

Определение удельного заряда электрона (3.3.1)

Манро Эйден

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

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

где V - ускоряющий потенциал в электронной трубке, l - путь электрона, B_{Φ} - фокусирующее поле, n - номер фокуса.

Описание установки

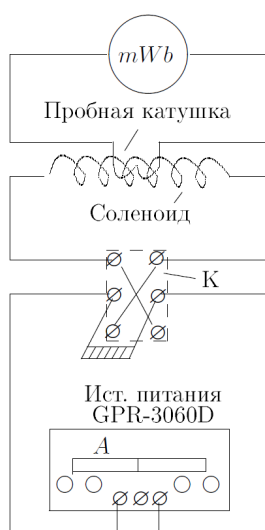


Рис. 1: Схема установки.

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.

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

Для начала стоит определить связь между индукцией B магнитного поля в соленоиде и током I через обмотки магнита.

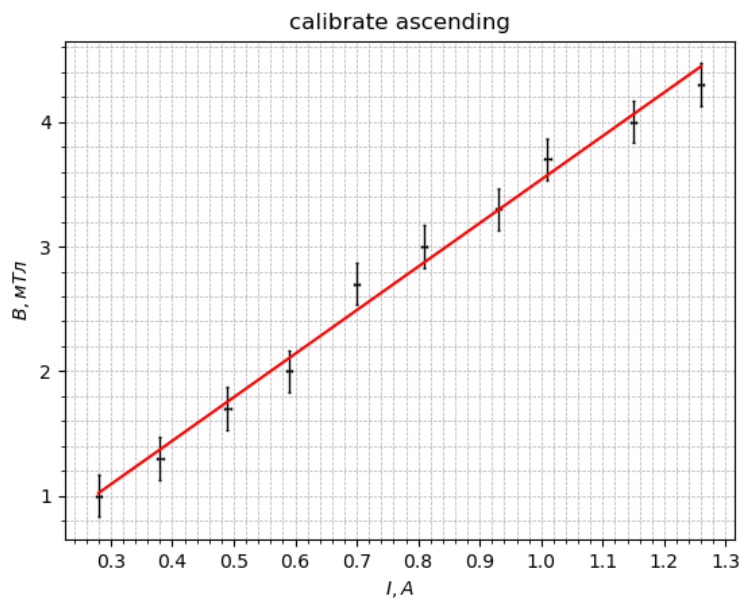


График 1. $B(I)$ в прямом направлении.

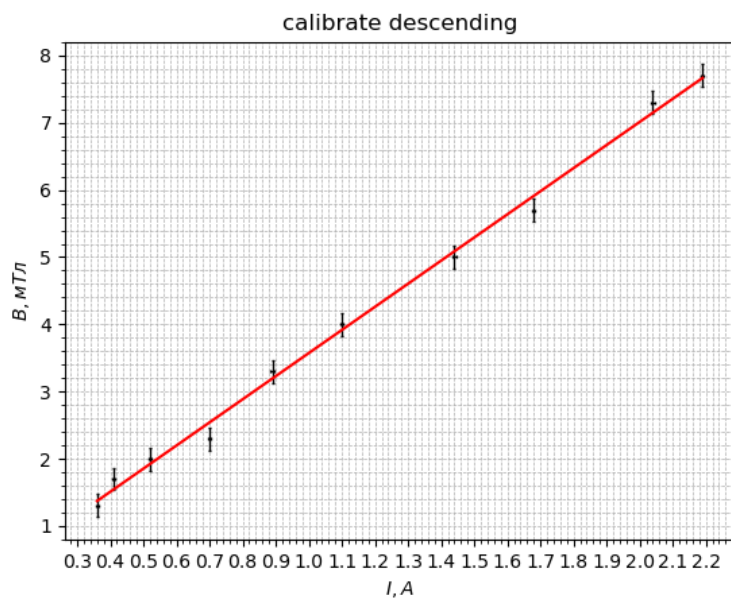


График 2. $B(I)$ в обратном направлении.

$$k_{B/I} = (3.60 \pm 0.07) \frac{\text{мТл}}{\text{А}} \quad (\varepsilon = 2\%)$$

