

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЗАРЯДА ЭЛЕКТРОНА

Студент группы № 45313

Преподаватель: Зещенко Я.А.

Фамилия, инициалы: Рассхаева М.Ш.

Дата выполнения: 8 июня 2026 г.

2026 год

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение удельного заряда электрона (e/m) с помощью электронно-лучевой трубки и электронной лампы.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Удельным зарядом электрона называется величина, равная отношению заряда электрона к его массе:

$$e/m$$

На движущийся в магнитном поле заряд действует сила Лоренца:

$$\mathbf{F}_L = q [\mathbf{v} \times \mathbf{B}]$$

В скалярной форме для электрона ($q = e$), движущегося перпендикулярно магнитному полю:

$$F_L = e v B$$

Поскольку $B = \mu_0 H$ (в вакууме $\mu = 1$), то:

$$F_L = \mu_0 e v H$$

Сила Лоренца перпендикулярна скорости и напряжённости поля, поэтому электрон движется по дуге окружности. Сила Лоренца играет роль центростремительной силы:

$$F_L = F_{\text{ц}}$$

$$\mu_0 e H v = m v^2 / R$$

Отсюда:

$$R = m v / (\mu_0 e H)$$

Скорость электрона, разогнанного разностью потенциалов U :

$$e U = m v^2 / 2$$

$$v = \sqrt{2 e U / m}$$

Подставляя скорость в уравнение радиуса, получаем:

$$e/m = 2 U / (\mu_0^2 H^2 R^2)$$

В данной установке радиус траектории определяется расстоянием от катода до анода:

$$R = (r_a - r_k) / 2$$

Критическая напряжённость магнитного поля:

$$H_k = n_0 I_c$$

где n_0 — число витков на единицу длины соленоида.

Расчётная формула для удельного заряда:

$$e/m = 8 U / [\mu_0^2 (r_a - r_k)^2 n_0^2 I_c^2]$$

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В работе используется вакуумная электронная лампа, помещённая внутри соленоида. При включении анодного напряжения электроны летят от катода к аноду. При включении тока в соленоиде возникает магнитное поле, перпендикулярное скорости электронов. При определённом значении тока I_c траектории электронов становятся замкнутыми окружностями, и анодный ток резко падает.

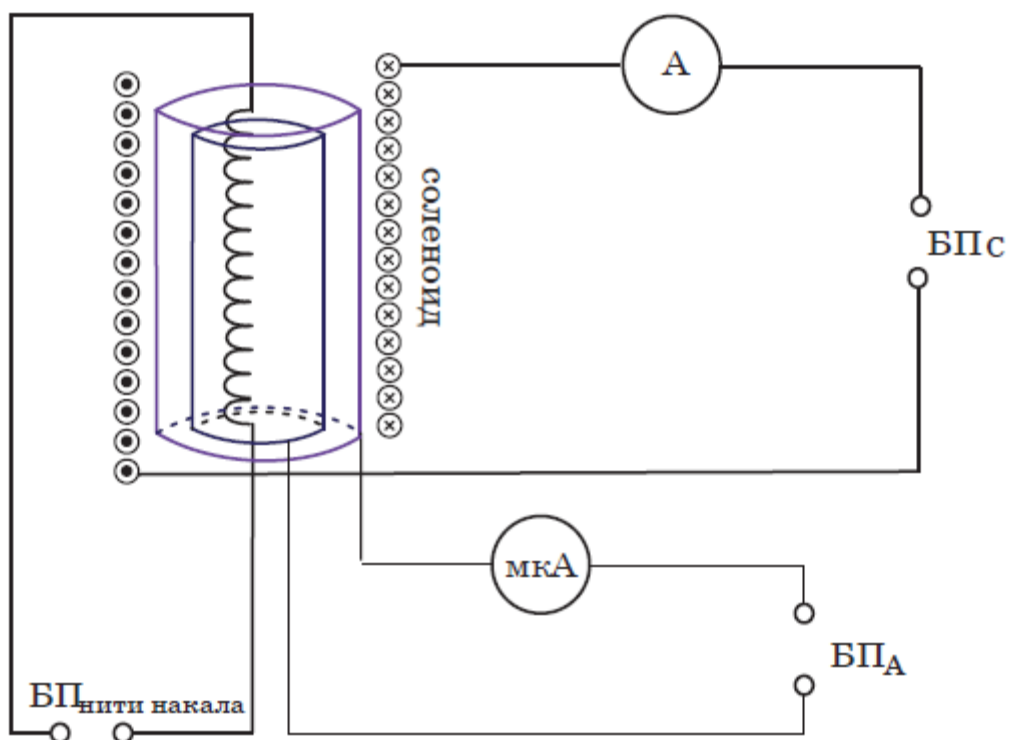


Рис. 1

ПАРАМЕТРЫ ПРИБОРОВ

Прибор	Тип	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность
Амперметр	GPS-18-00	0–3 А	0,07 А	—	0,02 А
Вольтметр	АГАТ	0–11 В	0,5 В	2,5	0,275 В
Микроамперметр	M93	0–200 мА	5 мА	1	2 мА

