

Работа 3.3.1

Определение удельного заряда электрона

Валеев Рауф Раушанович
группа 825

8 октября 2019 г.

А. Метод магнитной фокусировки.

Цель работы

Определение значения магнитных полей, при которых происходит фокусировка электронного пучка, и по результатам измерений считать удельный заряд электрона e/m .

В работе используются.

Электронно-лучевая трубка и блок питания к ней; источник постоянного тока; соленоид; электростатический вольтметр; милливеберметр; ключи.

Теоретическая справка.

Здесь удельный заряд электрона определяется по формуле

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8\pi^2 V}{l^2} \left(\frac{n^2}{B_\Phi^2} \right), \quad (1)$$

где V - ускоряющий потенциал в электронной трубке, l - путь электрона, B_Φ - фокусирующее поле, n - номер фокуса.

Описание установки.

Основной частью установки является электронный осциллограф, трубка которого вынута и установлена в длинном соленоиде, создающим магнитное поле. Напряжение на отклоняющие пластины и питание подводятся к трубке многожильным кабелем.

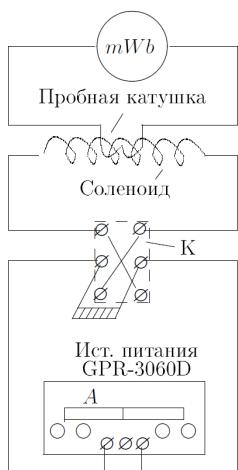
Пучок электронов, вылетающих из катода с разными скоростями, ускоряется анодным напряжением. Пропустив пучок сквозь две узкие диафрагмы, можно выделить электроны с практически одинаковой продольной скоростью. Небольшое переменное напряжение, поступающее с клеммы "Контрольный сигнал" осциллографа на отклоняющие пластины, изменяет только поперечную составляющую скорости. При увеличении магнитного поля линия на экране стягивается в точку, а затем снова удлиняется.

Магнитное поле создается постоянным током, величина которого регулируется ручками источника питания и измеряется амперметром. Ключ служит для изменения направления поля в соленоиде.

Величина магнитного поля определяется с помощью милливеберметра.

На точность результатов может влиять внешнее магнитное поле, особенно продольное.

Рис. 1: Схема установки.



Измерения магнитного поля с помощью милливеберметра обычно проводятся в предварительных опытах: при отключении ключа устанавливается связь между силой тока и индукцией магнитного поля в соленоиде.

Ход работы.

Занесем в таблицу некоторые данные установки.

Величина	Значение	σ
V , кВ	0,88	0,01
l , м	0,265	0,001
SN , м ²	0,3	0,1

Таблица 1. Некоторые параметры установки.

Для начала стоит определить связь между индукцией B магнитного поля в соленоиде и током I через обмотки магнита. Для этого снимем зависимость магнитного потока $\Phi = BSN$.

I , А	σ_I , А	Φ , мВб	σ_Φ , мВб
0,26	0,01	0,35	0,01
0,41	0,01	0,50	0,01
0,79	0,01	1,05	0,01
1,01	0,01	1,35	0,01
1,49	0,01	1,95	0,01
2,28	0,01	3,00	0,01
2,54	0,01	3,30	0,01
3,06	0,01	3,90	0,01
3,64	0,01	4,50	0,01

Таблица 2. Зависимость $\Phi(I)$ в прямом направлении.