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

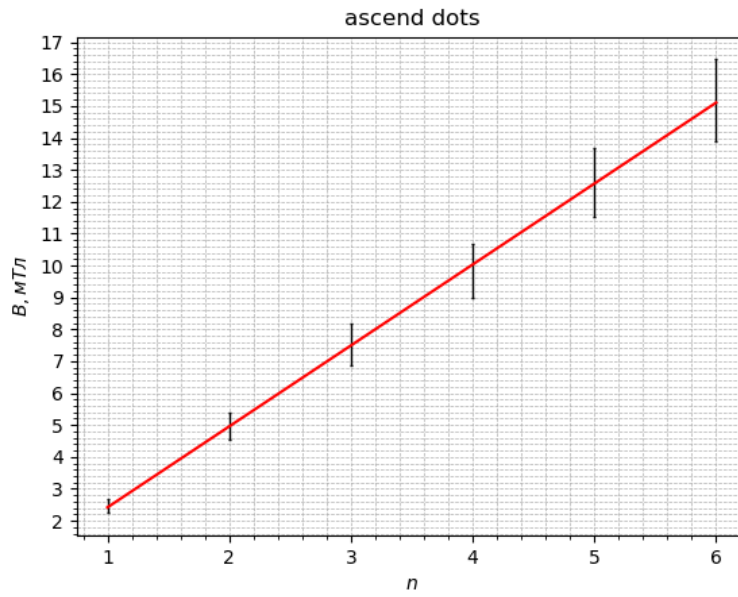


График 3. $B(n)$ в прямом направлении.

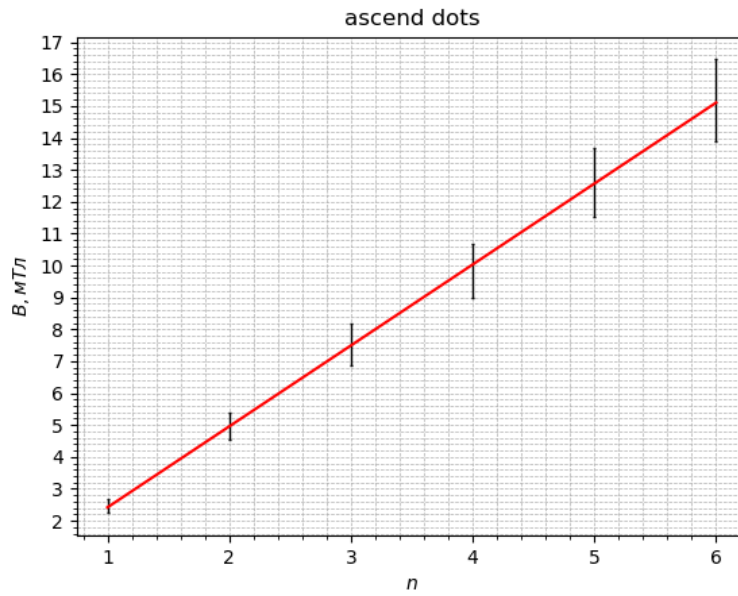


График 4. $B(n)$ в обратном направлении.

$$k_{B/n} = (2.52 \pm 0.21) \frac{\text{мТл}}{\text{А}} (\varepsilon = 8\%)$$

$$V = 0.97 \text{ кВ}, \quad l = 26.5 \text{ см}$$

Подставляя в формулу (1) мы получаем, что

$$\frac{e}{m} = (1.72 \pm 0.15) \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

Это значение очень близко к реальному $e/m = 1.76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$

В. 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

$$\frac{e}{m_e} = \frac{8V_a}{B_{кр}^2 r_a^2},$$

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

Описание установки.

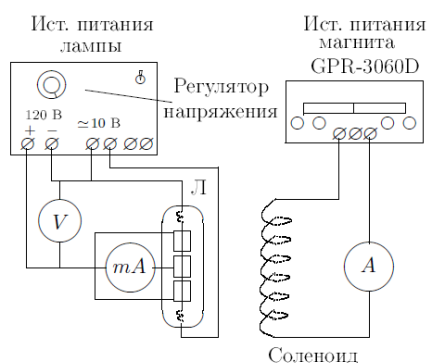


Рис. 2: Схема установки.

