

Лабораторная работа № 3.3.4
Эффект Холла в полупроводниках.

Никита Москвитин, Б04-204

2023

1 Аннотация

В данной работе измерялись основные параметры полупроводника. Были получены значения концентрации носителей заряда, их подвижности. Был определен тип полупроводника.

2 Введение

Эффект Холла

Во внешнем магнитном поле \vec{B} на заряды действует сила Лоренца:

$$\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}.$$

Эта сила вызывает движение носителей, направление которого в общем случае не совпадает с \vec{E} . Действительно, траектории частиц будут либо искривляться, либо, если геометрия проводника этого не позволяет, возникнет дополнительное электрическое поле, компенсирующее магнитную составляющую силы Лоренца. Возникновение поперечного тока электрического поля в образце, помещённом во внешнее магнитное поле, называют *эффектом Холла*.

Мостик Холла

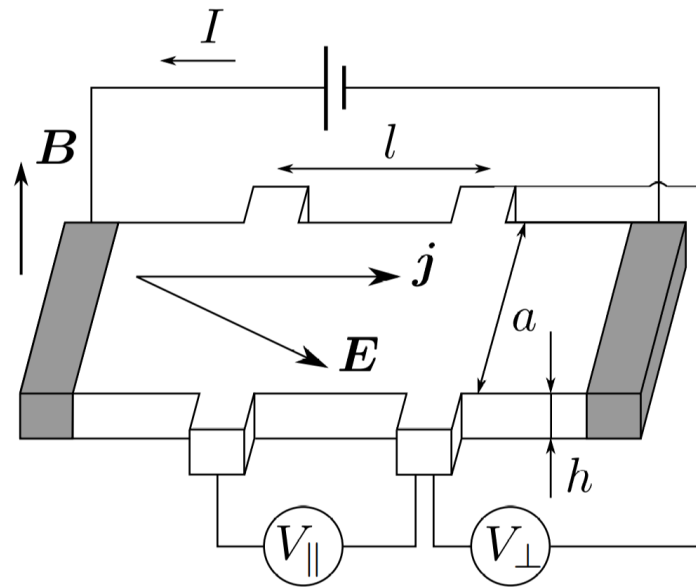


Рис. 1: Схема мостика Холла

Для исследования зависимости проводимости среды от магнитного поля используют т.н. *мостик Холла*. В данной схеме (Рис. 1) ток вынуждают течь по оси x вдоль плоской пластинки (ширина пластинки a , толщина h , длина l). Сила Лоренца, действующая со стороны перпендикулярного пластинке магнитного поля, "прибивает" носители заряда к краям образца, что создаёт холловское электрическое поле, компенсирующее эту силу. Поперечное напряжение между краями пластинки (*холловское напряжение*) равно $U_{\perp} = E_y a$, где

$$E_y = \frac{j_x B}{nq}.$$

Плотность тока, текущего через образец, равна $j_x = \frac{I}{ah}$, где I – полный ток, ah – поперечное сечение. Таким образом, для холловского напряжения имеем

$$U_{\perp} = \frac{B}{nqa}I = R_H \frac{B}{a}I,$$

где константу

$$R_H = \frac{1}{nq}$$

называют *постоянной Холла*. Знак постоянной Холла определяется знаком заряда носителей.

Продольная напряжённость электрического поля равна

$$E_x = \frac{j_x}{\sigma_0},$$

и падение напряжения $U_{\parallel} = E_x l$ вдоль пластинки определяется омическим сопротивлением образца $R_0 = \frac{l}{\sigma_0 ah}$:

$$U_{\parallel} = IR_0.$$

Интересно отметить, что несмотря на то, что тензор проводимости явно зависит от B , продольное сопротивление образца в данной геометрии от магнитного поля *не зависит*.

3 Экспериментальная установка

Электрическая схема установки для измерения ЭДС Холла представлена на Рис. 2.