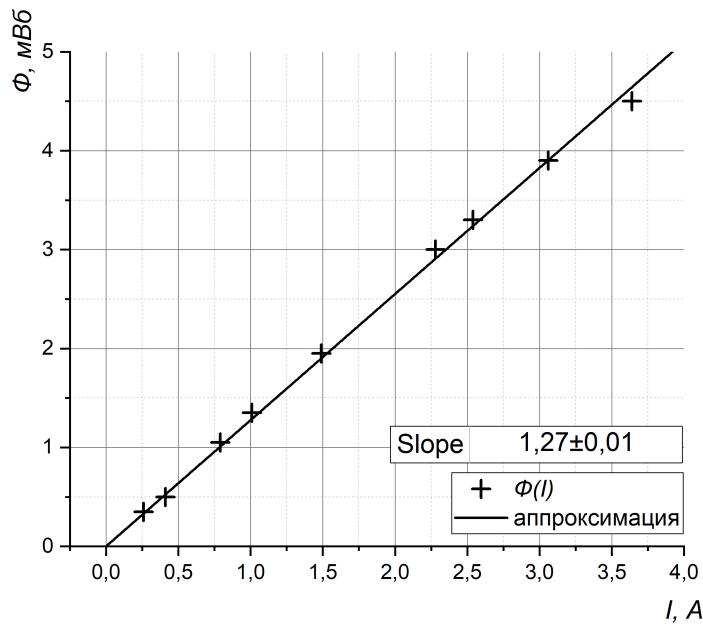


График 1. $\Phi(I)$ в прямом направлении.

I , A	σ_I , A	Φ , мВб	σ_Φ , мВб
0,26	0,01	4,66	0,01
0,41	0,01	4,47	0,01
0,79	0,01	3,98	0,01
1,01	0,01	3,69	0,01
1,49	0,01	3,07	0,01
2,28	0,01	2,05	0,01
2,54	0,01	1,71	0,01
3,06	0,01	1,03	0,01
3,64	0,01	0,28	0,01

Таблица 3. Зависимость $\Phi(I)$ в обратном направлении.

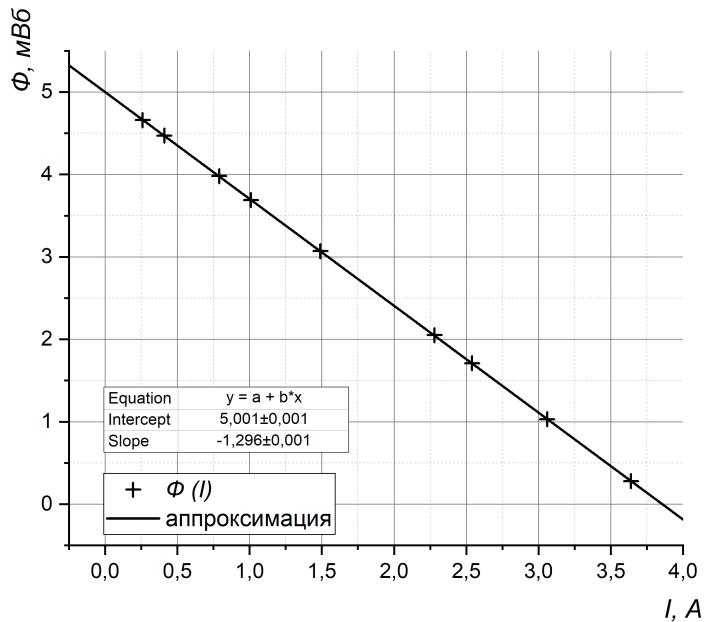


График 2. $\Phi(I)$ в обратном направлении.

Теперь будем увеличивать постепенно ток и найдем ток при каждом фокусе, так как мы знаем зависимость $\Phi = \Phi(I)$ для каждого направления, то мы можем определить зависимость $B_\Phi = f(n)$.

В прямом направлении					В обратном направлении				
n	I_Φ , A	σ_{I_Φ} , A	B_Φ , мТл	σ_{B_Φ} , мТл	n	I_Φ , A	σ_{I_Φ} , A	B_Φ , мТл	σ_{B_Φ} , мТл
1	0,53	0,01	2,24	0,02	1	0,58	0,01	14,2	0,1
2	1,12	0,01	4,74	0,05	2	1,15	0,01	11,7	0,1
3	1,7	0,01	7,2	0,1	3	1,78	0,01	8,9	0,1
4	2,34	0,01	9,9	0,1	4	2,36	0,01	6,5	0,1
5	2,89	0,01	12,2	0,1	5	2,86	0,01	4,31	0,04

Таблица 4. Зависимость $B_\Phi = f(I)$.

