

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

Кафедра общей физики

Морозова Фаина Владимировна

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Измерение характеристик магнитного поля магнитов лабораторных  
работ атомного практикума НГУ**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №20302

**Научный руководитель:**

В. М. Борин

Оценка научного руководителя

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума**

А. А. Инжеваткина

Оценка преподавателя практикума

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

К.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск 2021

## **Аннотация**

Целью работы являлось установление распределения магнитного поля и определение его однородности в постоянном магните, используемом в лабораторных работах атомного практикума. А также, измерение зависимости магнитного поля от тока в электромагните и определение, насколько эта зависимость линейна. Для этой цели был использован миллитесламетр - портативный универсальный ТПУ, работа которого основана на измерении магнитной индукции с использованием преобразователей Холла. Для проведения измерений магнитного поля постоянного магнита щуп измерительного прибора был закреплен на конструкцию, состоящую из двух подвижек с ходом 200 мм. Управление подвижками шло через ПК. На основе показаний прибора и его положения были построена картина распределения магнитного поля. А для измерения магнитного поля электромагнита, был зафиксирован измеритель в месте установки излучающей лампы. Ориентация щупа выбиралась по максимальным показаниям измерения магнитного поля. На основании полученных данных, построен график зависимости магнитного поля от тока.

Ключевые слова: распределение магнитного поля, однородность магнитного поля, зависимость магнитного поля от тока, миллитесламетр - портативный универсальный ТПУ, эффект Холла, эффект Зеемана.

## **Оглавление**

Введение.....	4
Основная часть .....	5
Теоретические сведения .....	5
Практическая часть .....	10
Список литературы .....	19

## Введение

### Эффект Зеемана

В 1896 г. П. Зееман обнаружил, что, если поместить источник света между полюсами электромагнита, то спектральные линии источника расщепляются на несколько компонент. Расщепление уровней энергии и спектральных линий во внешнем магнитном поле получило название эффекта Зеемана. Исследование этого явления по спектральным линиям атомов представляет собой один из важных методов определения характеристик их уровней энергии, облегчает интерпретацию сложных спектров, позволяет получать ценные сведения о магнитных свойствах атома, а также магнитных полях в источниках излучения. Эффект Зеемана заключается в том, что при помещении источника света в магнитное поле уровни энергии излучающих атомов, а соответственно и их спектральные линии расщепляются в множество компонент:

$$\Delta\lambda = \frac{\mu_B B}{2\pi c \hbar} \lambda^2 (m_2 g_2 - m_1 g_1)$$
$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)},$$

Где  $\Delta\lambda$  – отстройка от нерасщепленной спектральной линии,  $B$  – внешнее магнитное поле,  $\hbar$  – постоянная Планка,  $\mu_B$  – магнетон Бора,  $m_i$  – магнитное квантовое число,  $L$ ,  $S$ ,  $J$  – квантовые числа обозначающие терм. Возможны только такие переходы между подуровнями, принадлежащими разным уровням, при которых выполняются правила отбора для квантового числа  $m_z$ :

$$\Delta m_z = 0, \pm 1$$

Отметим, что компоненты, соответствующие  $\Delta m_z = 0$ , называют  $\pi$ -компонентами, а  $\Delta m_z = \pm 1$  –  $\sigma$ -компонентами. При наблюдении перпендикулярно магнитному полю присутствуют обе компоненты. При наблюдении же вдоль магнитного поля, наблюдаются только  $\sigma$ -компоненты. [1]

Эффект Зеемана рассматривается в двух работах атомного практикума ФФ НГУ. Для наблюдения эффекта Зеемана необходимо хорошее качество магнитного поля в месте установки излучателя, поскольку неоднородность поля может привести к «расплыванию» расщепленных линий. А наличие поперечной компоненты поля будет приводить к тому, что при наблюдении эффекта вдоль магнитного поля будут наблюдаться не только  $\sigma$ -компоненты.

Цель данной работы – исследование характеристик магнитных полей используемых в атомном практикуме НГУ в работах по исследованию эффекта Зеемана.