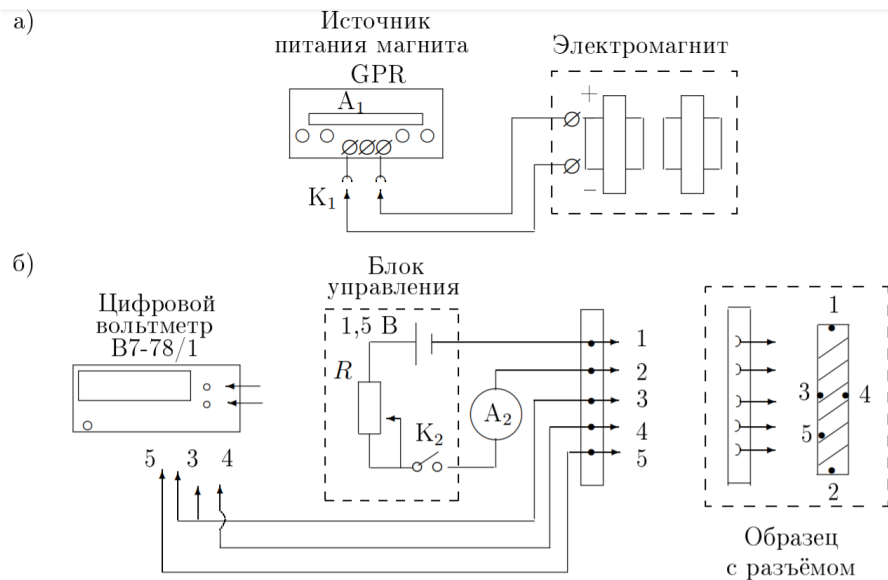


Рис. 2: Схема установки для исследования эффекта Холла в полупроводниках

В зазоре электромагнита создаётся постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регуляторов источника питания. Ток измеряется амперметром источника питания A_1 . Разъём K_1 позволяет менять направление тока в обмотках электромагнита.

Градуировка магнита проводится при помощи миллиамперметра.

Образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе, подключается к батарее ($\approx 1,5$ В). При замыкании ключа K_2 вдоль длинной стороны образца

течёт ток, величина которого регулируется реостатом R и измеряется миллиамперметром A_2 .

В образце с током, помещённом в зазор электромагнита, между контактами 3 и 4 возникает разность потенциалов U_{34} , которая измеряется с помощью цифрового вольтметра.

Контакты 3 и 4 вследствие неточности подпайки не всегда лежат на одной эквипотенциали, и тогда напряжение между ними связано не только с эффектом Холла, но и с омическим падением напряжения, вызванным протеканием основного тока через образец. Измеряемая разность потенциалов при одном направлении магнитного поля равна сумме ЭДС Холла и омического падения напряжения, а при другом – их разности. В этом случае ЭДС Холла ε_H может быть определена как половина алгебраической разности показаний вольтметра, полученных для двух противоположных направлений магнитного поля в зазоре. Знак измеряемого напряжения высвечивается на цифровом табло вольтметра.

Можно исключить влияние омического падения напряжения иначе, если при каждом токе через образец измерять напряжение между точками 3 и 4 в отсутствие магнитного поля. При фиксированном токе через образец это дополнительное к ЭДС Холла напряжение U_0 остаётся неизменным. От него следует (с учётом знака) отсчитывать величину ЭДС Холла: $\varepsilon_H = U_{34} \pm U_0$. При таком способе измерения нет необходимости проводить повторные измерения с противоположным направлением магнитного поля.

По знаку ε_H можно определить характер проводимости – электронный или дырочный. Для этого необходимо знать направление тока в образце и направление магнитного поля. Измерив ток I в образце и напряжение U_{35} между контактами 3 и 5 в отсутствие магнитного поля, можно, зная параметры образца, рассчитать проводимость материала образца по очевидной формуле:

$$\sigma = \frac{IL_{35}}{U_{35}al},$$

где L_{35} – расстояние между контактами 3 и 5, a – толщина образца, l – его ширина.