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, отбираемым от стабилизированного источника питания.

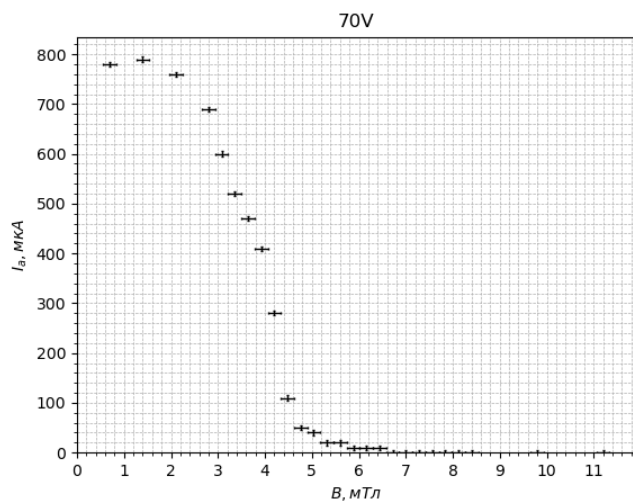
С этого же источника на анод лампы подается напряжение, регулируемое с помощью потенциометра и измеряемое вольтметром.

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

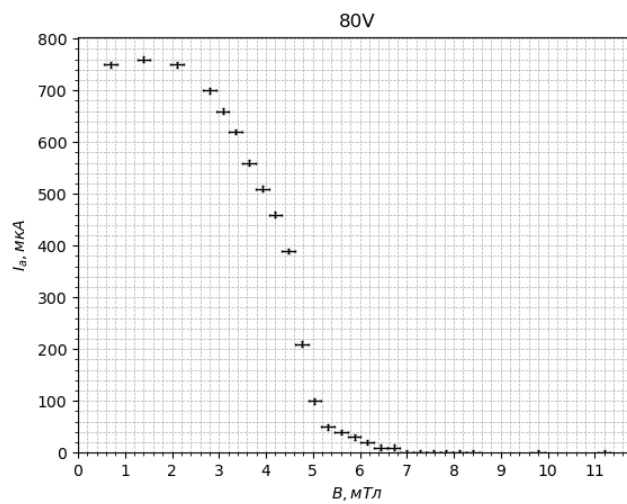
Лампа закреплена в соленоиде. Магнитное поле в соленоиде создается постоянным током, сила которого регулируется ручками источника питания и измеряется амперметром.

Ход работы

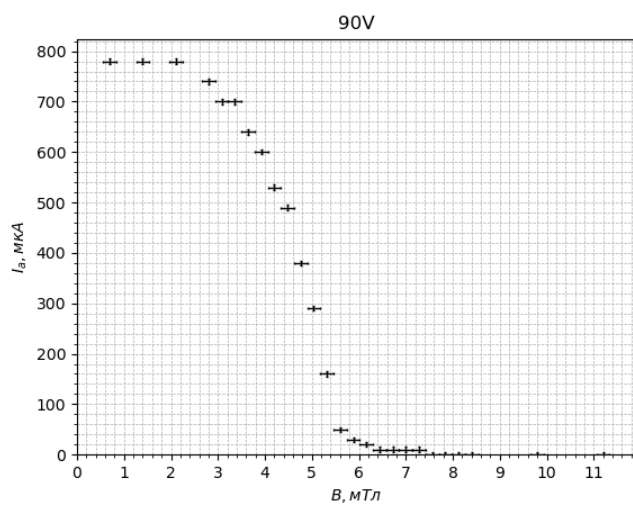
Снимем зависимость анодного тока от тока через соленоид для различных значений V_a .



