

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа фотоники, электроники и молекулярной физики

Отчёт о выполнении лабораторной работы

3.3.4

Эффект Холла в полупроводниках

Автор:
Макаров Лев Евгеньевич
Б04-306

1 Введение

Цель работы:

1. измерение подвижности и концентрации носителей заряда в полупроводниках

В работе используются:

- электромагнит с регулируемым источником питания
- вольтметр
- амперметр
- милливольтметр
- миллиамперметр
- генератор
- образцы легированного германия

2 Теоретические сведения

Корректность измерения напряжения. Исключить падение напряжения, вызванного неточностью положений контактов 3 и 4 (если они не на одной эквипотенциали) можно с помощью изменения направления магнитного поля, пронизывающего образец. Поскольку если повернуть поле, ЭДС Холла поменяет знак, но по модулю не изменится, ЭДС Холла можно получить следующим образом:

$$U_{\perp} = \frac{1}{2}(U_{34}^{(+)} - U_{34}^{(-)}),$$

где $U_{34}^{(\pm)}$ – показание вольтметра, полученное при одном из противоположных направлений магнитного поля в зазоре.

Иной метод: при каждом значении тока через образец измерять напряжение между точками 3 и 4 в отсутствие магнитного поля. Если ток через образец не меняется, то это дополнительное напряжение U_0 также не меняется. Тогда:

$$U_{\perp} = U_{34} - U_0.$$

Характер проводимости. По знаку U_{\perp} 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 формуле:

$$\rho_0 = \frac{al}{L_{35}} \cdot \frac{U_{35}}{I},$$

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

3 Экспериментальная установка

Электрическая схема установки для измерения ЭДС Холла представлена на рис. 1. В зазоре электромагнита (рис. 1а) создаётся постоянное магнитное поле, величину которого можно менять с помощью регулятора источника питания электромагнита. Ток питания электромагнита измеряется амперметром A_1 (внешним или встроенным в источник). Направление тока в обмотках электромагнита меняется переключением разъёма K_1 . Градуировка электромагнита (связь тока с индукцией поля) проводится при помощи милливеберметра или миллитесламетра на основе датчика Холла.

Прямоугольный образец из легированного германия, смонтированный в специальном держателе (рис. 1б, рис. ??), подключается к источнику питания ($\simeq 1,5$ В). При замыкании ключа K_2 вдоль длинной стороны образца течёт ток, величина которого регулируется реостатом R_2 и измеряется миллиамперметром A_2 .