4 Измерения

Таблица 1: Измерения для ВАХа

I, мА	0,29	0,41	0,5	0,61	0,7	0,8	0,9	1	0,2	0,15
U, мВ	1,135	1,602	1,965	2,389	2,746	3,145	3,526	3,916	0,78	0,58

Таблица 2: Значения ЭДС Холла при токе $I = 1$ мА

U, мВ	0,388	0,544	0,656	0,735	0,794
B, мТл	484,2	668,7	803,2	894,2	958,7

Таблица 3: Значений ЭДС Холла при токе $I = 0,8$ мА

U, мВ	0,323	0,429	0,52	0,582	0,633
B, мТл	484,2	668,7	803,2	894,2	958,7

5 Обработка результатов

Из первого графика (Рис.3) мы получаем сопротивление образца $R = \frac{1}{k} = (3,91982 \pm 0,00265)$ Ом. Посчитаем проводимость $\sigma = \frac{l}{SR} = (3,1889 \pm 0,0022)$ Ом*см.

Таблица 4: Значений ЭДС Холла при токе $I = 0,5$ мА

U, мВ	0,2	0,269	0,326	0,367	0,397
V, мТл	484,2	668,7	803,2	894,2	958,7

Приведем значения коэффициентов наклона в зависимости от тока для графиков ЭДС Холла в зависимости от тока (Рис. 4- 6) в Таблице 5. И построим график коэффициентов наклона от тока, для усреднения значений (Рис.7)

Таблица 5: Значения коэффициентов наклона графиков в зависимости от тока

I, мА	0,5	0,8	1
k, В/Тл	4,15274E-4	6,51287E-4	8,5191E-4

Коэффициента наклона нового графика $K = \frac{1}{nae} = (8,36 \pm 0,13) * 10^{-4}$ В/Тл*мА, тогда концентрация $n = (7,47 \pm 0,12) * 10^{15}$ см³. Посчитаем постоянную Холла $R_H = K * a = (8,36 \pm 0,13) * 10^{-4}$ м³/Кл. А подвижность $\mu = \frac{\sigma}{en} = (2670 \pm 50) \frac{\text{см}^2}{\text{В*с}}$. Получается проводимость n-типа.

6 Вывод

Мы получили для нашего образца такие значения:

проводимость $\sigma = (3,1889 \pm 0,0022)$ Ом*см

концентрация $n = (7,47 \pm 0,12) * 10^{15}$ см³

постоянная Холла $R_H = (8,36 \pm 0,13) * 10^{-4}$ м³/Кл

подвижность $\mu = (2670 \pm 50) \frac{\text{см}^2}{\text{В*с}}$

Как мы можем понять из подвижности, это не просто обычный проводник n-типа, так как табличное значение подвижности $\mu = 3800 \frac{\text{см}^2}{\text{В*с}}$, скорее всего это легированный германий – с примесями, здесь имеет смысл быть электронно-дырочная проводимость. При этом все цели были выполнены, а так же результаты коррелирует с реальностью.