Задачи, поставленные в работе:

- 1) измерение пространственного распределения магнитного поля в постоянном магните;
- 2) измерение зависимости магнитного поля от тока в электромагните.

## Основная часть

### 1. Теоретические сведения

#### 1.1 Постоянные магниты. Электромагниты. Измерение магнитного поля.

##### Измерения магнитного поля и индукции

Внешнее магнитное поле, как известно, можно создать двумя способами: во-первых, с помощью проволочной катушки при пропускании через нее тока и, во-вторых, с помощью постоянного магнита или электромагнита.

##### Постоянные магниты

**Постоянный магнит** — изделие из магнитотвёрдого материала с высокой остаточной магнитной индукцией, сохраняющее состояние намагниченности в течение длительного времени. Постоянные магниты изготавливаются различной формы и применяются в качестве автономных (не потребляющих энергии) источников магнитного поля.

Свойства магнита определяются характеристиками размагничивающего участка петли магнитного гистерезиса материала магнита: чем выше остаточная индукция  $B_r$  и коэрцитивная сила  $H_c$ , тем выше намагниченность и стабильность магнита.

Индукция постоянного магнита  $B_d$  не может превышать  $B_r$ : равенство  $B_d = B_r$  возможно лишь в том случае, если магнит представляет собой замкнутый магнитопровод, то есть не имеет воздушного промежутка, однако, постоянные магниты, как правило, используются для создания магнитного поля в воздушном (или заполненном другой средой) зазоре, в этом случае  $B_d < B_r$ , величина разности зависит от формы магнита и свойств среды. [2]

##### Электромагниты

**Электромагнит** — устройство, создающее магнитное поле при прохождении электрического тока через него. Обычно электромагнит состоит из обмотки и ферромагнитного сердечника, который приобретает свой-

ства магнита при прохождении по обмотке электрического тока. В электромагнитах, предназначенных, прежде всего, для создания механического усилия также присутствует якорь (подвижная часть магнитопровода), передающий усилие.

Обмотку электромагнитов изготавливают из изолированного алюминиевого или медного провода, хотя есть и сверхпроводящие электромагниты. Магнитопроводы изготавливают из магнитно-мягких материалов — обычно из электротехнической или качественной конструкционной стали, литой стали и чугуна, железо-никелевых и железо-кобальтовых сплавов. Для снижения потерь на вихревые токи (токи Фуко) магнитопроводы выполняют из набора листов.

Выделяют три типа электромагнитов по способу создания магнитного потока.

### **Нейтральные электромагниты постоянного тока**

Постоянный магнитный поток создается постоянным током в обмотке таким образом, что сила притяжения зависит только от величины и не зависит от направления тока в обмотке.

### **Поляризованные электромагниты постоянного тока**

Присутствуют два независимых магнитных потока — рабочий и поляризующий. Первый создается рабочей (или управляющей) обмоткой. Поляризующий поток чаще всего создается постоянными магнитами, иногда дополнительными электромагнитами и используется для обеспечения наличия притягивающей силы при выключенной рабочей обмотке. В целом действие такого магнита зависит как от величины, так и от направления электрического тока в рабочей обмотке.

### **Электромагниты переменного тока**

В этих магнитах питание обмотки осуществляется от источника переменного тока, магнитный поток периодически изменяется по величине и направлению, а однонаправленная сила притяжения меняется только по величине, в результате чего сила притяжения пульсирует от нуля до максимального значения с удвоенной частотой по отношению к частоте питающего тока. Широко применяют в электротехнике, начиная от бытовой техники до плит электромагнитных для станков, при магнитопорошковом методе неразрушающего контроля. [3]

## 1.2 Эффект Холла

Американский физик Эдвин Герберт Холл в 1879 г. впервые описал явление, впоследствии названное его именем. Явление, открытое Холлом, состоит в том, что в проводнике с током, помещенном в магнитное поле, перпендикулярном направлению тока, возникает электрическое поле в направлении, перпендикулярном направлениям тока и магнитного поля. Наиболее важным применением эффекта Холла является определение концентрации носителей заряда в материалах, проводящих электрический ток, в частности, в полупроводниках, у которых концентрацию носителей зарядов можно произвольно изменить, например, за счет введения примесей. Обратимся к чисто примесному полупроводнику, для определенности электронному. Схема, иллюстрирующая возникновение эффекта Холла, изображена на рис. 1.