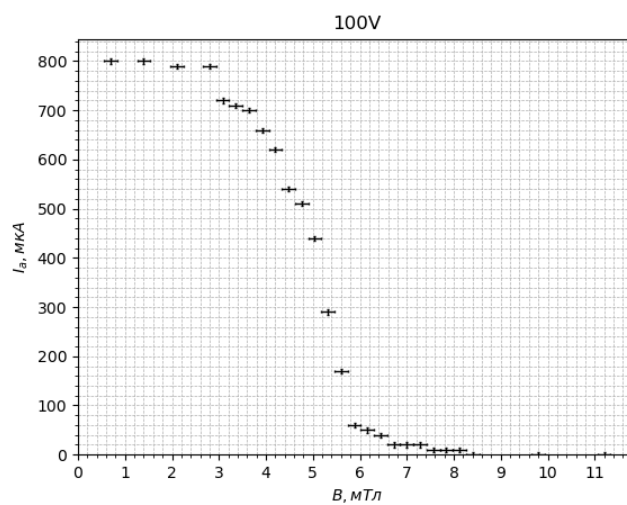
(a)



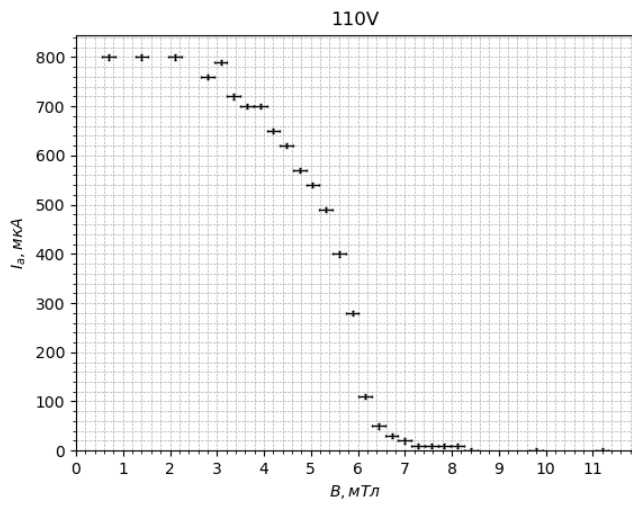
(b)



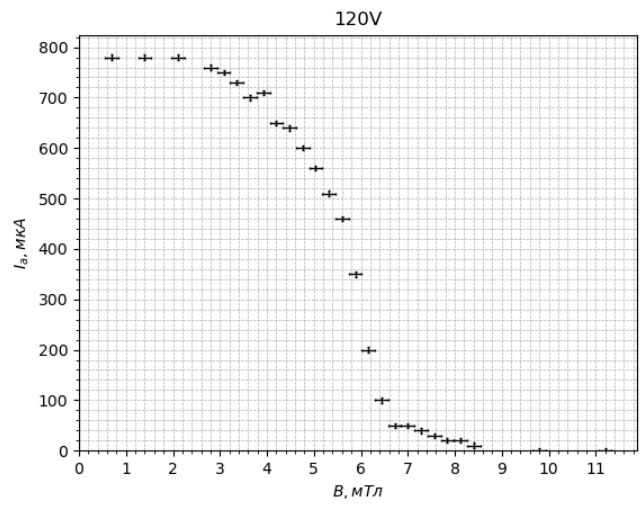
(c)



(d)



(a)



(b)

Теперь запишем все в один график.