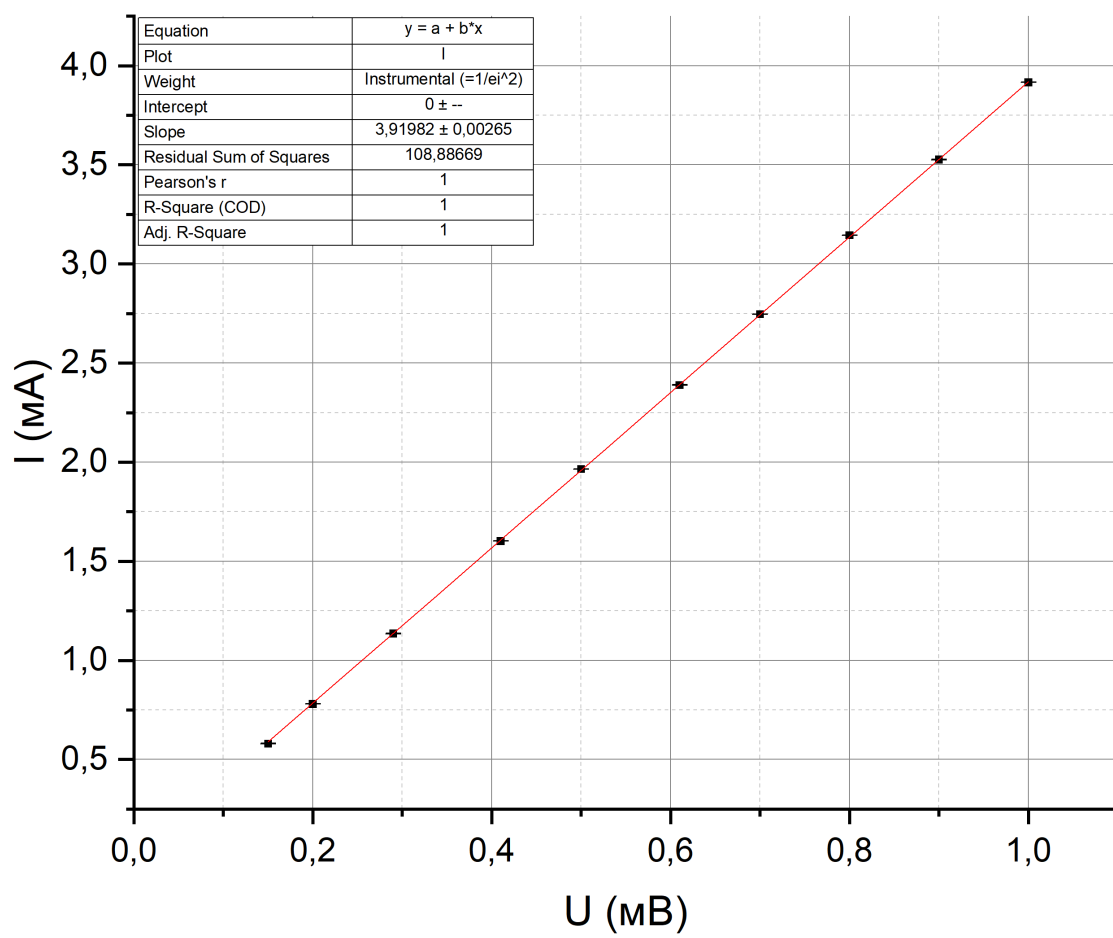


Рис. 3: ВАХ

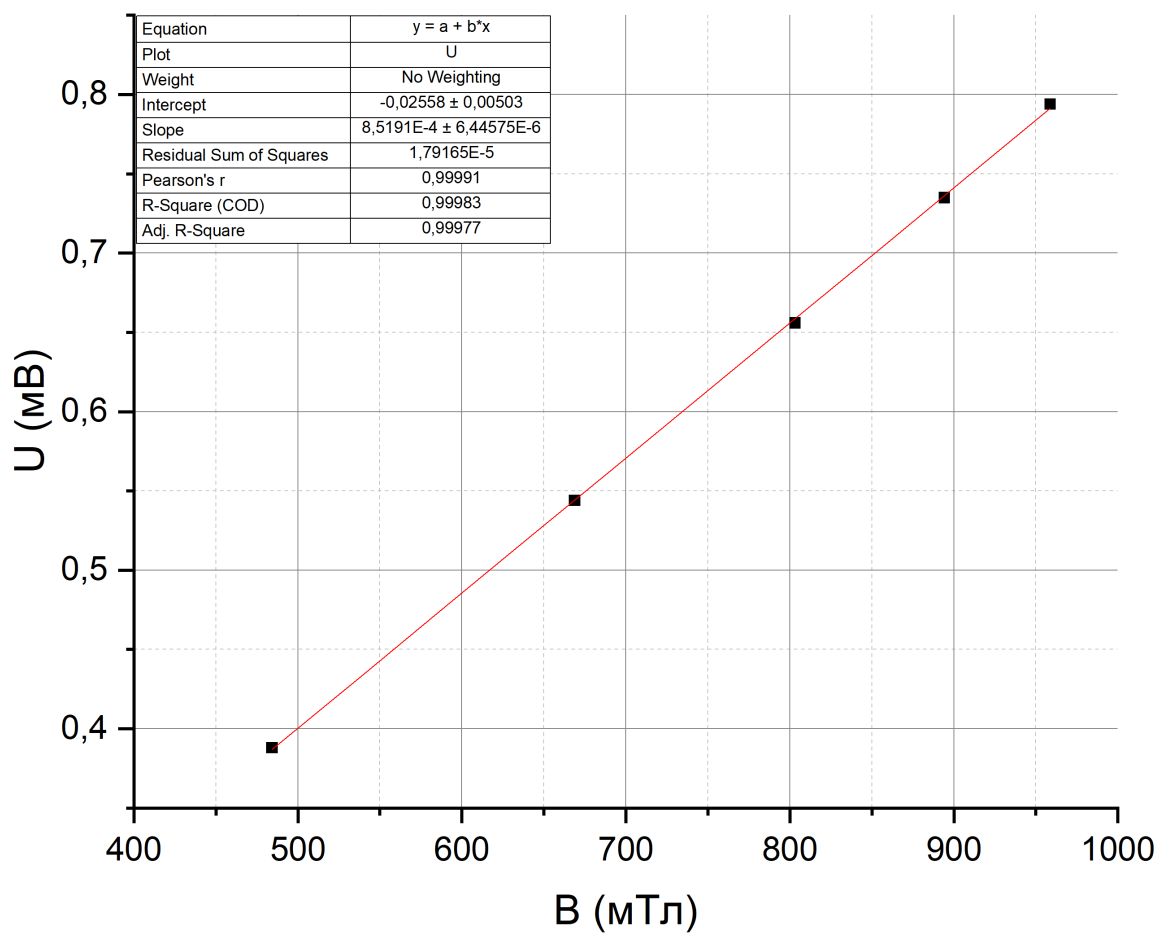


Рис. 4: График зависимости ЭДС Холла от индукции магнитного поля при токе $I = 1$ мА