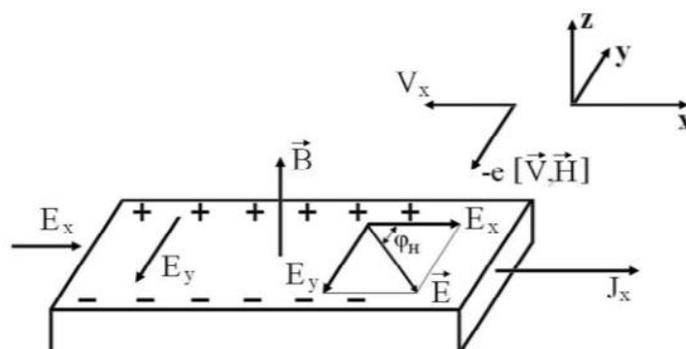


Рис.1 Схема возникновения эффекта Холла при действии силы Лоренца на движущиеся электроны

К образцу прямоугольной формы, расположенному по длине вдоль оси X, приложено электрическое поле E, вызывающее электрический ток плотностью

$$j_x = env_x = \sigma E_x,$$

где e – абсолютная величина заряда электрона;

n – концентрация электронов в объеме полупроводника,

$v_x$  – средняя скорость упорядоченного движения (дрейфа) электронов,

s – удельная электропроводность .

Образец помещен в магнитное поле B, параллельно оси Z. В результате действия на движущиеся носители силы Лоренца  $F = -e[\vec{v}_x \vec{B}]$  электроны отклоняются в отрицательном направлении оси Y (дрейфовая скорость электронов  $\vec{v}_x$  направлена против тока) и скапливаются у боковой (передней) грани образца. Их накопление идет до тех пор, пока поперечное электрическое поле (поле Холла) не компенсирует поле силы Лоренца в направлении оси Y.

Вследствие появления поперечного поля Холла  $E_y$  результирующее электрическое поле в образце конечных размеров будет повернуто относительно оси X на некоторый угол  $\varphi_H$  (угол Холла), а ток будет идти лишь в направлении оси X. Как видно из рис. 1, угол определяется при этом соотношением:

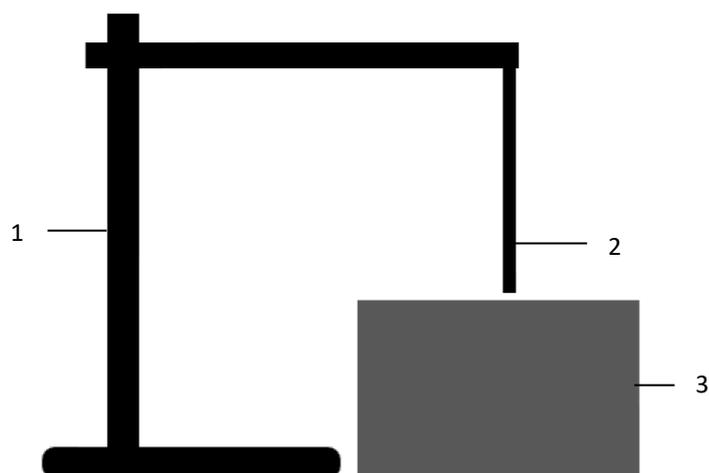
$$\operatorname{tg} \varphi_H = \frac{E_y}{E_x} = \mu B,$$

где  $\mu$  – дрейфовая подвижность. [4]