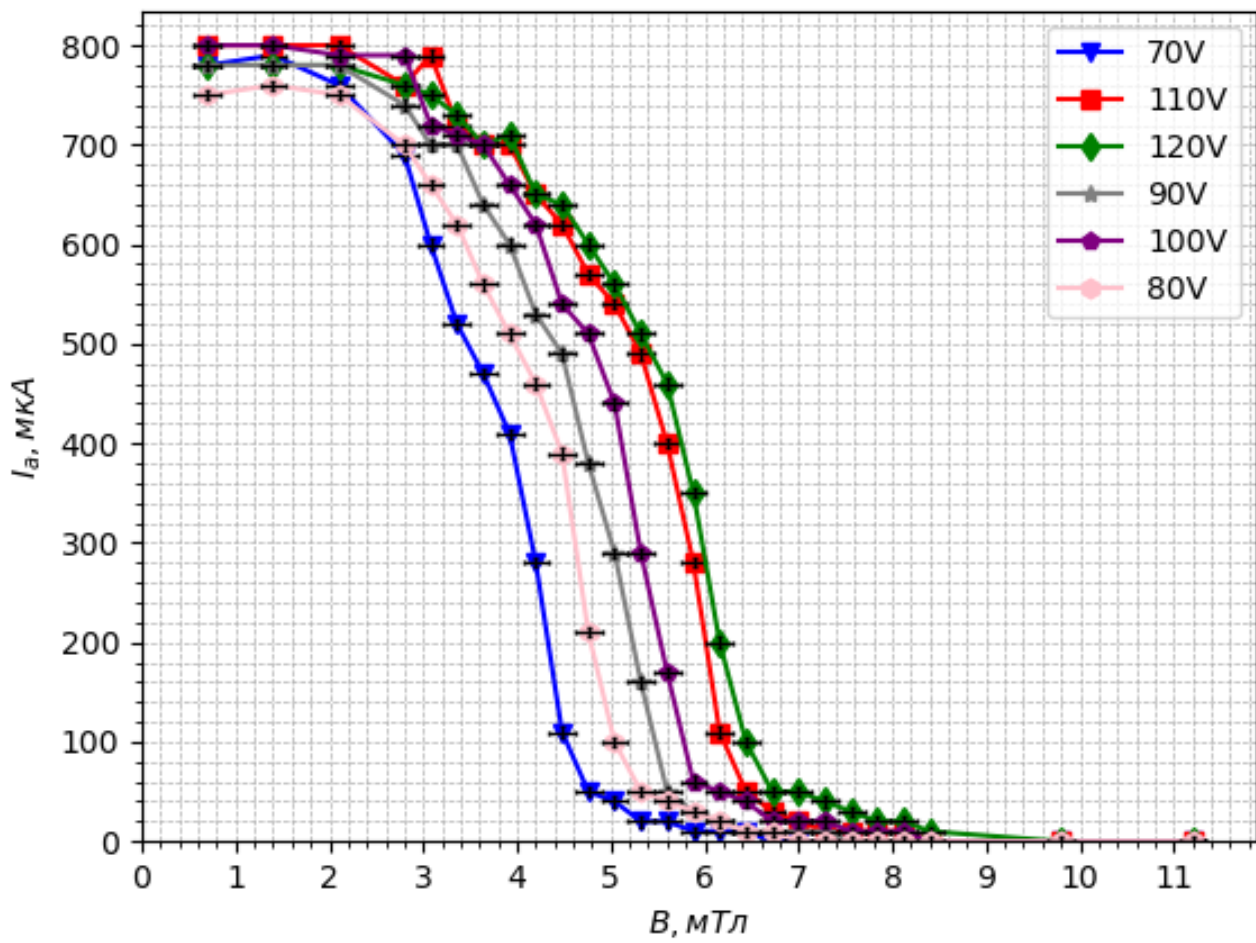


График 5. Все графики.

