



Лабораторная работа №5
Определение удельного заряда электрона

Хафизов Фанис

17 апреля 2021 г.

1 Цель работы

Определить удельный заряд электрона с помощью катушек Гельмгольца.

2 Оборудование

Узкая электронно-лучевая трубка, катушки Гельмгольца, источник напряжения 300 В, регулируемый источник напряжения 0..300 В, цифровые мультиметры (2 шт), соединительные провода.

3 Порядок действий

1. Соберем экспериментальную установку.
2. Зафиксируем значение напряжения $U = 150$ В и снимем зависимость $r(I)$ радиуса пучка электронов от силы тока в катушках.
3. Зафиксируем силу тока в катушках равную $I = 1,5$ А и снимем зависимость $r(U)$ циклотронного радиуса электронов от ускоряющего напряжения.

4 Теоретическая зависимость

$$r(I, U) = \frac{R}{\mu_0 n} \sqrt{\frac{125}{32\gamma}} \frac{\sqrt{U}}{I} \quad (1)$$

Следовательно, зависимости $r(1/I)$ и $r(\sqrt{U})$ линейны.

5 Таблицы данных и графики

r , см	I , А	$1/I$, 1/А
2,0	3,37	0,297
2,5	2,67	0,375
3,0	2,2	0,455
3,5	1,89	0,529
4,0	1,62	0,617
4,5	1,43	0,699
5,0	1,27	0,787

Таблица 1: Зависимости $r(I)$ и $r(1/I)$

r , см	U , В	\sqrt{U} , \sqrt{B}
2,0	49	7,0
2,5	54	7,3
3,0	63	7,9
3,5	90	9,5
4,0	129	11,4
4,5	169	13,0
5,0	218	14,8

Таблица 2: Зависимости $r(U)$ и $r(\sqrt{U})$

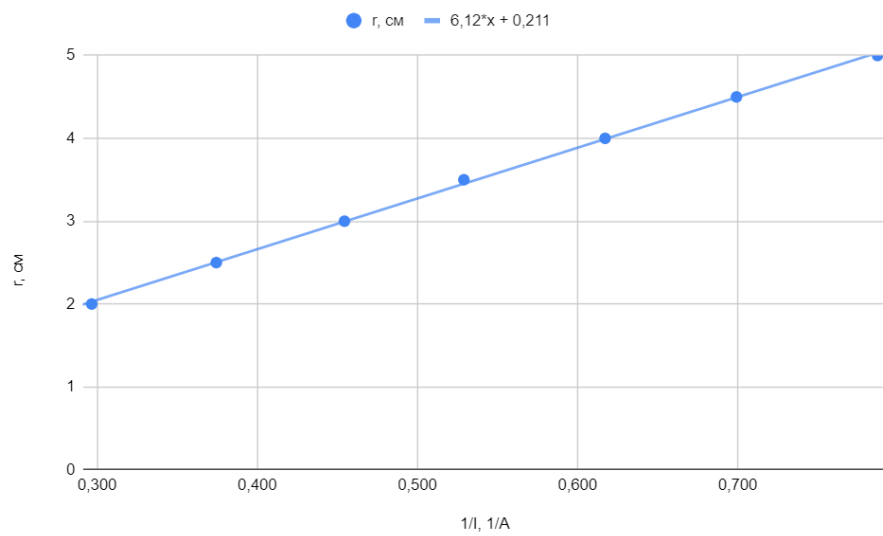


Рис. 1: График зависимости $r(1/I)$

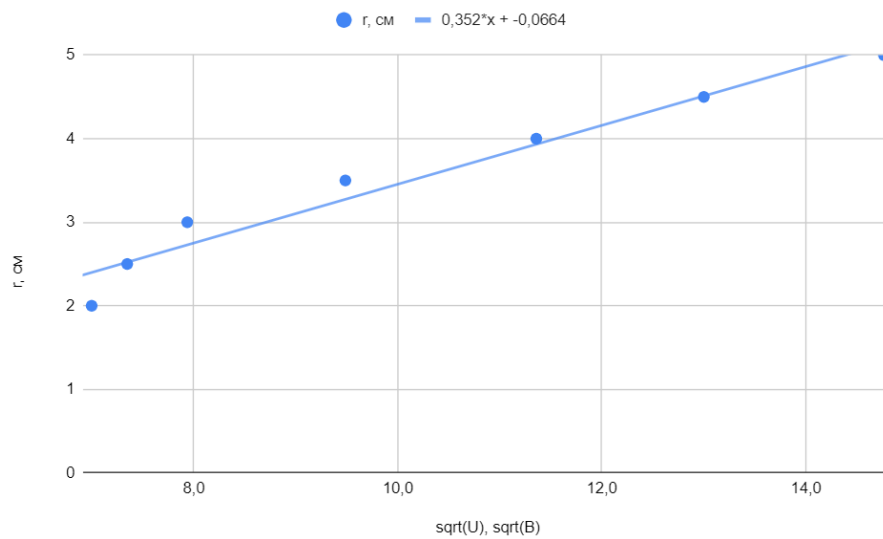


Рис. 2: График зависимости $r(\sqrt{U})$

Как можно заметить, в графике зависимости $r(\sqrt{U})$ первые две точки выбиваются из всей серии, что можно объяснить нестабильностью пучка электронов при малых значениях ускоряющего напряжения. Построим этот график без этих двух точек.

