

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ

КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.3.1

---

# Измерение удельного заряда электрона методами магнитной фокусировки и магнетрона

---

*Автор:*

Ришат ИСХАКОВ

*Преподаватель:*

Александр Александрович  
КАЗИМИРОВ



23 сентября 2016 г.

# 1 Цель работы

Определение отношения заряда электрона к его массе двумя методами.

## Метод магнитной фокусировки

В работе используются: *электронно-лучевая трубка и блок питания к ней; источник постоянного тока; соленоид; электростатический вольтметр; милливольтметр; ключи.*

Если поместить электронно-лучевую трубку вынутую из осциллографа в длинный соленоид, который будет создавать магнитное поле, направленное вдоль оси трубки, то электроны, вылетающие из катода, ускоряемые анодным напряжением  $V_{\text{уск}}$ , пройдя сквозь две узкие диафрагмы, окажутся с примерно с одинаковыми продольными скоростями. Небольшое напряжение на отклоняющие пластины будет изменять только поперечную составляющую скорости, потому что продольная составляющая параллельна вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ . Затем постепенно увеличиваем магнитное поле, вследствие чего увеличится сила Лоренца, действующая на электрон и линия будет постепенно стягиваться в точку. Это будет соответствовать положению фокуса. Увеличивая магнитное поле дальше заметим, что электрон будет описывать несколько витков. Используем это для определения удельного заряда электрона.

## Метод Магнетрона

В работе используются: *электронная лампа с цилиндрическим анодом; соленоид; источники питания лампы и соленоида; вольтметр постоянного тока; миллиамперметр.*

В данном эксперименте используется конфигурация магнитного и электрического полей. В соленоид помещается двухэлектродная лампа с цилиндрическим анодом. В качестве катода используется тонкая вольфрамовая проволока. Нить разогревается переменным током от источника питания. На вылетающие электроны действует сила, возникающая в электрическом поле и сила Лоренца. Увеличение магнитного поля приводит к отклонению траектории электрона от прямой. После преодолевания критического значения магнитной индукции электрон перестает долетать до анода и, соответственно, падает анодный ток.

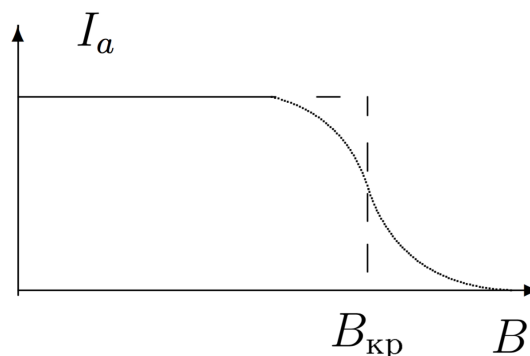


Рис. 1: Ожидаемая зависимость тока от величины магнитной индукции

## 2 Работа и измерения

### Метод магнитной фокусировки

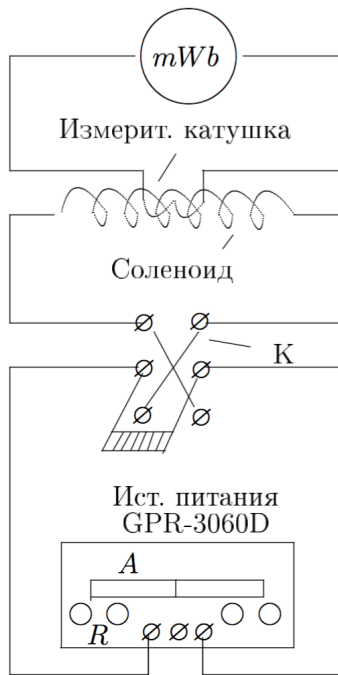
Параметры установки:

$$SN = 3000 \text{ см}^2$$

$$l = 26,5 \text{ см}$$

Магнитную индукцию будем рассчитывать по формуле:

$$B = \frac{\Phi}{SN}$$



$\Phi_1, mWb$	$\Phi_2, mWb$	$\Phi_2 - \Phi_1, mWb$	$I, A$	$B, мТ$
1.0	5.8	4.8	3.53	16.0
0.7	5.6	4.9	3.65	16.3
1.5	5.5	4.0	2.98	13.3
2.1	5.4	3.3	2.51	11.0
2.7	5.3	2.6	1.90	8.7
2.9	5.2	2.3	1.66	7.7
3.3	5.1	1.8	1.31	6.0
3.6	5.0	1.4	1.02	4.7
4.0	4.9	0.9	0.82	3.0
4.6	4.8	0.2	0.18	0.7