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

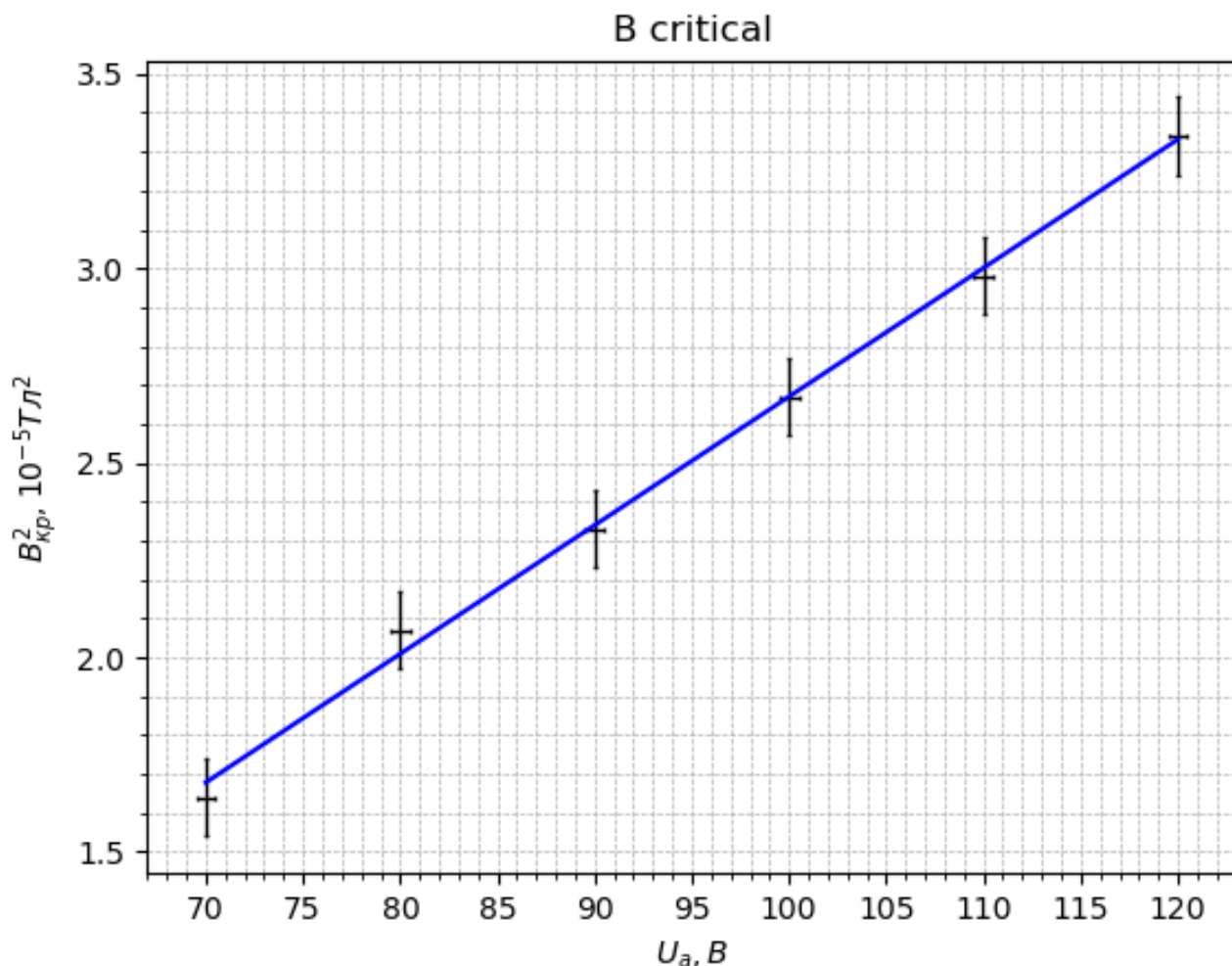


График 6. График зависимости $B_{кр}^2$ от V_a .

$$k_{B_{кр}^2/U_a} = (0.034 \pm 0.010) \cdot 10^{-5} \frac{Тл^2}{В} (\varepsilon = 29\%)$$

По этим данным мы получаем:

$$\frac{e}{m} = (1,6 \pm 0,5) \cdot 10^{11} \frac{Кл}{кг}$$

Что так же близко в пределах погрешности к табличному результату.

Вывод

Полученный методом **фокусировки** удельный заряд электрона с хорошей точностью ($\varepsilon < 10\%$) совпадает с табличным. Точность данного эксперимента обусловлена тем, что измерения были проведены в двух направлениях: прямом и обратном, тем самым учитывая присутствие внешнего магнитного поля (полусумма прямого и обратного измерения не зависит от наличия постоянного внешнего продольного поля).

Полученный методом **магнетрона** удельный заряд электрона с плохой точностью ($\varepsilon = 29\%$) совпадает с табличным. Плохая точность данного эксперимента обусловлена несколькими факторами: вектор индукции магнитного поля несколько наклонен по отношению к катоду, магнитное поле неоднородно и т.д. Все эти факторы приводят к сглаживанию кривой $I_A(B)$ тем самым сильно затрудняя определение критического значения магнитного поля по графику.