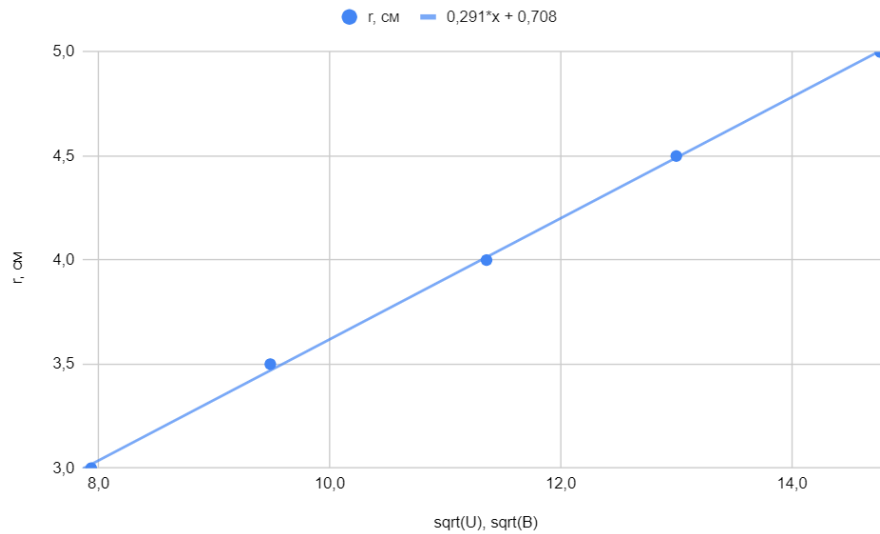


Рис. 3: График зависимости $r(\sqrt{U})$ без 2 точек

6 Расчеты

Из коэффициента наклона графика $r(1/I)$:

$$\alpha = 6,12 \text{ см} \cdot \text{А} = 6,12 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot \text{А}$$

Из формулы (1):

$$\alpha = \frac{R}{\mu_0 n} \sqrt{\frac{125}{32\gamma_1}} \sqrt{U}$$

$$\gamma_1 = \frac{125}{32} \left(\frac{R}{\alpha \mu_0 n} \right)^2 U = \frac{125}{32} \left(\frac{0,2}{6,12 \cdot 10^{-2} \cdot 1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 154} \right)^2 \cdot 150 =$$

$$= 1,66 \cdot 10^{-11} \text{ Кл/кг}$$

Коэффициент наклона графика $r(\sqrt{U})$:

$$\beta = 0,291 \text{ см}/\sqrt{B} = 0,291 \cdot 10^{-2} \text{ м}/\sqrt{B}$$

Из формулы (1):

$$\beta = \frac{R}{\mu_0 n I} \sqrt{\frac{125}{32 \gamma_2}}$$

$$\gamma_2 = \left(\frac{R}{\mu_0 n I \beta} \right)^2 \cdot \frac{125}{32} = \left(\frac{0,2}{1,26 \cdot 10^{-6} \cdot 154 \cdot 1,5 \cdot 0,291 \cdot 10^{-2}} \right)^2 \cdot \frac{125}{32} =$$

$$= 2,17 \cdot 10^{-11} \text{ Кл/кг}$$

Оценка погрешностей:

$$\Delta \gamma_1 = \varepsilon_{\gamma_1} \cdot \gamma_1 = (2\varepsilon_r + 2\varepsilon_I + \varepsilon_U) \cdot \gamma_1 = \left(2\frac{\Delta r}{r} + 2\frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U} \right) \cdot \gamma_1 =$$

$$\left(2\frac{0,25}{2,0} + 2\frac{0,01}{1,27} + \frac{0,5}{150} \right) \cdot 1,66 \cdot 10^{-11} = 0,45 \cdot 10^{-11} \text{ Кл/кг}$$

$$\Delta \gamma_2 = \varepsilon_{\gamma_2} \cdot \gamma_2 = (2\varepsilon_r + 2\varepsilon_I + \varepsilon_U) \cdot \gamma_2 = \left(2\frac{\Delta r}{r} + 2\frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta U}{U} \right) \cdot \gamma_2 =$$

$$\left(2\frac{0,25}{2,0} + 2\frac{0,01}{1,5} + \frac{0,5}{63} \right) \cdot 2,17 \cdot 10^{-11} = 0,59 \cdot 10^{-11} \text{ Кл/кг}$$

7 Результаты

Табличное значение удельного заряда электрона:

$$\gamma = 1,76 \cdot 10^{-11} \text{ Кл/кг}$$

Значения удельного заряда электрона, полученные в ходе эксперимента:

$$\gamma_1 = (1,66 \pm 0,45) \cdot 10^{-11} \text{ Кл/кг}$$

$$\gamma_2 = (2,17 \pm 0,59) \cdot 10^{-11} \text{ Кл/кг}$$

$$\varepsilon_{\gamma_1} = 28\%$$

$$\varepsilon_{\gamma_2} = 28\%$$

Первый метод дал более точное значение удельного заряда электрона, однако, с учетом погрешности табличное значение попадает в ворота обоих методов.

Оцененные погрешности совпали, но в первом опыте мы получили более близкое к истинному значение, так как было зафиксировано ускоряющее напряжение, и изменялась лишь индукция магнитного поля. Во втором же случае менялось ускоряющее напряжение, что могло негативно сказаться на стабильности пучка электронов.

8 Выводы

В ходе проведения эксперимента нам удалось измерить удельный заряд электрона с достаточно высокой точностью. В обоих опытах относительная погрешность равна 28%. Она настолько большая из-за неточного метода измерения радиуса траектории (было предложено делить отрезок известной длины пополам на глаз), что сказалось на точности самого ответа. Чтобы уменьшить погрешность можно закрепить более точный измерительный прибор внутри трубки, например, линейку.