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

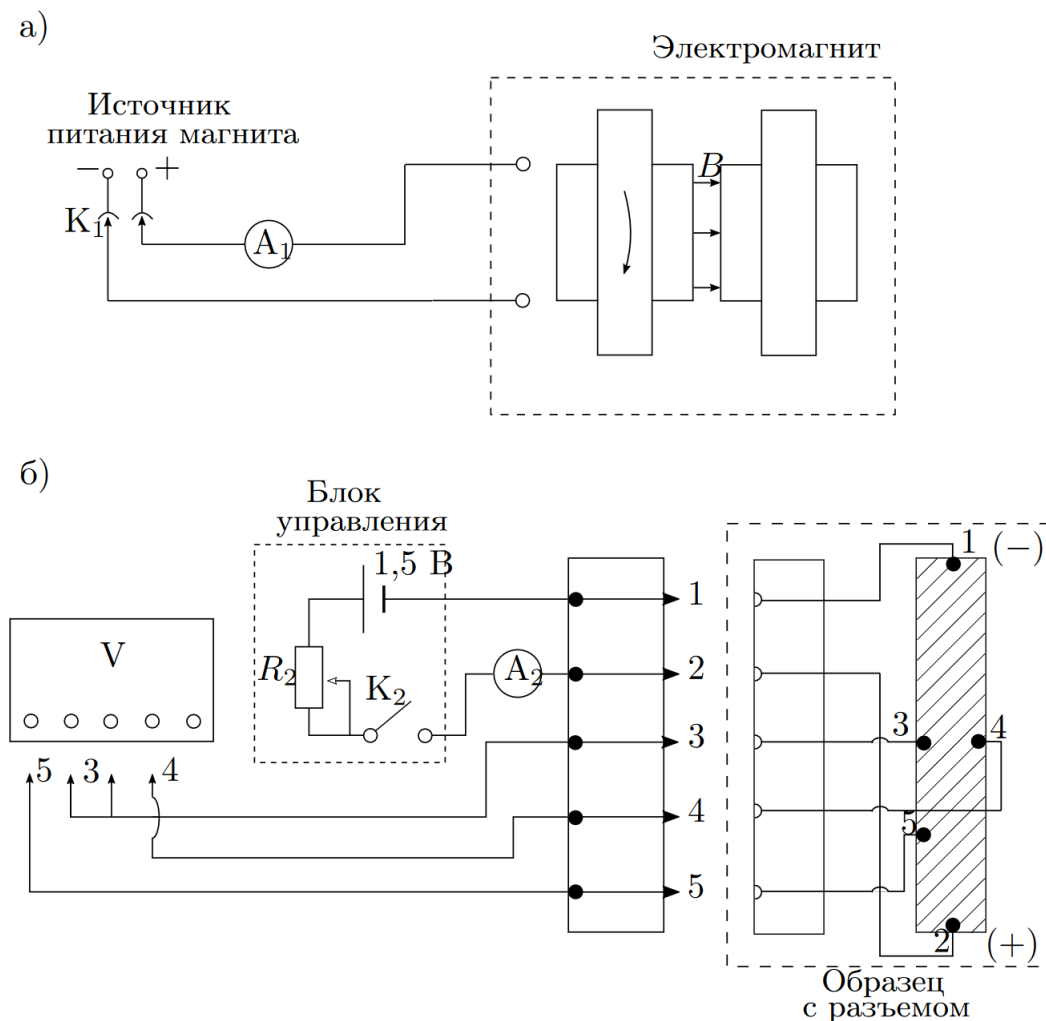


Рис. 1: Схема установки для исследования вынужденных колебаний

4 Результаты измерений и обработка данных

4.1 Подготовка приборов

Включим милливольтметр и подождем пока закончиться его автонастройка. Подключим к нему провода 3-4.

4.2 Проверка образца

Проверим ток через образец, Необходимо убедиться, что ток реостатом можно изменять от 0 до 1 мА.

4.3 Регулировка электромагнита

Измерим предел изменения тока через электромагнит I_M^{max} .

$$I_M^{max} = 1,62 \text{ A}$$

Поэтому при измерениях будем поднимать ток I_M не более, чем до 1,5 А.

4.4 Измерение калибровочной кривой

Измерим зависимость индукции магнитного поля B в зазоре электромагнита в зазоре от тока I_M . Снимем показания милливексметра для нескольких значений тока I_M и поместим в таблицу 1.

Значение $SN = (75,0 \pm 0,5) \text{ см}^2\text{вит}$

N	I_M , А	Φ , мВб	B , Тл
1	0,19	1,4	0,19
2	0,37	2,7	0,36
3	0,56	4,1	0,55
4	0,75	5,5	0,73
5	0,93	6,6	0,88
6	1,13	7,5	1,00
7	1,30	8,2	1,09
8	1,50	8,7	1,16

Таблица 1: Зависимость индукции магнитного поля B от тока I_M

Погрешность измерения тока I_M равна $\sigma_M = 0,03 \text{ A}$. Погрешность измерения индукции поля $\sigma_\Phi = 0,2 \text{ мВб}$, так как измеряется как дельта между начальным и конечным. Посчитаем индукцию через катушку из формулы $\Phi = BSN$ и запишем в таблицу 1.

Погрешность измерения B можно вычислить по формуле:

$$\sigma_B = B \sqrt{\left(\frac{\sigma_\Phi}{\Phi}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{SN}}{SN}\right)^2} \approx 0,03 \text{ Тл} \quad (1)$$

Погрешность σ_B получилась одинаковой для всех измерений.

4.5 Определение U_0

Вставим образец в зазор электромагнита и измерим $U_0 = 0,264 \text{ мВ}$ при токе $I = (0,37 \pm 0,03) \text{ мА}$. Это значение будет меняться при изменении тока.