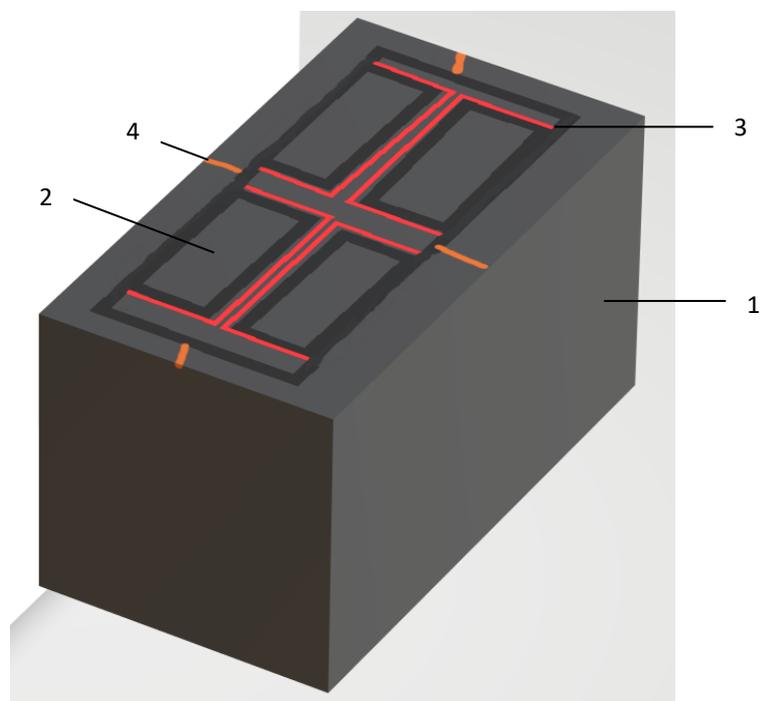
## 2. Практическая часть

### 2.1 Экспериментальная установка

Для проведения измерений магнитного поля щуп измерительного прибора был закреплен на конструкцию, состоящую из двух подвижек с ходом 200 мм. Управление подвижками шло через ПК. (Рис.2)



**Рис.2** 1- подвижки, 2- щуп измерительного прибора, 3- магнит



**Рис.3** 1- магнитопровод, 2- постоянные магниты, 3- пластины, прижимающие магниты к магнитопроводу, 4- отверстие в центре магнита для вывода излучения



Пределы дополнительной погрешности  $\Delta_{доп}$ , %, в диапазоне частот от 1 до 5 кГц:

- $\Delta_{доп} = \pm[5,0 \cdot (f - 1)]$ , где  $f$  – частота измеряемого магнитного поля в кГц. [5]