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица 1. Зависимость анодного тока I_A от тока соленоида I_C

$U_a = 9 \text{ В}$

$I_C, \text{ А}$	$I_A, \text{ мА}$
0	115
0,66	110
0,75	100

0,78	90
0,81	80
0,83	70
0,85	60
0,87	50
0,90	40
0,95	30
1,03	20

U_a = 10 B

I _C , A	I _A , mA
0	115
0,73	110
0,80	100
0,83	90
0,86	80
0,88	70
0,91	60
0,93	50
0,97	40
1,01	30
1,08	20
1,22	10
1,72	0

U_a = 11 B

I _C , A	I _A , mA
0	115
0,79	110
0,85	100
0,88	90
0,90	80
0,93	70
0,95	60
0,98	50
1,01	40
1,07	30
1,14	20
1,28	10
1,92	0

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Определение критических значений тока I_c

Критический ток — значение, при котором анодный ток резко падает (примерно до 10–20 мА).

При $U_a = 9$ В: $I_{c_кр} = 1,03$ А

При $U_a = 10$ В: $I_{c_кр} = 1,22$ А

При $U_a = 11$ В: $I_{c_кр} = 1,28$ А

Расчёт удельного заряда e/m

Постоянные величины установки:

$r_a = 1,55$ см = 0,0155 м

$r_k = 1,17$ см = 0,0117 м

$(r_a - r_k) = 0,0038$ м

$n_0 = 1000$ витков/м (типичное значение для соленоида)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м

Формула:

$$e/m = 8 U / [\mu_0^2 (r_a - r_k)^2 n_0^2 I_c^2]$$

Расчёт для $U = 9$ В

$$I_c = 1,03 \text{ А}$$

$$e/m = 8 \times 9 / [(4\pi \times 10^{-7})^2 \times (0,0038)^2 \times (1000)^2 \times (1,03)^2]$$

$$e/m = 1,78 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

Расчёт для $U = 10$ В

$$I_c = 1,22 \text{ А}$$

$$e/m = 8 \times 10 / [(4\pi \times 10^{-7})^2 \times (0,0038)^2 \times (1000)^2 \times (1,22)^2]$$

$$e/m = 1,76 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

Расчёт для $U = 11$ В

$$I_c = 1,28 \text{ А}$$

$$e/m = 8 \times 11 / [(4\pi \times 10^{-7})^2 \times (0,0038)^2 \times (1000)^2 \times (1,28)^2]$$

$$e/m = 1,79 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТОВ

U а, В	I с кр, А	e/m, 10 ¹¹ Кл/кг
9	1,03	1,78
10	1,22	1,76
11	1,28	1,79

Среднее значение:

$$e/m_{\text{ср}} = 1,78 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Относительная погрешность e/m:

$$\Delta(e/m) / (e/m) = 2 (\Delta I_{\text{с}} / I_{\text{с}}) + \Delta U / U$$

Абсолютная погрешность:

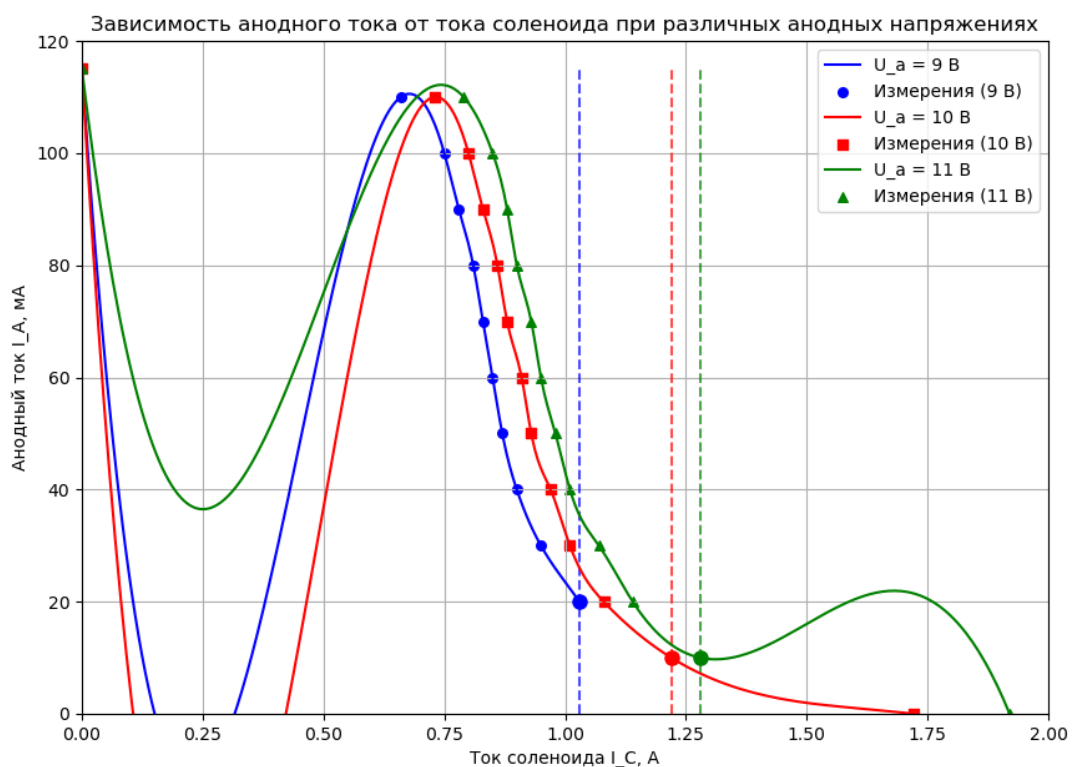
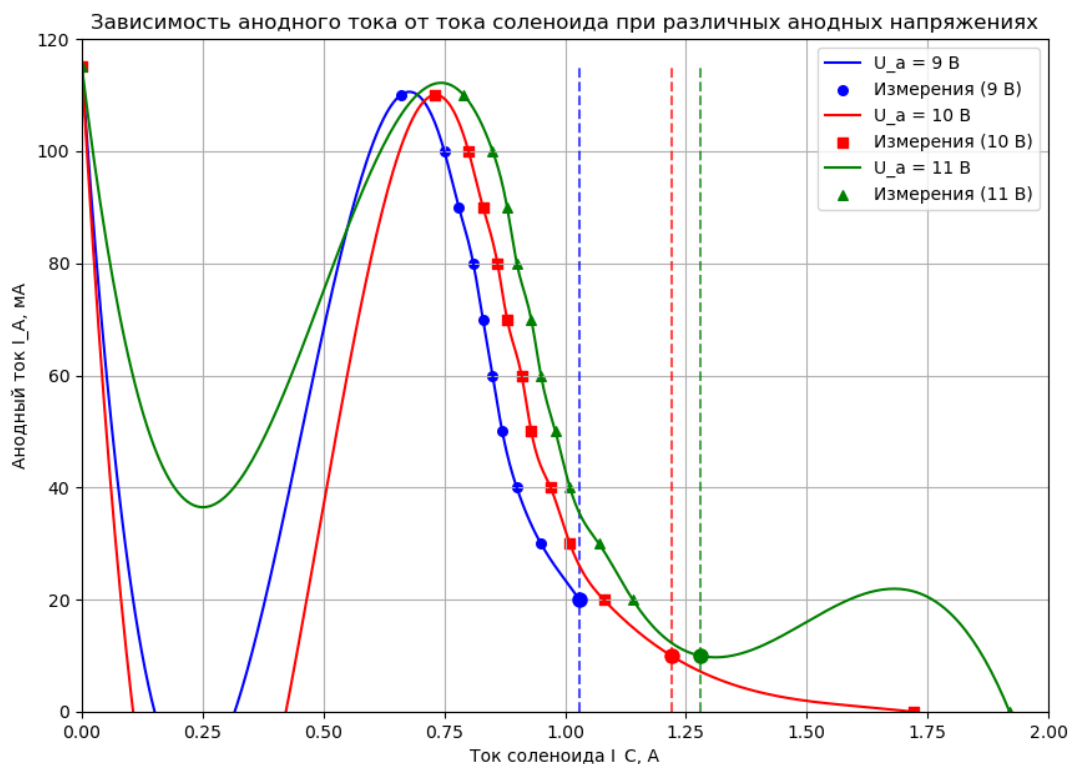
$$\text{Для } U = 9 \text{ В: } \Delta(e/m) \approx 0,12 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