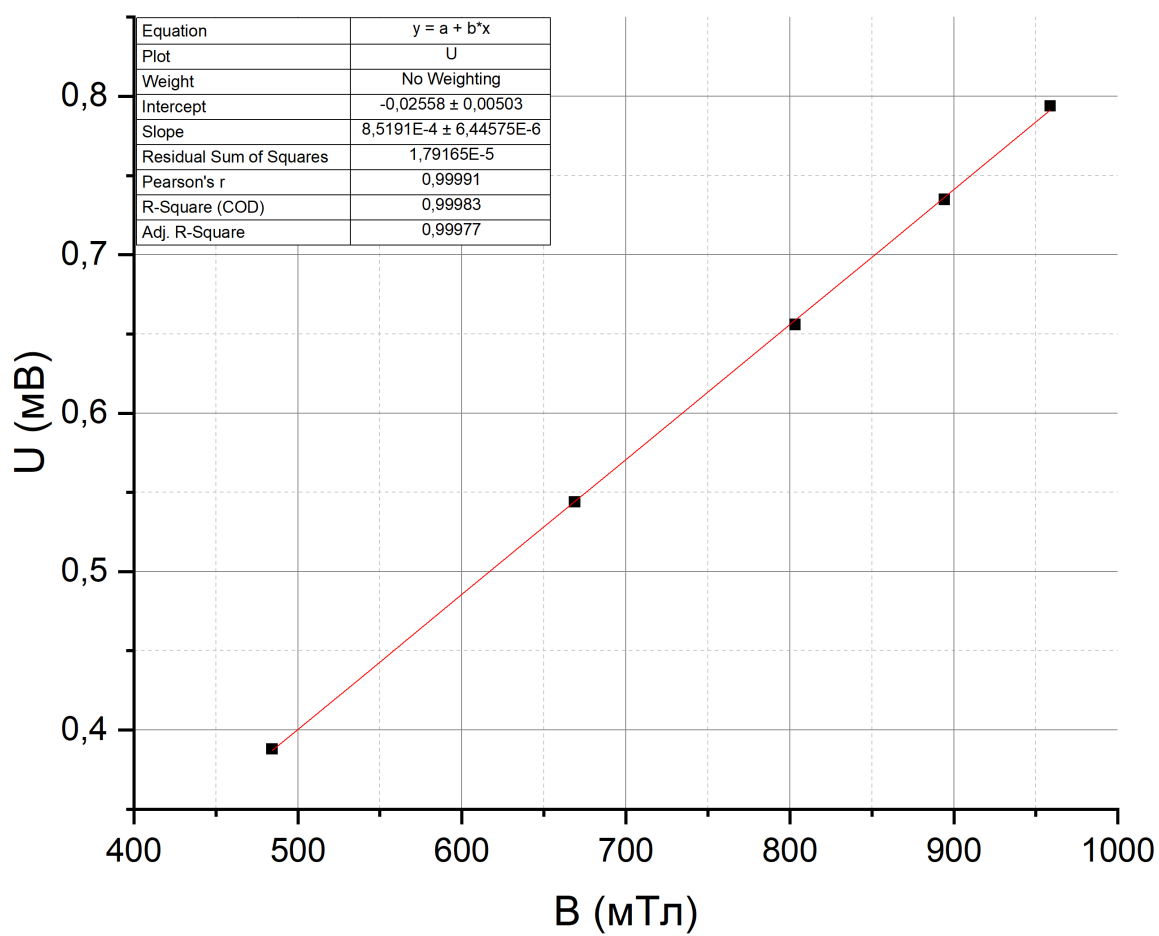


Рис. 5: График зависимости ЭДС Холла от индукции магнитного поля при токе $I = 0,8$ мА