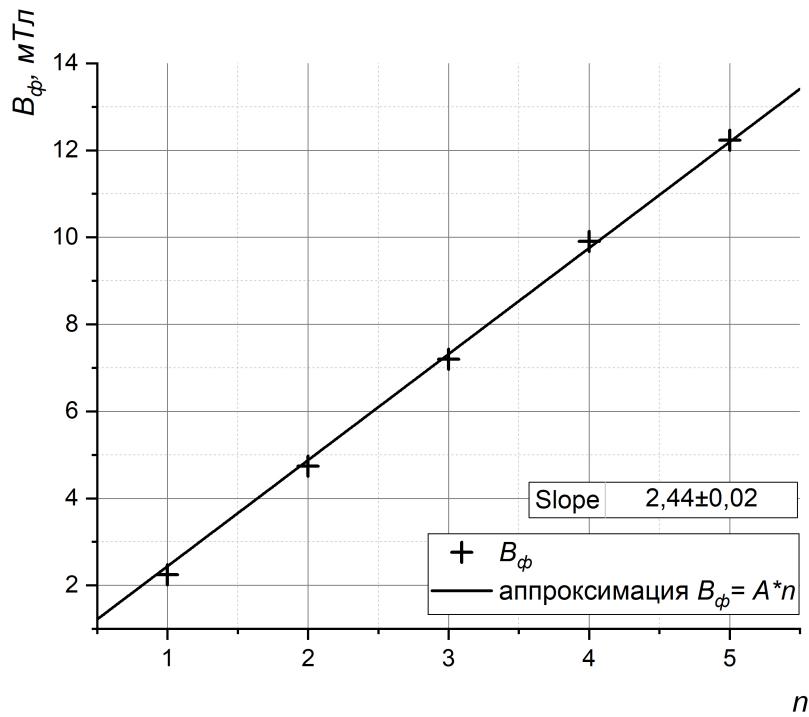


График 3. $B_\Phi = f(I)$ в прямом направлении.

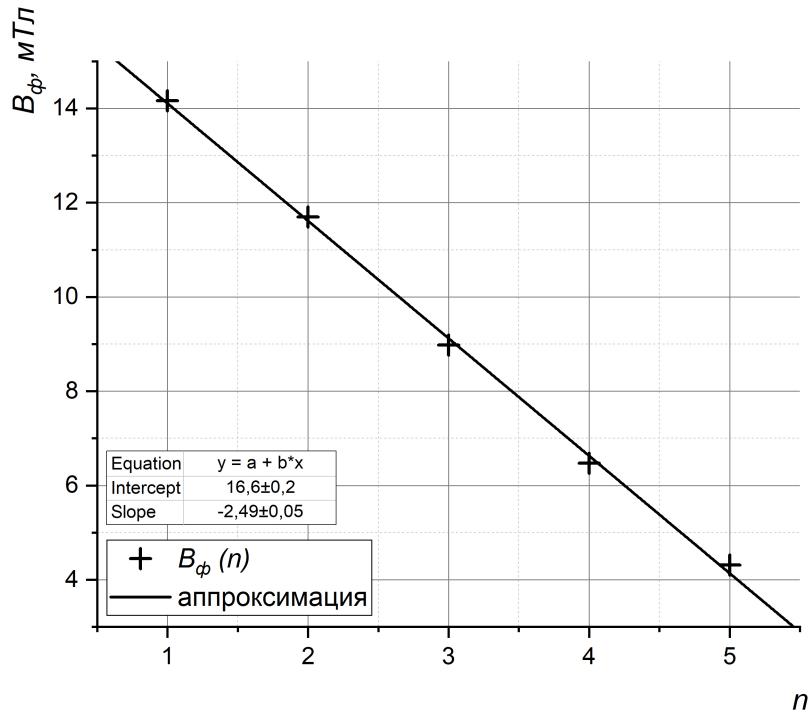


График 4. $B_\Phi = f(I)$ в обратном направлении.

В итоге, подставив в формулу (1) мы получаем, что

$$\frac{e}{m} = (1,6 \pm 0,2) \cdot 10^{11} \text{Кл/кг}$$

Это значение очень близко к реальному $e/m = 1,76 \cdot 10^{11} \text{Кл/кг}$

B. Метод магнетрона.

Цель работы

Исследование зависимости анодного тока от тока, протекающего через соленоид при различных напряжениях на аноде лампы и по результатам измерений рассчитать удельный заряд электрона e/m .