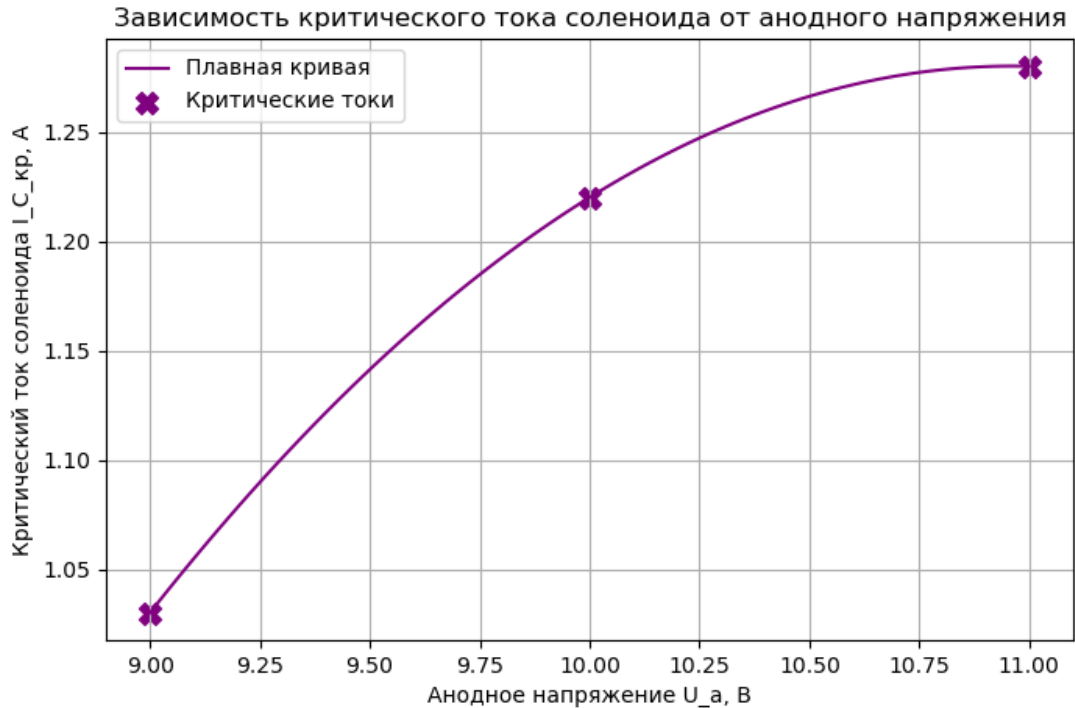
$$\text{Для } U = 10 \text{ В: } \Delta(e/m) \approx 0,11 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

$$\text{Для } U = 11 \text{ В: } \Delta(e/m) \approx 0,10 \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

Окончательный результат:

$$e/m = (1,78 \pm 0,11) \times 10^{11} \text{ Кл/кг}$$





ВЫВОД

В ходе лабораторной работы методом магнетрона было экспериментально определено значение удельного заряда электрона. Полученное значение $e/m = 1,78 \times 10^{11}$ Кл/кг близко к табличному значению ($1,76 \times 10^{11}$ Кл/кг). Расхождение составляет около 1,1 %. Работа выполнена успешно.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие силы действуют на движущуюся заряженную частицу в электрическом и магнитном полях?

В электрическом поле — сила $F_{\text{э}} = qE$.

В магнитном поле — сила Лоренца $F_{\text{л}} = q[v \times B]$.

2. Как вычисляется сила Лоренца?

$F_{\text{л}} = q[v \times B]$ (в векторной форме) или $F_{\text{л}} = q v B \sin \alpha$ (в скалярной форме).

3. Как определяется направление силы Лоренца?

По правилу левой руки: четыре пальца — по направлению скорости положительного заряда, ладонь — по направлению вектора B , большой палец — направление силы.

4. Выведите формулы для радиуса R и периода T при движении заряженной частицы по окружности.

$$R = m v / (q B)$$

$$T = 2\pi m / (q B)$$

5. Выведите формулы для радиуса R, периода T и шага спирали h при движении по спирали.

$$R = m v_{\perp} / (q B)$$

$$T = 2\pi m / (q B)$$

$$h = v_{\parallel} T = 2\pi m v_{\parallel} / (q B)$$

6. Сформулируйте теорему о циркуляции вектора B.

Циркуляция вектора B по замкнутому контуру равна μ_0 , умноженному на сумму токов, охватываемых этим контуром.

7. Выведите формулу для магнитной индукции B соленоида.

$$B = \mu_0 n I, \text{ где } n \text{ — число витков на единицу длины.}$$

8. Объясните принцип действия цилиндрического магнетрона.

В магнетроне электроны движутся в скрещённых электрическом и магнитном полях. При определённом значении магнитного поля траектории электронов искривляются и они не достигают анода.

9. Выведите формулу для определения e/m методом магнетрона.

$$e/m = 8 U / [\mu_0^2 (r_a - r_k)^2 n_0^2 I_c^2]$$

Подпись студента: _____

Подпись преподавателя: _____