Таблица 1: Полученные значения

Рис. 2: Схема установки для измерений  $e/t$  методом магнитной фокусировки

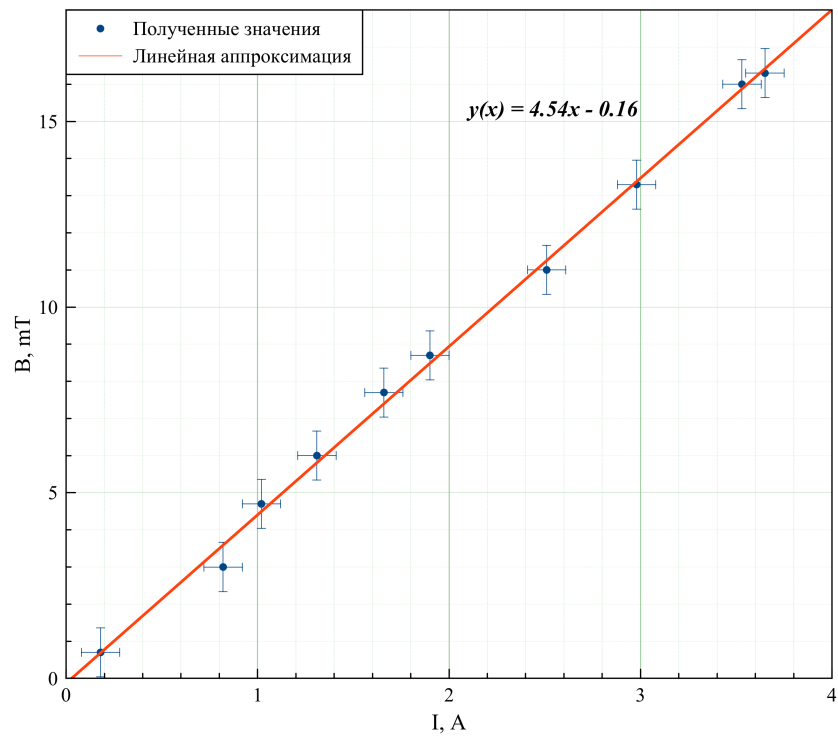


Рис. 3: Зависимость  $B = f(I)$  в прямом направлении

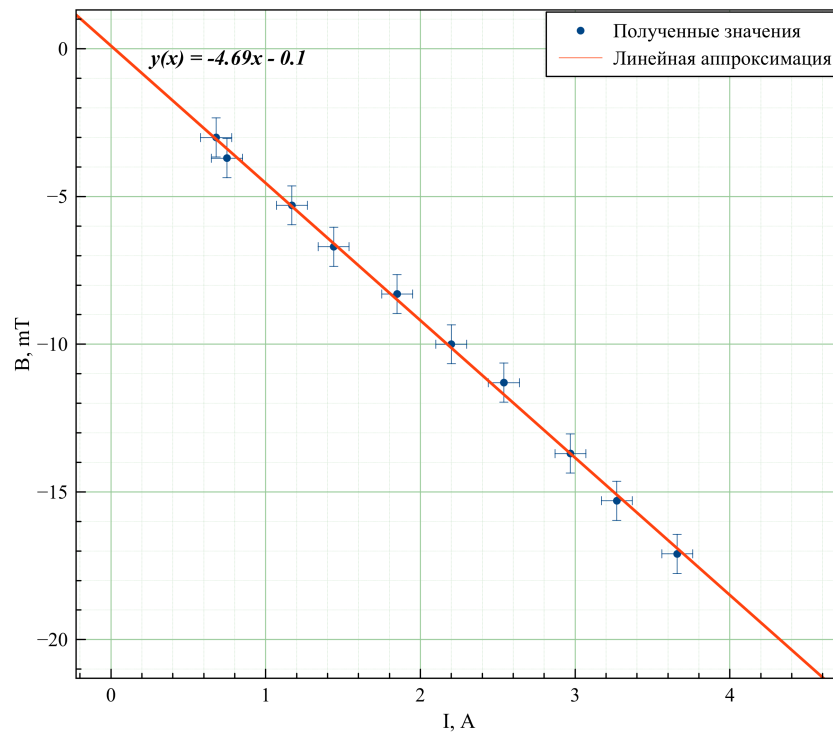


Рис. 4: Зависимость  $B = f(I)$  в обратном направлении

По полученным уравнениям можно найти уравнение, которое потом используем для нахождения магнитной индукции от произвольного значения тока в цепи:

$$B(I) = \frac{4.54 + |-4.69|}{2}I - \frac{0.16 + 0.1}{2} = 4.61I - 0.13$$

$V_{\text{уск}}, \text{кВ}$	Направление	$I_{\Phi}, \text{А}$	$n$	$B, \text{мТ}$	$\Delta B, \text{мТ}$	$e/m, 10^{11} \text{ Кл/кг}$
0.94	1	0.59	1	2.59	0.16	1.58
		1.18	2	5.31	0.20	1.56
		1.67	3	7.57	0.25	1.55
		2.40	4	10.93	0.29	1.41
		3.02	5	13.79	0.33	1.39
	2	0.61	1	2.68	0.05	1.47
		1.20	2	5.40	0.09	1.45
		1.81	3	8.21	0.12	1.41
		2.37	4	10.80	0.16	1.45
		2.96	5	13.52	0.19	1.45
0.8	1	0.55	1	2.41	0.05	1.55
		1.09	2	4.89	0.08	1.50
		1.67	3	7.57	0.11	1.41
		2.21	4	10.06	0.15	1.42
		2.70	5	12.32	0.18	1.48
	2	0.54	1	2.36	0.16	1.62
		1.10	2	4.94	0.20	1.47
		1.70	3	7.71	0.24	1.36
		2.27	4	10.33	0.28	1.35
		2.79	5	12.73	0.32	1.39
		3.39	6	15.50	0.36	1.35

Таблица 2: Данные измерения зависимости номера фокуса от тока

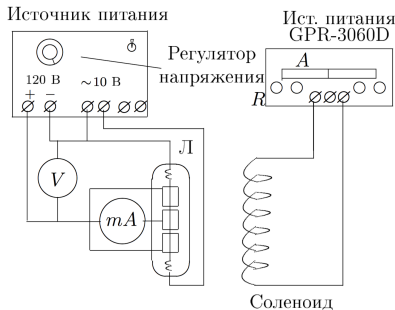
Используя формулу найдем значение удельного заряда:

$$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 V n^2}{l^2 B_{\Phi}^2}$$

Полученное значение удельного заряда:  $\frac{e}{m} = (1.55 \pm 0.4) \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$

### 3 Метод магнетрона

Параметры установки:



$$k = 0.035 \text{ Т/А}$$

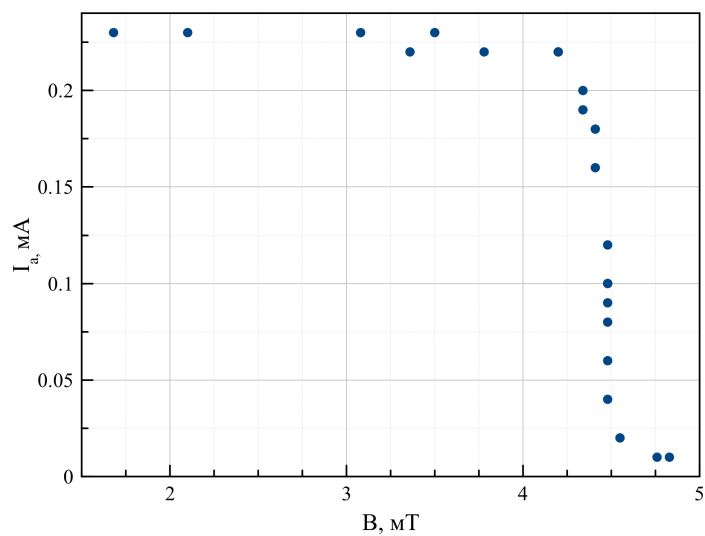
$$r_a = 12 \text{ мм}$$

Для разных потенциалов  $V$  на анодной лампе снимем зависимость анодного тока  $I_a$  от тока  $I_m$  через соленоид. По коэффициенту установки найдем значение магнитной индукции в зависимости от тока через соленоид:  $B = kI_m$