4.6 Измерение ЭДС Холла

Замерим напряжение U_{34} при постоянном токе I при разных значениях I_M и результаты измерений запишем в таблицу 2. Погрешность измерения U_{34} составляет $\sigma_{34} = 0,01$ мВ.

N	$I_M, \text{ A}$	$U_{34}, \text{ мВ}$
1	0,26	1,27
2	0,50	2,44
3	0,75	3,61
4	1,00	4,60
5	1,25	5,21
6	1,50	5,62

Таблица 2: Зависимость напряжения U_{34} от тока I_M при токе $I = 0,37$ мА

4.7 Измерения при других значениях I

Повторим результаты измерений пункта 4.6 для других значений тока I до 1 мА и результаты измерений запишем в таблицу 3.

	$I, \text{ мА}$	0,46	0,55	0,64	0,73	0,82	0,91	1,00
N	$I_M, \text{ A}$	$U_{34}, \text{ мВ}$	$U_{34}, \text{ мВ}$	$U_{34}, \text{ мВ}$	$U_{34}, \text{ мВ}$	$U_{34}, \text{ мВ}$	$U_{34}, \text{ мВ}$	$U_{34}, \text{ мВ}$
1	0,25	1,49	1,76	2,12	2,37	2,63	2,88	3,22
2	0,50	3,04	3,60	4,25	4,87	5,35	5,99	6,61
3	0,75	4,44	5,31	6,19	7,04	7,85	8,77	9,68
4	1,00	5,65	6,68	7,82	8,87	9,98	11,07	12,19
5	1,25	6,41	7,61	8,86	10,11	11,35	12,58	13,83
6	1,50	6,92	8,22	9,58	10,92	12,26	13,61	14,95

Таблица 3: Зависимость напряжения U_{34} от тока I_M

4.8 Измерения в обратном направлении

Проведем аналогичные измерения при обратном направлении магнитного поля и результаты запишем в таблицу 4.

N	$I_M, \text{ A}$	$U_{34}, \text{ мВ}$
1	0,26	-3,07
2	0,50	-6,44
3	0,75	-9,37
4	1,00	-11,79
5	1,25	-13,41
6	1,50	-14,14

Таблица 4: Зависимость напряжения U_{34} от тока I_M при обратном направлении магнитного поля

4.9 Определение знака заряда носителей

На клемме 4 скапливается отрицательный заряд, следовательно, с учетом направления тока и магнитного поля. Носителями заряды выступают отрицательно заряженные частицы. То есть электронный способ проводимости.

4.10 Измерение удельной проводимости

Удалим держатель с образцом из зазора. Установим ток через образец $I = 1$ мА. Подключим клеммы 3-5 и измерим напряжение между ними $U_{35} = (85,35 \pm 0,01)$ мВ.

4.11 Характеристики приборов

Запишем характеристики приборов:

$$l = (15,0 \pm 0,5) \text{ мм}$$

$$h = (2,0 \pm 0,5) \text{ мм}$$

$$a = (8,0 \pm 0,5) \text{ мм}$$

4.12 Калибровочный график

Построим график зависимости $B(I_M)$. Для этого аппроксимируем наилучшую прямую МНК. график изобразим на рисунке 2.

$$k = (0,76 \pm 0,04) \text{ Тл/А, а } b = (0,10 \pm 0,02) \text{ Тл} \quad (2)$$

4.13 Вычисление ЭДС Холла

Построим график зависимости ЭДС Холла от индукции B при нескольких значениях тока I . B получим экстраполируя по результатам прошлого пункта. График нанесем на рисунок 3.

4.14 Определение постоянной Холла

Построим график зависимости коэффициентов k от тока I . График нанесем на рисунок 4.

$$\gamma = (12,93 \pm 0,03) \text{ В/Тл/мА} \quad (3)$$

Из формулы (3.27) следует, что

$$R_H = h \frac{dU/dB}{I} = h \frac{k}{I} = h\gamma = 2 \cdot 12,93 \approx (25 \pm 7) \frac{\text{м}^3}{\text{Кл}}$$

4.15 Расчет параметров проводимости

Удельную проводимость и удельное сопротивление можно получить из формулы:

$$R_H = \frac{1}{nq} \implies n = \frac{1}{R_H q} \approx (2,4 \pm 0,6) \cdot 10^{-17} \text{ м}^{-3}$$
$$\sigma_0 = \frac{Il}{U_{35}ha} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{85,35 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-3}} \approx (11 \pm 3) (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$$