В работе используются.

Электронная лампа с цилиндрическим анодом; соленоид; источники питания лампы и соленоида; вольтметр постоянного тока; миллиамперметр, амперметр.

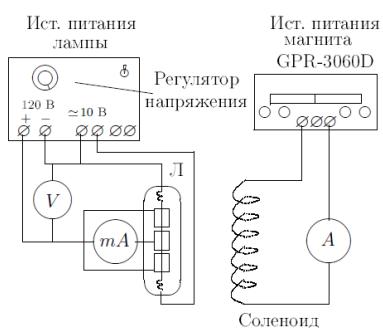
Теоретическая справка.

Здесь удельный заряд электрона определяется по формуле

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8V_a}{B_{kp}^2 r_a^2}, \quad (2)$$

где V_a - анодное напряжение, B_{kp} - критическое поле, r_a - радиус анода.

Описание установки.



Два крайних цилиндра изолированы от среднего небольшими зазорами и используются для устранения краевых эффектов на торцах среднего цилиндра, ток с которого используется при измерениях. В качестве катода используется тонкая вольфрамовая проволока. Катод разогревается переменным током, отбиаемым от стабилизированного источника питания.

С этого же источника на анод лампы подается напряжение, регулируемое с помощью потенциометра и измеряемое вольтметром.

Индукция магнитного поля в соленоиде рассчитывается по току I_m , протекающему через обмотку соленоида. Коэффициент пропорциональности между ними указан в установке.

Рис. 2: Схема установки.

Лампа закреплена в соленоиде. Магнитное поле в соленоиде создается постоянным током, сила которого регулируется ручками источника питания и измеряется амперметром.

Ход работы.

Запишем некоторые параметры установки в таблицу

Величина	Значение	σ
K , Тл/А	$2,8 \cdot 10^{-2}$	10^{-4}
r_a , мм	12	0,1

Таблица 5. Параметры установки.

Снимем зависимость анодного тока от тока через соленоид для различных значений V_a .

I_m , мА	σ_{I_m} , мА	B , мТл	σ_B , мТл	I_a , мкА	σ_{I_a} , мкА
0	4	0,0	0,1	266	2
20	4	0,6	0,1	270	2
32	4	0,9	0,1	266	2
36	4	1,0	0,1	266	2
44	4	1,2	0,1	266	2
60	4	1,7	0,1	266	2
76	4	2,1	0,1	262	2
88	4	2,5	0,1	256	2
96	4	2,7	0,1	252	2
100	4	2,8	0,1	242	2
108	4	3,0	0,1	236	2
116	4	3,2	0,1	232	2
124	4	3,5	0,1	230	2
132	4	3,7	0,1	232	2
136	4	3,8	0,1	222	2
144	4	4,0	0,1	206	2
148	4	4,1	0,1	200	2
156	4	4,4	0,1	186	2
160	4	4,5	0,1	180	2
168	4	4,7	0,1	164	2
176	4	4,9	0,1	140	2
182	4	5,1	0,1	104	2
184	4	5,2	0,1	88	2
188	4	5,3	0,1	56	2
190	4	5,3	0,1	40	2
194	4	5,4	0,1	28	2
202	4	5,7	0,1	18	2
208	4	5,8	0,1	12	2
216	4	6,0	0,1	10	2
224	4	6,3	0,1	6	2
236	4	6,6	0,1	4	2
244	4	6,8	0,1	3	2
256	4	7,2	0,1	2	2
284	4	8,0	0,1	0	2

Таблица 6. Зависимость $I_a(B)$ для $V_a = (70 \pm 1)$ В.