Рис. 5: Схема установки

Таблица 3:  $V = 70$  В

$I_a, \text{мА}$	0.23	0.23	0.23	0.23	0.22	0.22	0.19	0.10	0.02	0.01	0.08	0.22	0.22	0.20	0.16	0.12	0.10	0.18	0.01	0.09	0.06	0.04
$I_m, \text{А}$	0.10	0.06	0.05	0.09	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.13	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
$B, \text{мТ}$	3.5	2.1	1.68	3.08	4.2	4.2	4.34	4.48	4.55	4.76	4.48	3.36	3.78	4.34	4.41	4.48	4.48	4.41	4.83	4.48	4.48	4.48

Рис. 6: Зависимость  $B = f(I_a)$  для  $V = 70$  ВТаблица 4:  $V = 80$  В

$I_a, \text{мА}$	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.07	0.22	0.20	0.14	0.06	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.12
$I_m, \text{А}$	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
$B, \text{мТ}$	0.0	0.7	1.4	2.1	2.8	3.5	4.2	4.69	4.62	4.62	4.62	4.69	4.76	4.76	4.83	4.9	5.04	4.62

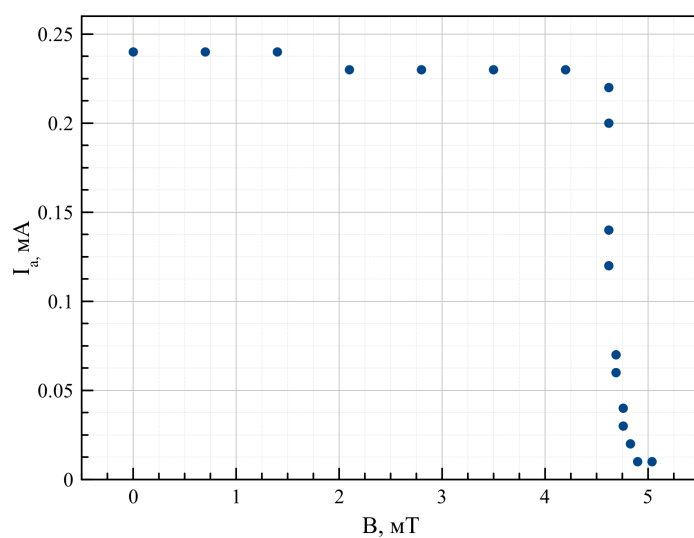
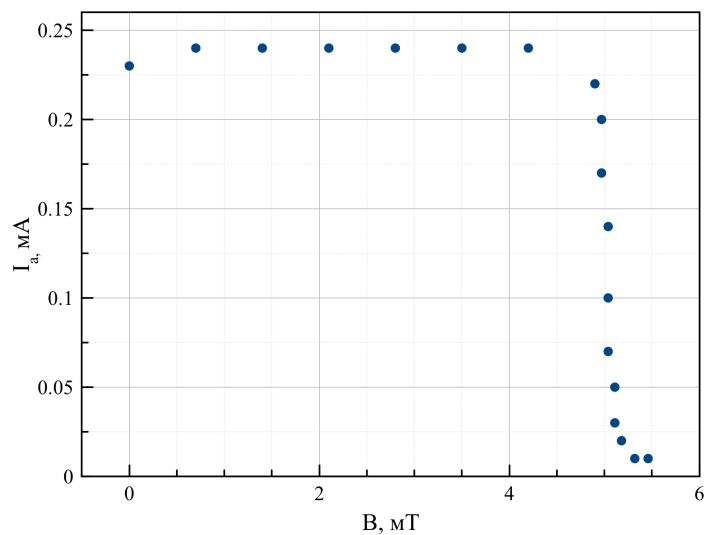
Рис. 7: Зависимость  $B = f(I_a)$  для  $V = 80$  В

Таблица 5:  $V = 90$  В

$I_a$ , мА	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,22	0,20	0,17	0,14	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01
$I_m$ , А	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16
$B$ , мТ	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	4,97	4,97	5,04	5,04	5,04	5,11	5,11	5,18	5,32	5,46

