2} = 1,16 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}. \quad (4)$$

Среднее значение удельного заряда электрона:

$$\left\langle \frac{e}{m} \right\rangle = 1,24 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}.$$

Угловой коэффициент:

$$\frac{\Delta B_c^2}{\Delta U} = \frac{\frac{83,2^2 + 86,1^2 + 95,6^2}{3}}{\frac{9 + 10,5 + 13,5}{3}} \approx 7,1 \frac{\text{Тл}^2}{\text{В}}.$$

10 Расчёт погрешностей измерений

Примем погрешности измерительных величин: $\Delta r = 0,05 \text{ мм}$, $\Delta d = 0,5 \text{ мм}$, $\Delta l = 0,5 \text{ мм}$, $\Delta I_{kp} = 0,02 \text{ А}$, $\Delta U = 0,05 \text{ В}$.

Графическая погрешность определения критического тока — $0,015 \text{ А}$, приборная — $\approx 0,005 \text{ А}$.

Погрешность удельного заряда электрона оценивается по формуле

$$\Delta\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{e}{m} \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta I_{kp}}{I_{kp}}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta l}{l}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta d}{d}\right)^2}.$$

Для $U = 9 \text{ В}$, $I_{kp} = 0,228 \text{ А}$, $e/m = 1,16 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$

$$\Delta\left(\frac{e}{m}\right)_1 = 1,16 \times 10^{11} \sqrt{\left(\frac{0,05}{9}\right)^2 + \left(2\frac{0,05}{3}\right)^2 + \left(2\frac{0,02}{0,228}\right)^2 + \left(2\frac{0,5}{37}\right)^2 + \left(2\frac{0,5}{36}\right)^2} \approx 0,21 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}.$$

Для $U = 10,5 \text{ В}$, $I_{kp} = 0,236 \text{ А}$, $e/m = 1,26 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$

$$(\Delta e/m)_2 \approx 0,23 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}.$$

Для $U = 13,5 \text{ В}$, $I_{kp} = 0,262 \text{ А}$, $e/m = 1,31 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$

$$(\Delta e/m)_3 \approx 0,21 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}.$$

Погрешность усреднённого значения (метод весов):

$$\Delta\left\langle \frac{e}{m} \right\rangle \approx 0,22 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}.$$