I_m , мА	σ_{I_m} , мА	B , мТл	σ_B , мТл	I_a , мкА	σ_{I_a} , мкА
0	4	0,0	0,1	254	2
8	4	0,2	0,1	258	2
36	4	1,0	0,1	254	2
48	4	1,3	0,1	254	2
60	4	1,7	0,1	254	2
76	4	2,1	0,1	254	2
84	4	2,4	0,1	252	2
92	4	2,6	0,1	250	2
104	4	2,9	0,1	238	2
108	4	3,0	0,1	226	2
116	4	3,2	0,1	220	2
120	4	3,4	0,1	216	2
128	4	3,6	0,1	214	2
134	4	3,8	0,1	220	2
140	4	3,9	0,1	220	2
152	4	4,3	0,1	202	2
158	4	4,4	0,1	200	2
162	4	4,5	0,1	192	2
170	4	4,8	0,1	184	2
180	4	5,0	0,1	168	2
192	4	5,4	0,1	120	2
196	4	5,5	0,1	90	2
204	4	5,7	0,1	50	2
208	4	5,8	0,1	32	2
212	4	5,9	0,1	24	2
216	4	6,0	0,1	20	2
224	4	6,3	0,1	14	2
232	4	6,5	0,1	10	2
242	4	6,8	0,1	6	2
256	4	7,2	0,1	4	2
268	4	7,5	0,1	3	2
284	4	8,0	0,1	2	2
300	4	8,4	0,1	0	2

Таблица 7. Зависимость $I_a(B)$ для $V_a = (80 \pm 1)$ В.

I_m , мА	σ_{I_m} , мА	B , мТл	σ_B , мТл	I_a , мкА	σ_{I_a} , мкА
0	4	0,0	0,1	262	2
16	4	0,4	0,1	260	2
44	4	1,2	0,1	258	2
52	4	1,5	0,1	260	2
68	4	1,9	0,1	260	2
84	4	2,4	0,1	260	2
104	4	2,9	0,1	256	2
112	4	3,1	0,1	240	2
116	4	3,2	0,1	234	2
120	4	3,4	0,1	226	2
128	4	3,6	0,1	226	2
140	4	3,9	0,1	218	2
144	4	4,0	0,1	208	2
152	4	4,3	0,1	230	2
164	4	4,6	0,1	220	2
174	4	4,9	0,1	198	2
180	4	5,0	0,1	190	2
186	4	5,2	0,1	184	2
190	4	5,3	0,1	180	2
196	4	5,5	0,1	166	2
200	4	5,6	0,1	158	2
204	4	5,7	0,1	142	2
208	4	5,8	0,1	108	2
212	4	5,9	0,1	84	2
216	4	6,0	0,1	54	2
222	4	6,2	0,1	34	2
228	4	6,4	0,1	24	2
234	4	6,6	0,1	18	2
240	4	6,7	0,1	12	2
248	4	6,9	0,1	10	2
264	4	7,4	0,1	6	2
278	4	7,8	0,1	4	2
288	4	8,1	0,1	2	2
300	4	8,4	0,1	1	2
312	4	8,7	0,1	0	2

Таблица 8. Зависимость $I_a(B)$ для $V_a = (90 \pm 1)$ В.

I_m , мА	σ_{I_m} , мА	B , мТл	σ_B , мТл	I_a , мкА	σ_{I_a} , мкА
0	4	0,0	0,1	264	2
14	4	0,4	0,1	266	2
40	4	1,1	0,1	264	2
64	4	1,8	0,1	266	2
72	4	2,0	0,1	268	2
80	4	2,2	0,1	268	2
96	4	2,7	0,1	264	2
108	4	3,0	0,1	264	2
120	4	3,4	0,1	250	2
130	4	3,6	0,1	238	2
144	4	4,0	0,1	232	2
156	4	4,4	0,1	248	2
164	4	4,6	0,1	242	2
168	4	4,7	0,1	236	2
180	4	5,0	0,1	214	2
192	4	5,4	0,1	204	2
200	4	5,6	0,1	198	2
208	4	5,8	0,1	178	2
212	4	5,9	0,1	158	2
216	4	6,0	0,1	150	2
224	4	6,3	0,1	98	2
230	4	6,4	0,1	50	2
238	4	6,7	0,1	28	2
248	4	6,9	0,1	20	2
260	4	7,3	0,1	11	2
272	4	7,6	0,1	8	2
280	4	7,8	0,1	6	2
292	4	8,2	0,1	4	2
300	4	8,4	0,1	3	2

Таблица 9. Зависимость $I_a(B)$ для $V_a = (100 \pm 1)$ В.