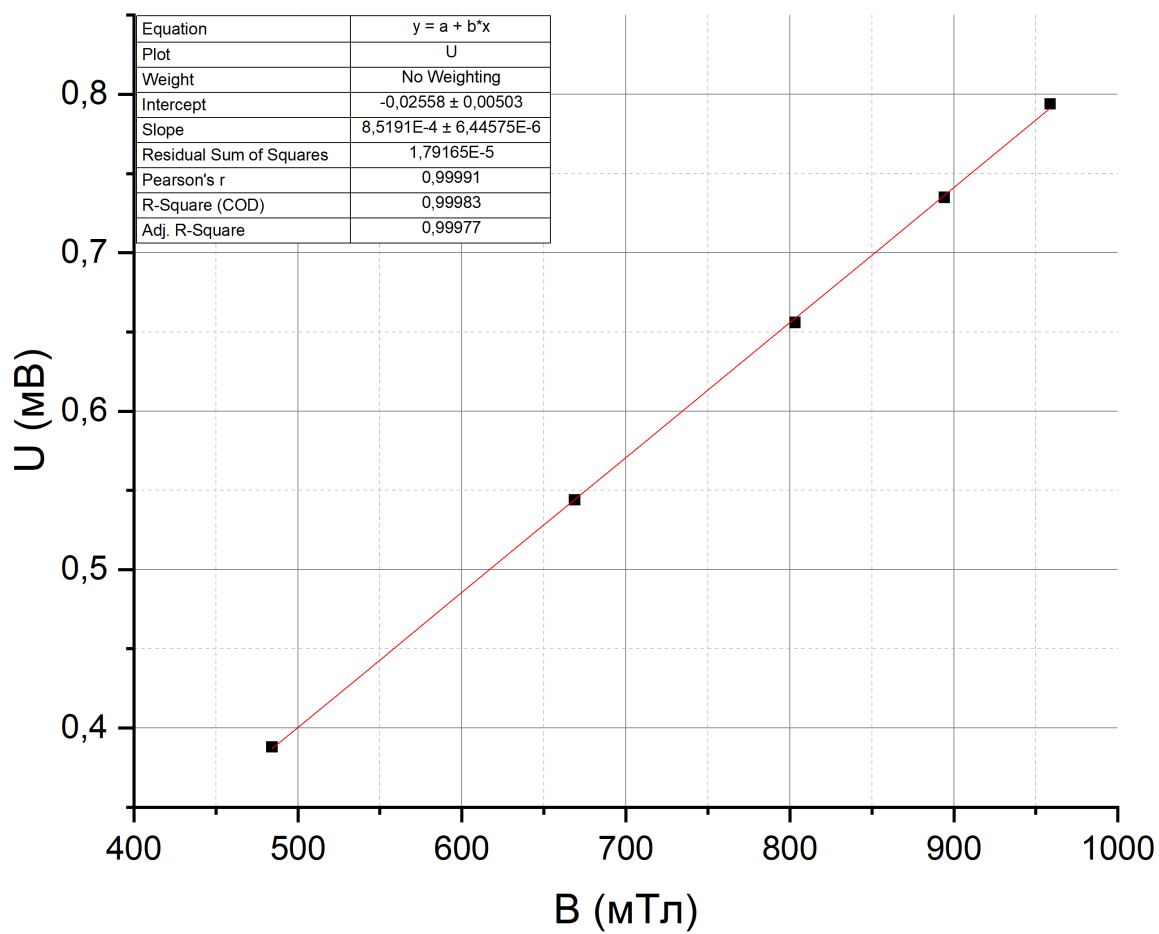


Рис. 6: График зависимости ЭДС Холла от индукции магнитного поля при токе $I = 0,5$ мА