11 Графики

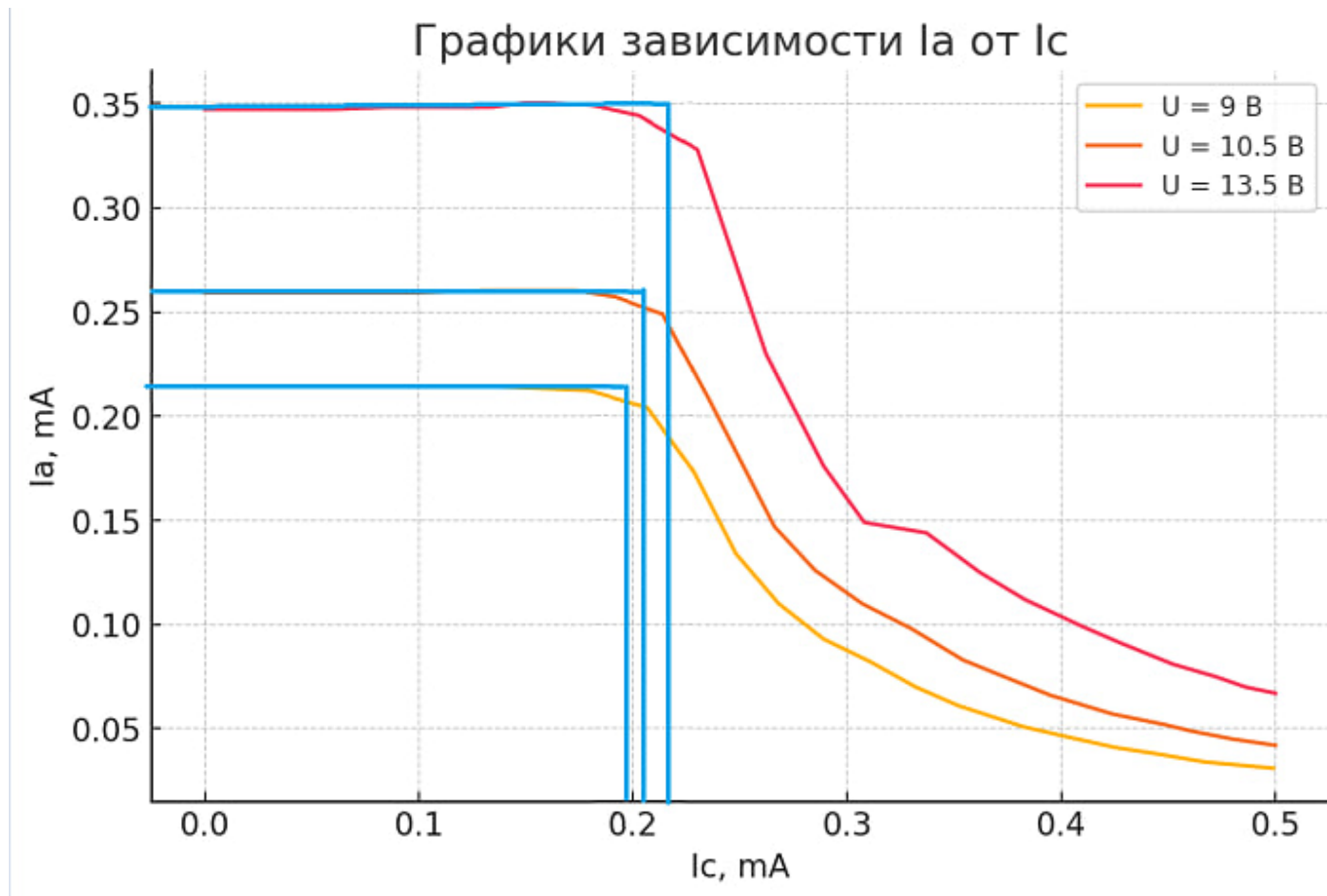


Рис. 2: *
Рис.2

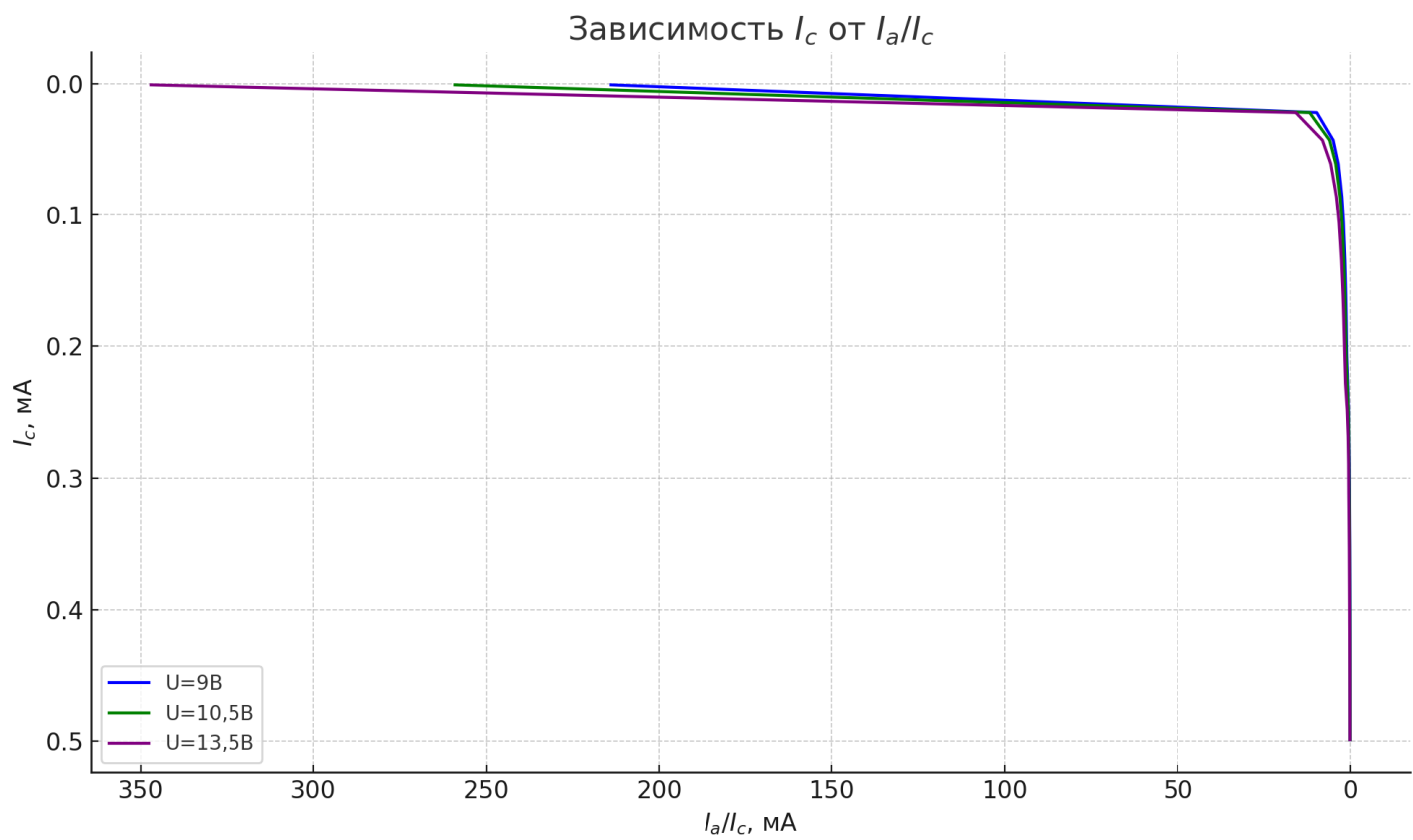


Рис. 3: *
Рис.3

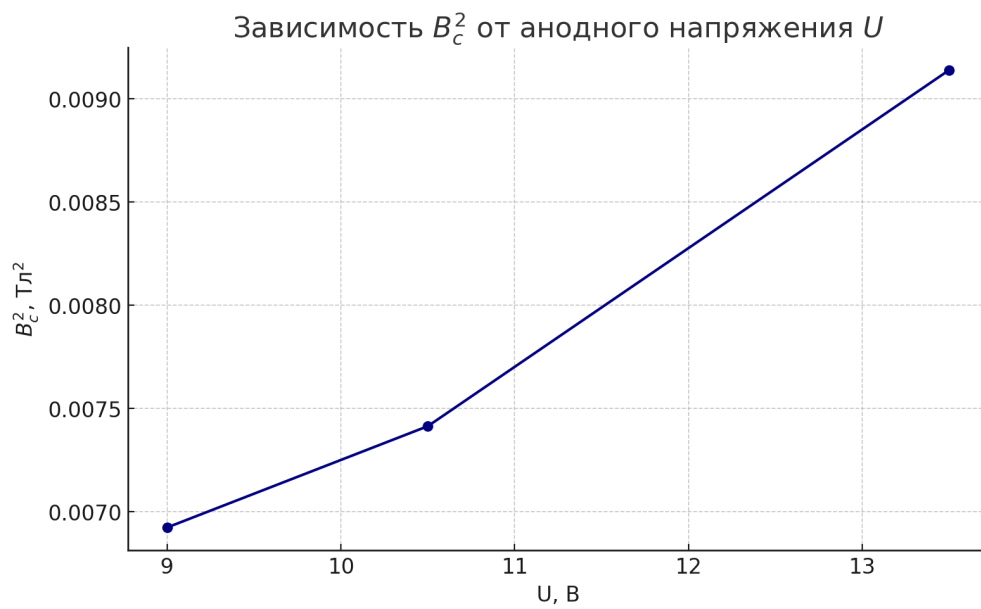


Рис. 4: *
Рис.4

12 Окончательные результаты

Среднее значение удельного заряда электрона:

$$\frac{e}{m} = (1,24 \pm 0,27) \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

Табличное значение удельного заряда электрона:

$$\frac{e}{m} \cong 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

13 Выводы и анализ результатов работы

В ходе выполнения работы был определён удельный заряд электрона методом магнетрона. Экспериментальное среднее значение составило

$$(1,24 \pm 0,27) \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг},$$

в то время как табличное значение равно

$$1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}.$$

Сравнение показывает, что табличное значение не попадает в доверительный интервал, что указывает на наличие расхождений между теорией и экспериментом. Это может быть связано с систематическими ошибками, в том числе неточностью определения критического тока, погрешностями в измерении геометрических параметров установки или допущениями в расчётной модели. Несмотря на это, наблюдается характерная зависимость анодного тока от катодного, включая чётко выраженный излом, а также рост значения B^2 с увеличением анодного напряжения, что подтверждает корректность экспериментальной методики в качественном аспекте.