I_m , мА	σ_{I_m} , мА	B , мТл	σ_B , мТл	I_a , мкА	σ_{I_a} , мкА
0	4	0,0	0,1	268	2
20	4	0,6	0,1	270	2
40	4	1,1	0,1	264	2
54	4	1,5	0,1	266	2
68	4	1,9	0,1	270	2
88	4	2,5	0,1	268	2
114	4	3,2	0,1	266	2
140	4	3,9	0,1	244	2
156	4	4,4	0,1	244	2
168	4	4,7	0,1	254	2
172	4	4,8	0,1	250	2
180	4	5,0	0,1	242	2
188	4	5,3	0,1	224	2
196	4	5,5	0,1	214	2
208	4	5,8	0,1	200	2
212	4	5,9	0,1	200	2
220	4	6,2	0,1	186	2
224	4	6,3	0,1	166	2
230	4	6,4	0,1	128	2
236	4	6,6	0,1	88	2
240	4	6,7	0,1	58	2
244	4	6,8	0,1	40	2
248	4	6,9	0,1	32	2
256	4	7,2	0,1	22	2
262	4	7,3	0,1	20	2
268	4	7,5	0,1	14	2
278	4	7,8	0,1	10	2
284	4	8,0	0,1	8	2
292	4	8,2	0,1	8	2

Таблица 10. Зависимость $I_a(B)$ для $V_a = (110 \pm 1)$ В.

Запишем данные из вышеприведенных таблиц в один график

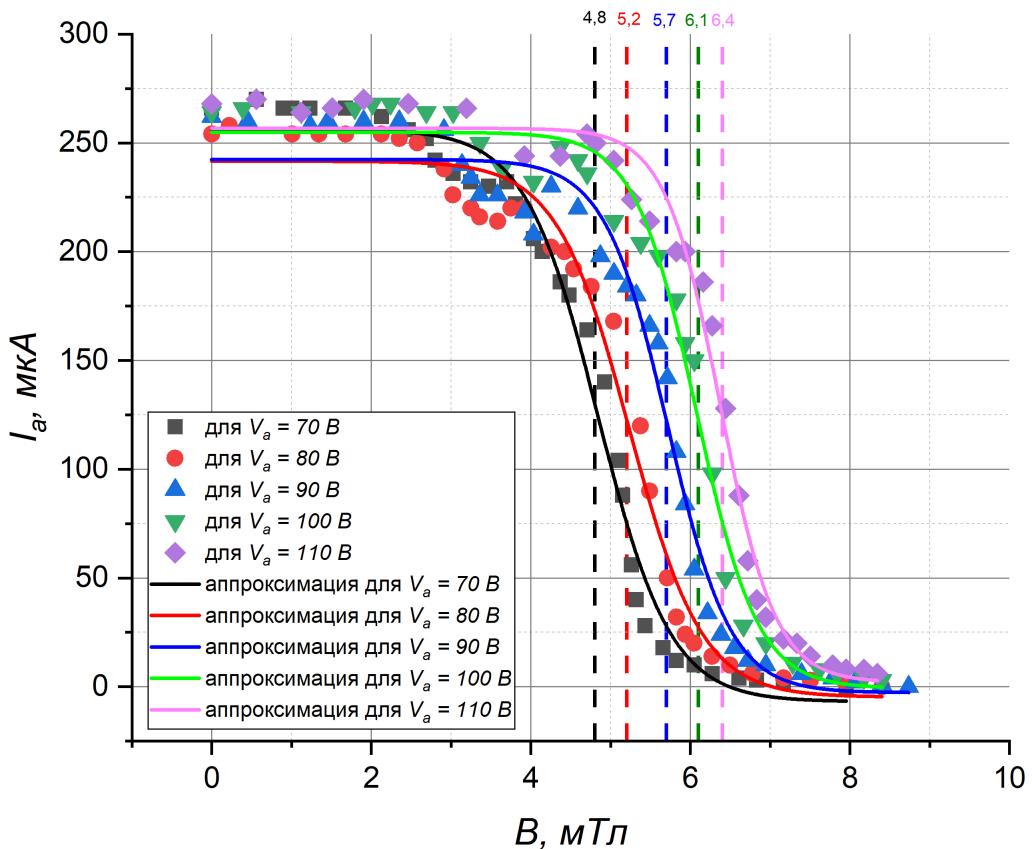


График 5. График для определения B_{kp} в зависимости от V_a .