Рис. 8: Зависимость  $B = f(I_a)$  для  $V = 90$  ВТаблица 6:  $V = 100$  В

$I_a$ , мА	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,22	0,20	0,16	0,14	0,10	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01
$I_m$ , А	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16
$B$ , мТ	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,18	5,25	5,25	5,25	5,32	5,32	5,32	5,46	5,6	5,74

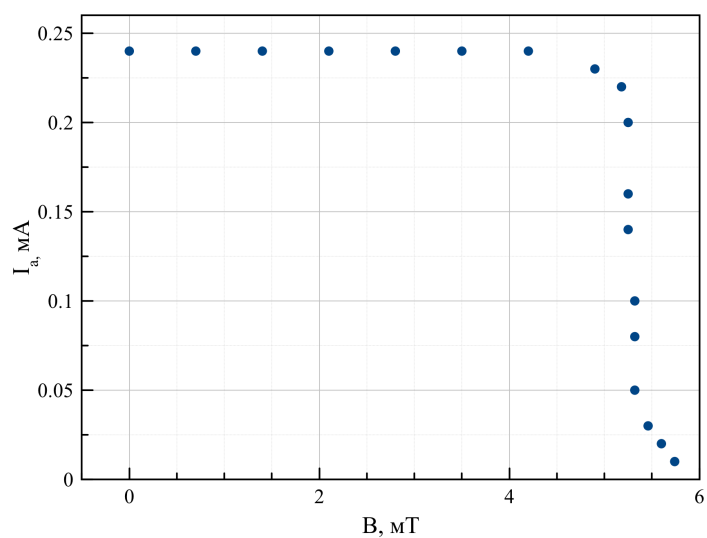
Рис. 9: Зависимость  $B = f(I_a)$  для  $V = 100$  В

Таблица 7:  $V = 110$  В

$I_a$ , мА	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,19	0,16	0,13	0,05	0,11	0,07	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
$I_m$ , А	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
$B$ , мТ	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,32	5,46	5,53	5,53	5,6	5,6	5,6	5,67	5,74	5,88	6,02	6,16

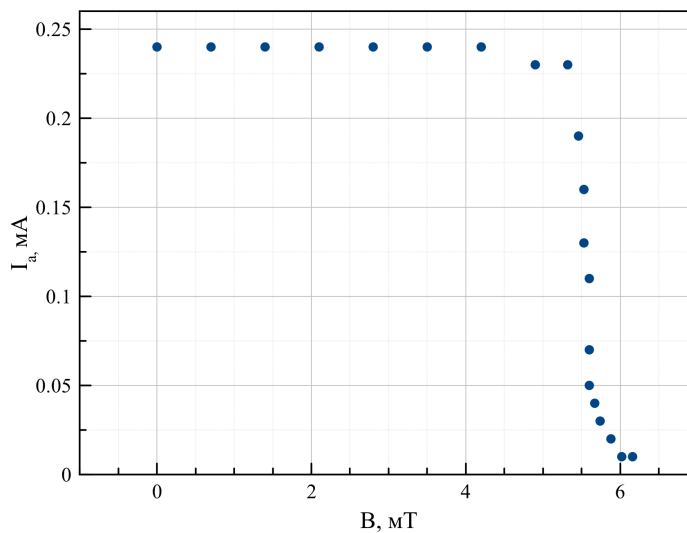


Рис. 10: Зависимость  $B = f(I_a)$  для  $V = 110$  В

Таблица 8:  $V = 120$  В

$I_a$ , мА	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,23	0,21	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01
$I_m$ , А	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18
$B$ , мТ	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	5,74	5,81	5,81	5,88	5,88	5,88	5,88	5,95	6,02	6,16	6,3	6,44