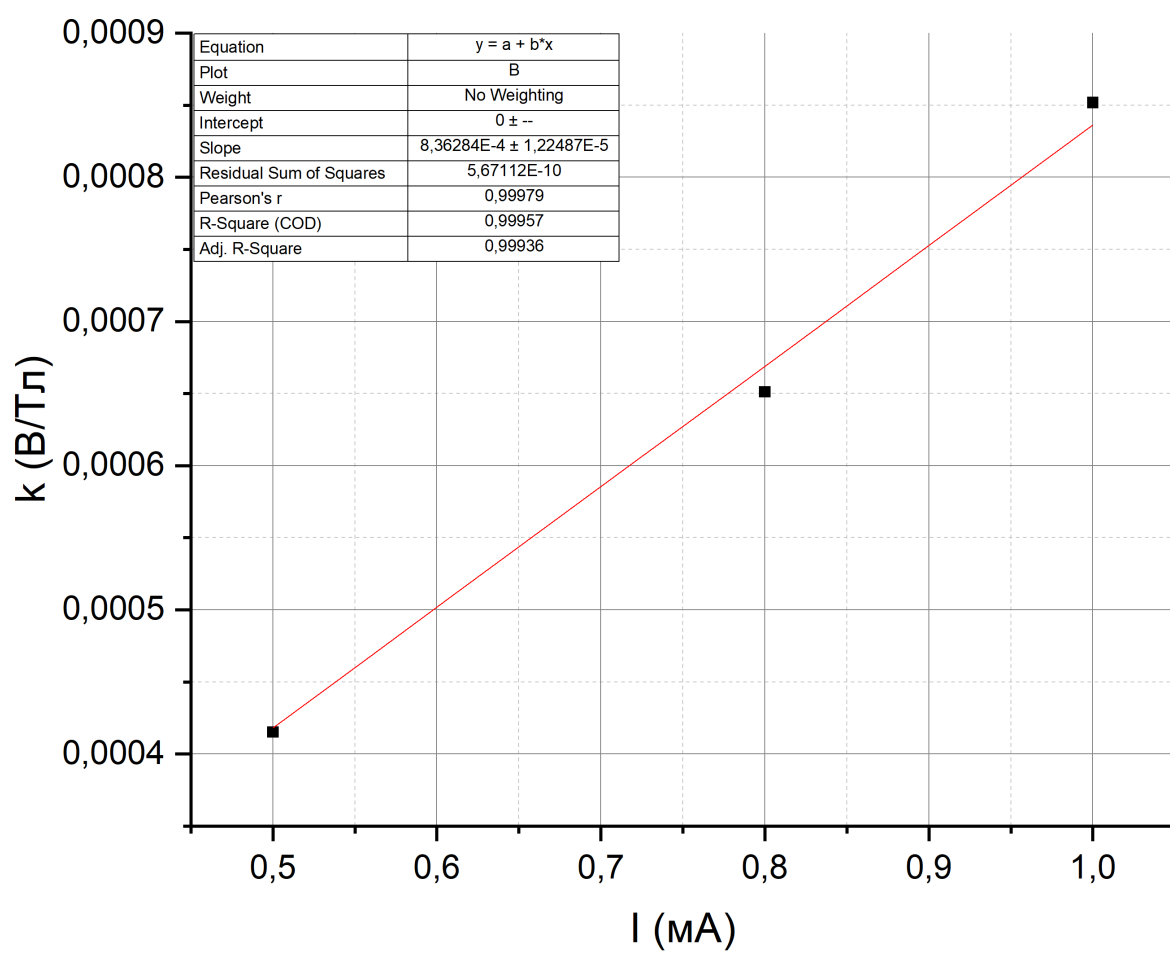


Рис. 7: График зависимости коэффициентов наклона от тока