Вычислим удельное сопротивление

$$\rho_0 = \frac{1}{\sigma_0} \approx (0,09 \pm 0,02) \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

4.16 Вычисление подвижности

Подвижность заряда вычисляется:

$$\mu = \frac{\sigma_0}{en} \approx (2,8 \pm 0,7) \cdot 10^{40} \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$$

4.17 Другие графики зависимости

Во время работы был исследован эффект Холла в полупроводниках. Результаты на несколько порядков не сходятся с табличными значениями.

Возможно это объясняется наличием примесей в образце.

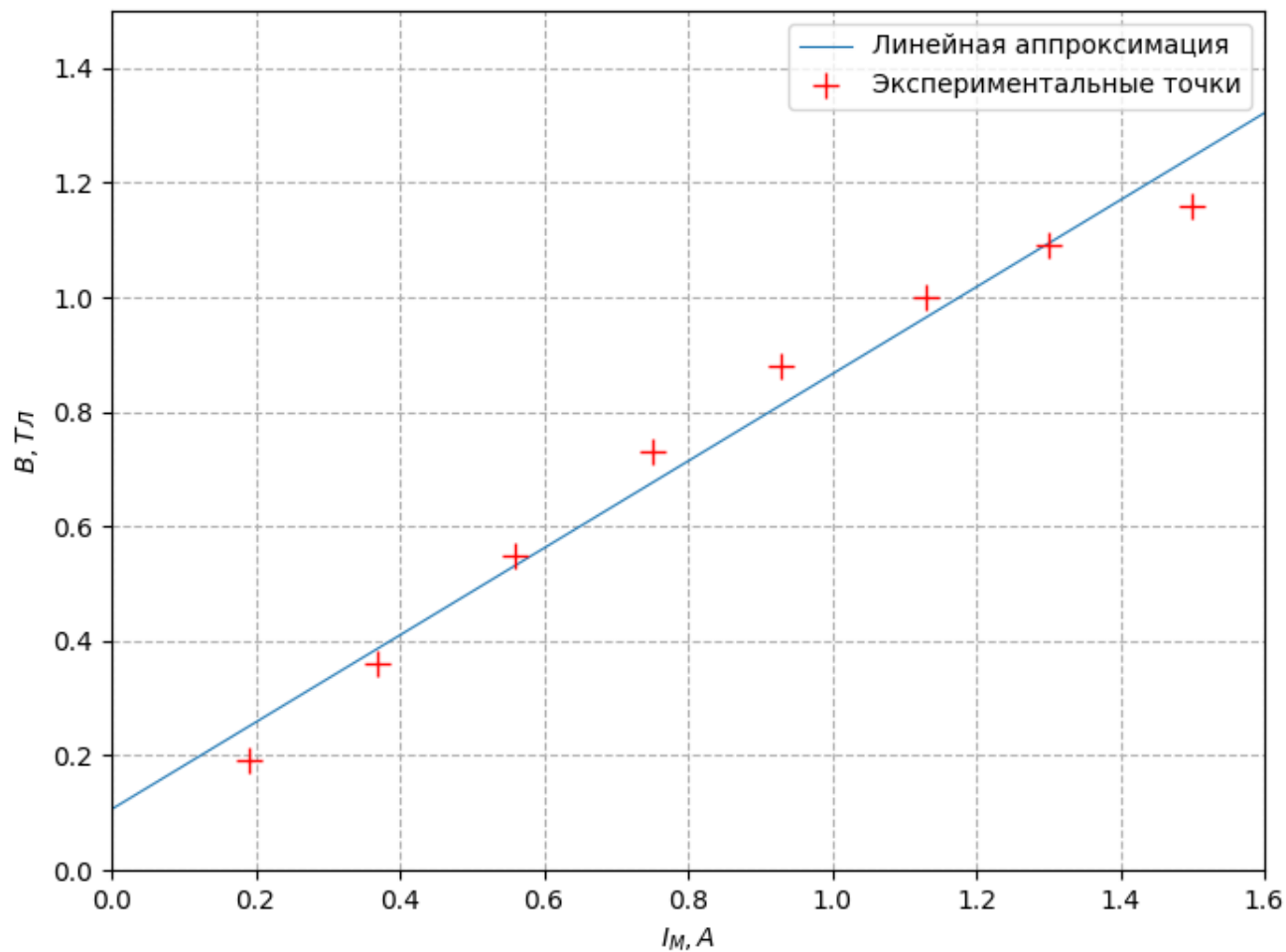


Рис. 2: График зависимости V от I_M

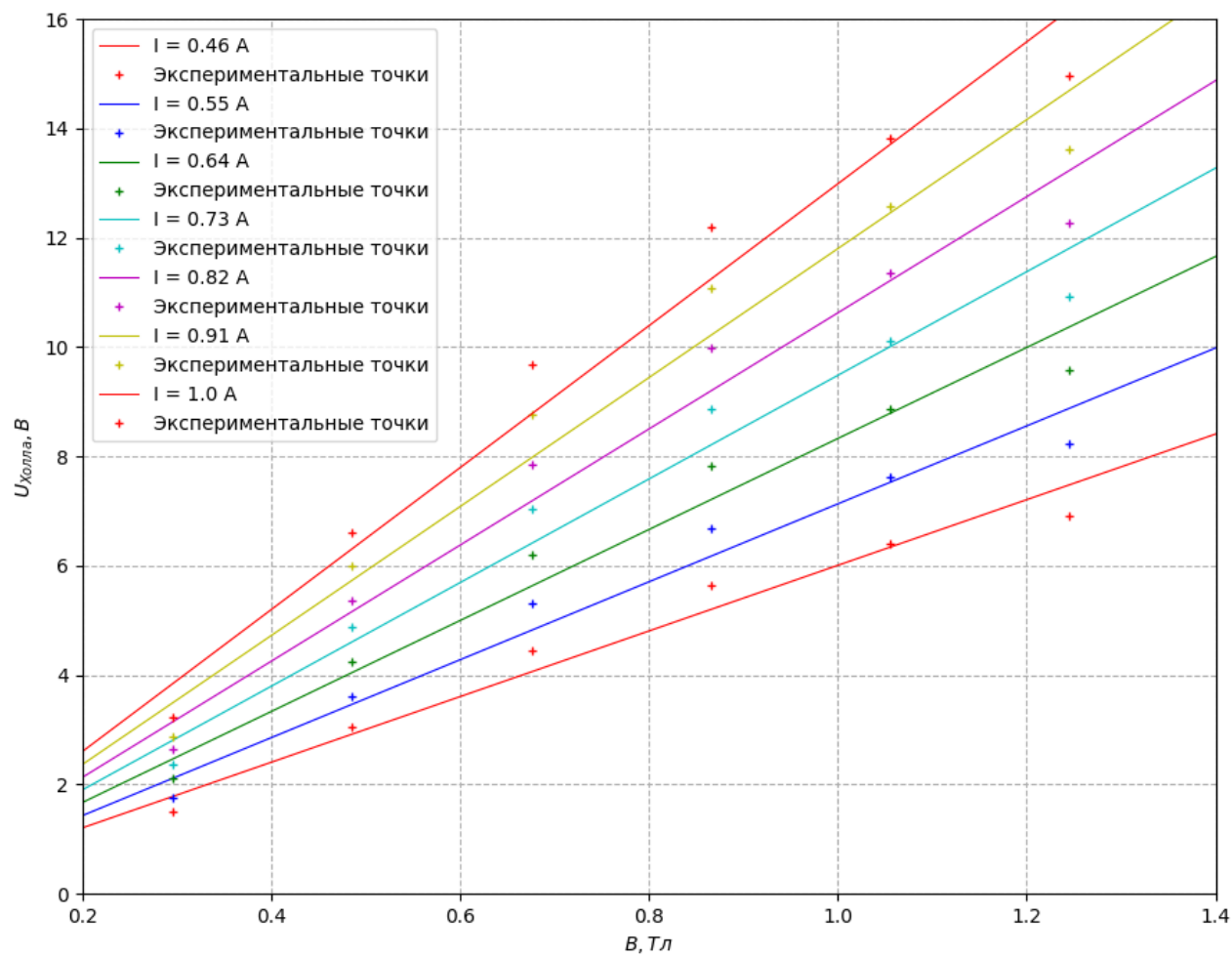


Рис. 3: График зависимости U_{34} от B

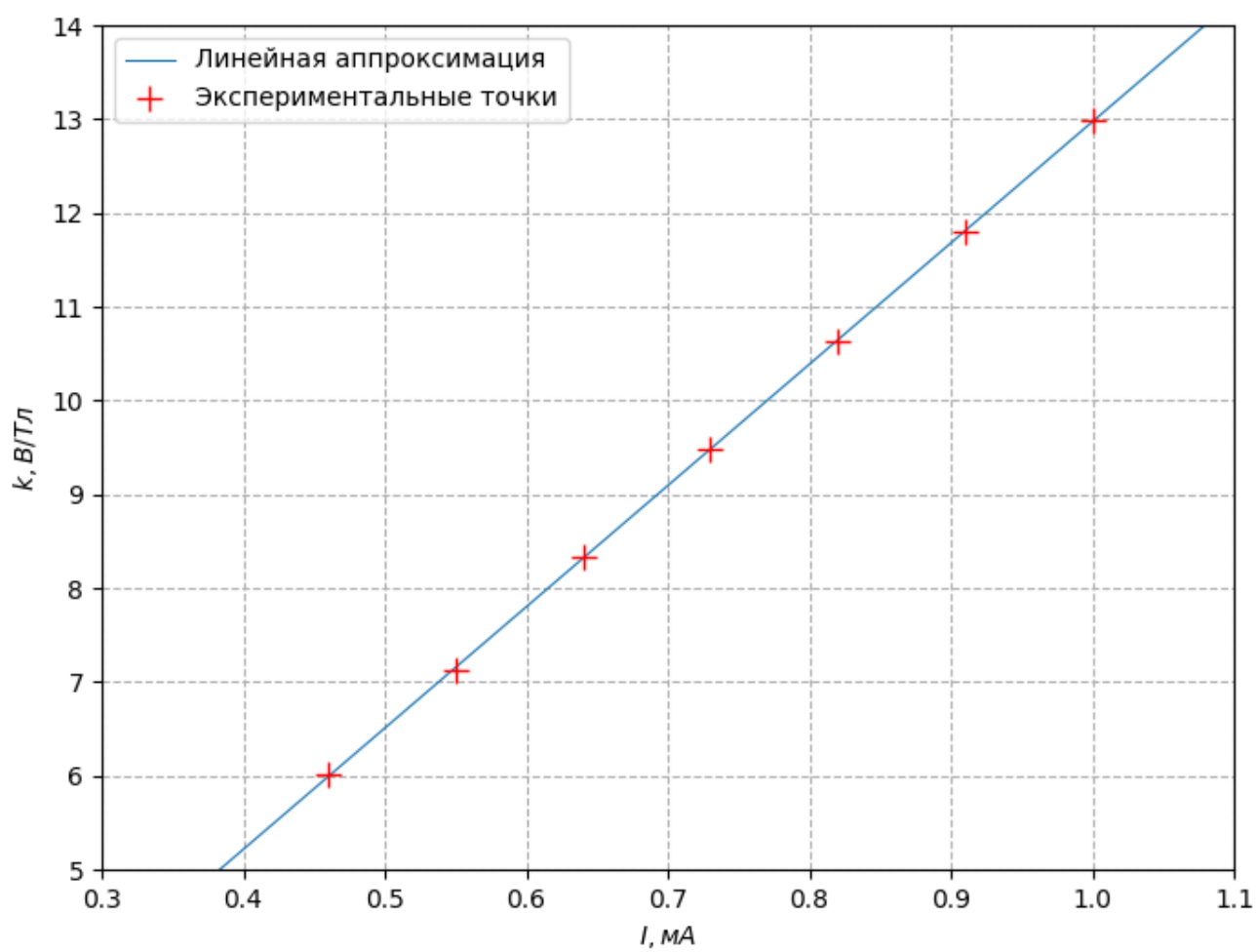


Рис. 4: График зависимости k от I