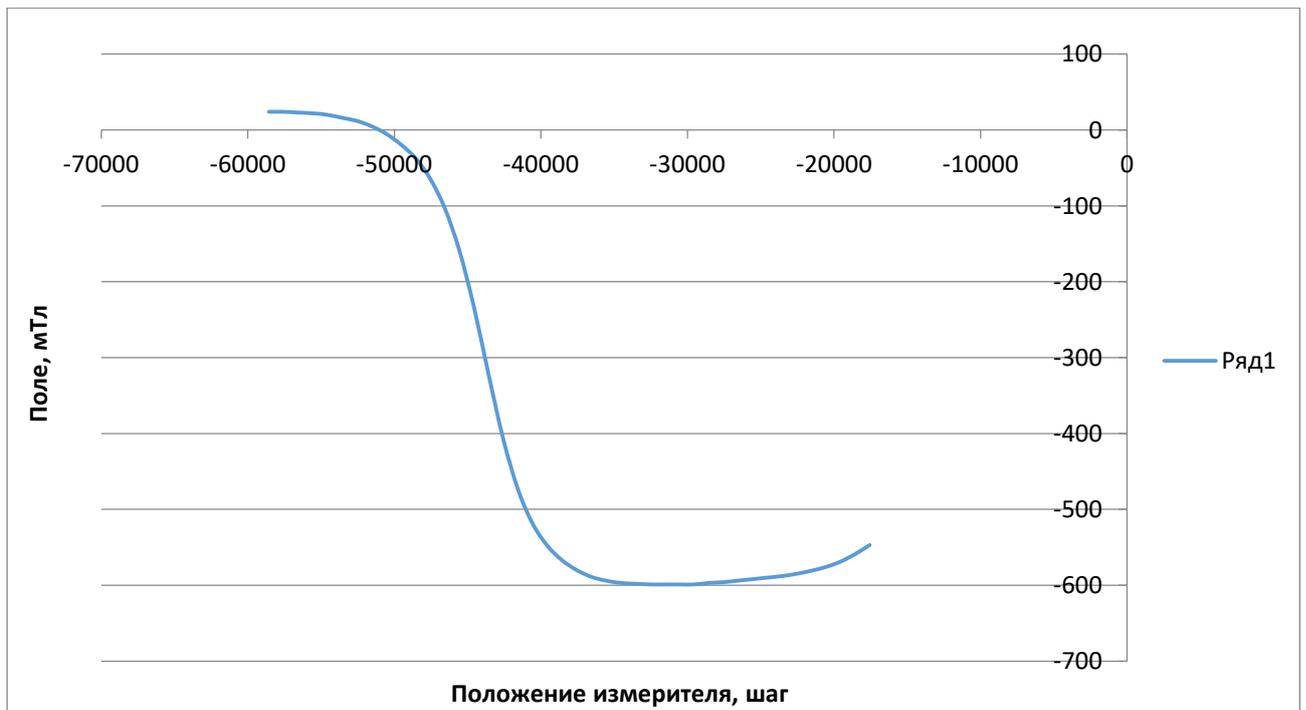


Рис.4 Миллитесламетр портативный универсальный ТПУ

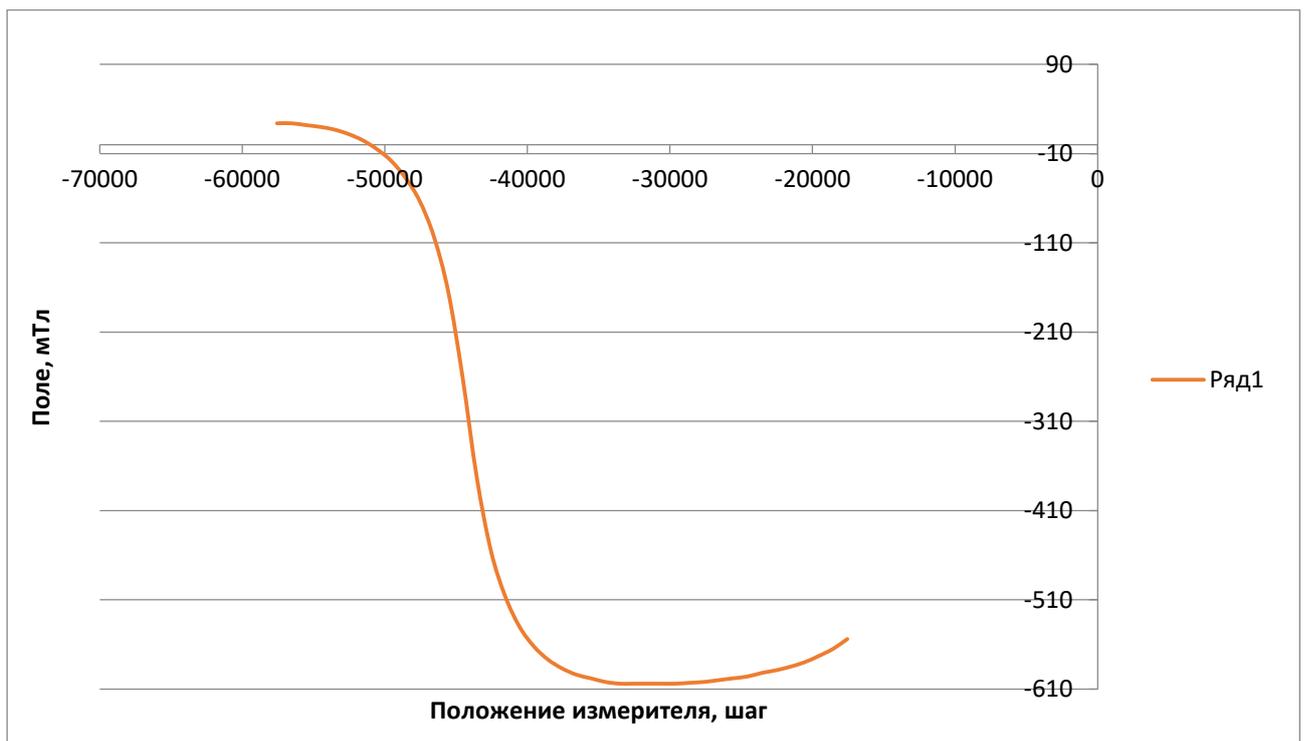
## 2.2 Результаты измерений

### 2.2.1 Постоянный магнит

Сначала измерение продольной компоненты магнитного поля производилось от условного положения прибора. Далее было найдено фактическое положение измерителя в пространстве. Построены графики (Рис. 5,6), на которых отображается распределение продольной компоненты магнитного поля. Отрицательное значение магнитного