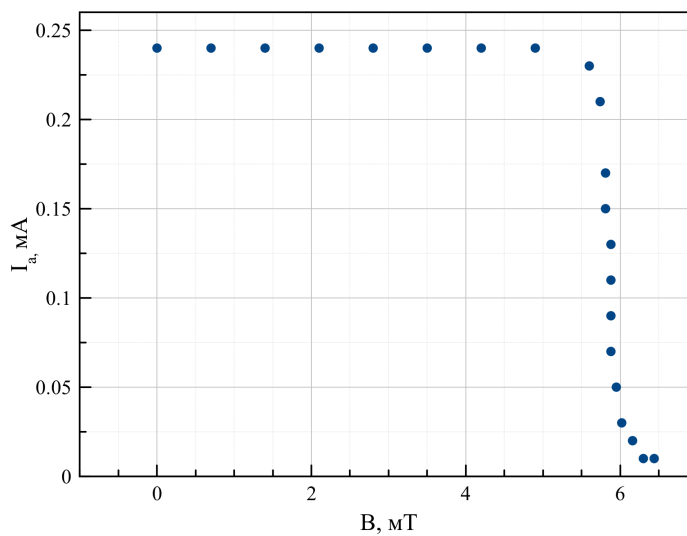


Рис. 11: Зависимость  $B = f(I_a)$  для  $V = 120$  В

По графикам определим значение  $B_{кр}$  и построим таблицу:



$B_{кр}, \text{ мТ}$	$V, \text{ В}$	$B_{кр}^2, (\text{мТ})^2$	$\Delta B_{кр}^2, (\text{мТ})^2$
4,5	70	20,07	0,90
4,7	80	21,62	0,93
5,1	90	25,50	1,01
5,3	100	28,09	1,06
5,6	110	30,80	1,11
5,9	120	34,81	1,18

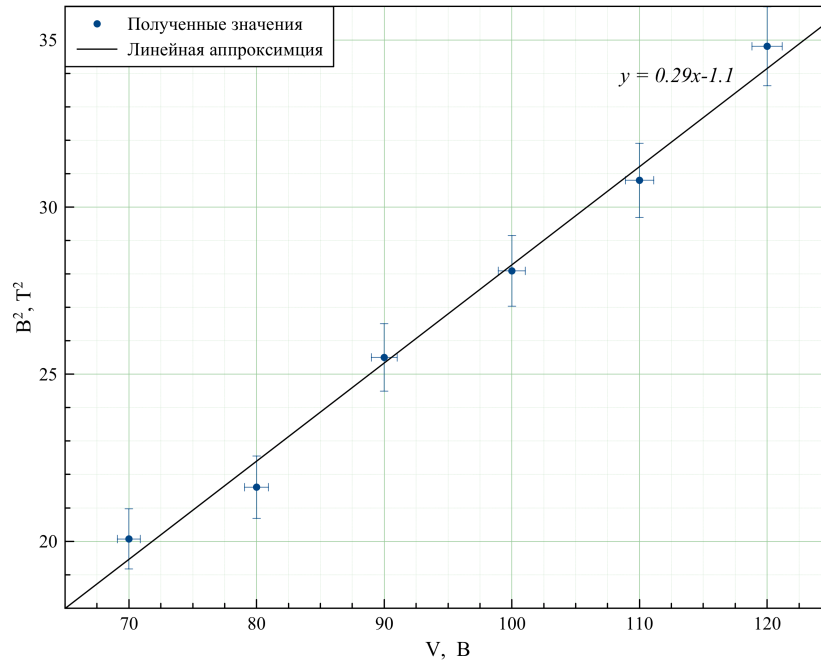


Рис. 12: Зависимость  $B_{кр}^2$  от  $V$

Тогда по формуле найдем удельный заряд электрона в данном методе

$$\frac{e}{m} = \frac{8V}{B_{кр} r_a^2} = (1.87 \pm 0.17) \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$$

## 4 Вывод

Полученное двумя способами значение удельного заряда электрона с учетом погрешности соответствует действительности.

В первом эксперименте основную погрешность измерения составляет ошибка, связанная с калибровкой электромагнита: имеется внешнее магнитное поле, которое нельзя считать постоянным и поэтому невозможно полностью избавиться от него в конечном результате с помощью полусуммы. Еще больший вклад в ошибку добавляет невозможность полностью определить момент, при котором линия полностью стягивается в точку. При значениях порядкового номера фокуса  $\geq 3$  становится сложно определить точный момент.

Во втором эксперименте погрешность измерения меньше, так как исключается влияние внешних факторов. Основная погрешность обусловлена достаточно старыми приборами, в которых перемещение стрелки при маленьких изменениях ограничивается силой трения.