По этому графику мы получаем зависимость B_{kp}^2 от V_a .

$B_{kp}^2, \cdot 10^{-5} \text{ Тл}^2$	$V_a, \text{ В}$
2,3	70
2,7	80
3,25	90
3,72	100
4,1	110

Таблица 11. B_{kp}^2 от V_a

По этим данным построим график.

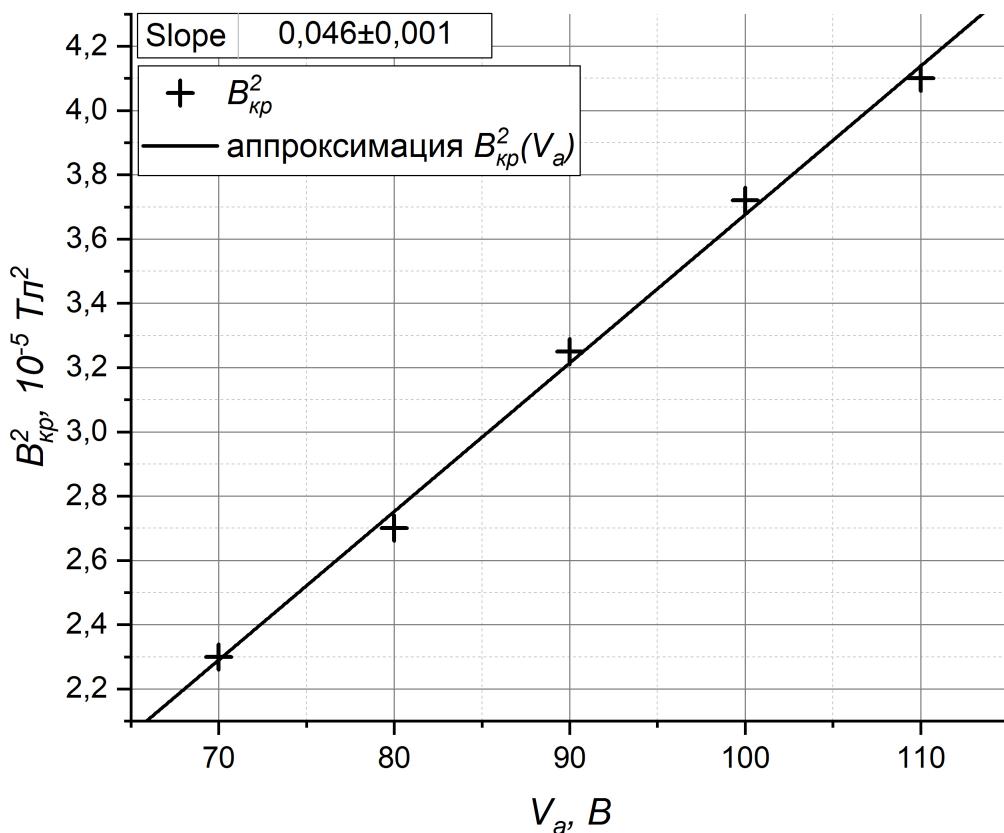


График 6. График зависимости B_{kp}^2 от V_a .

По этим данным мы получаем

$$\frac{e}{m} = (1,3 \pm 0,5) \cdot 10^{11} \text{Кл/кг}$$

Что так же близко в пределах погрешности к табличному результату.

Используемая литература.

1. **Лабораторный практикум по общей физике:** Учебное пособие. В трех томах. Т. 2. Электричество и магнетизм /Гладун А.Д., Александров Д.А., Берулёва Н.С. и др.; Под ред. А.Д. Гладуна - М.: МФТИ, 2007. - 280 с.
2. **Дополнительное описание лабораторной работы 3.3.1: Резонанс напряжений;** Под ред. МФТИ, 2016 г. - 5 с.