поля на рис. 5,6 связано его с направлением относительно щупа. А также была измерена поперечная компонента магнитного поля.



**Рис.5** Измерение продольной компоненты магнитного поля от условного положения  $x=8386$ , координата  $x$  соответствует центру магнита.



**Рис.6** Измерение вдоль магнитного поля от условного положения  $x=6229$ .

Найдены координаты в пространстве, пересчетом шагов в миллиметры.

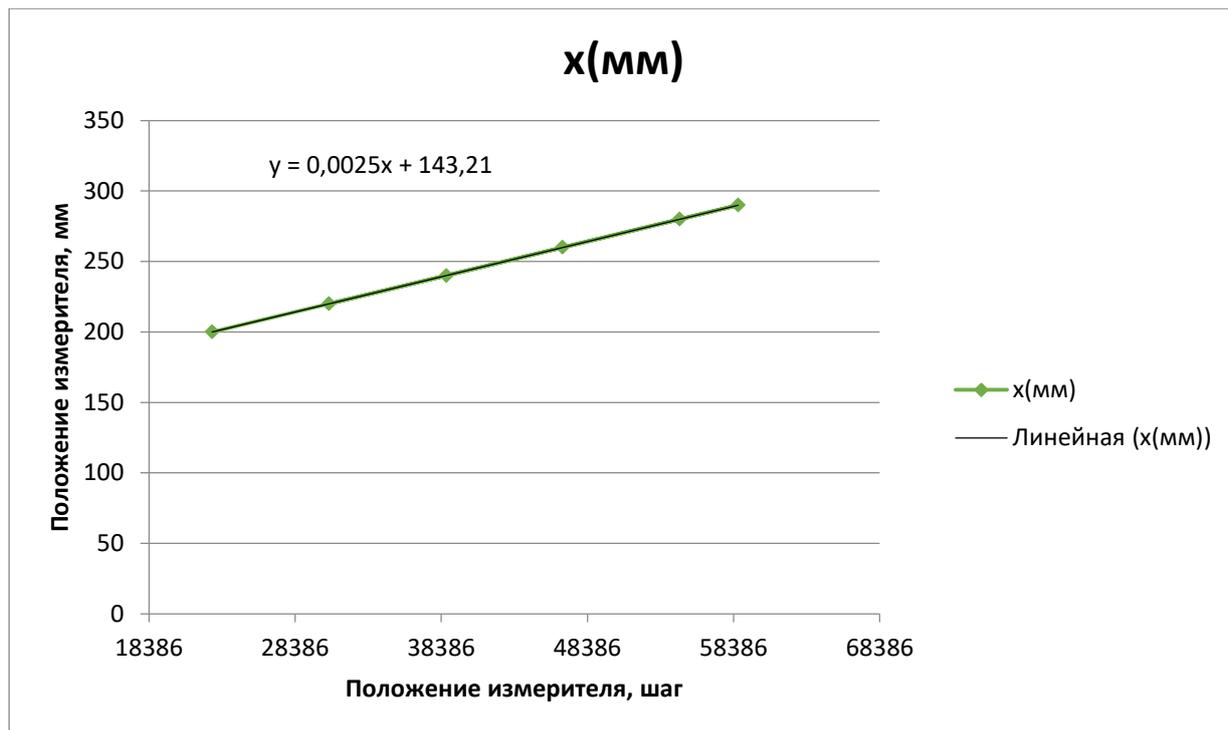


Рис.7 Координаты в пространстве по оси  $x$ .

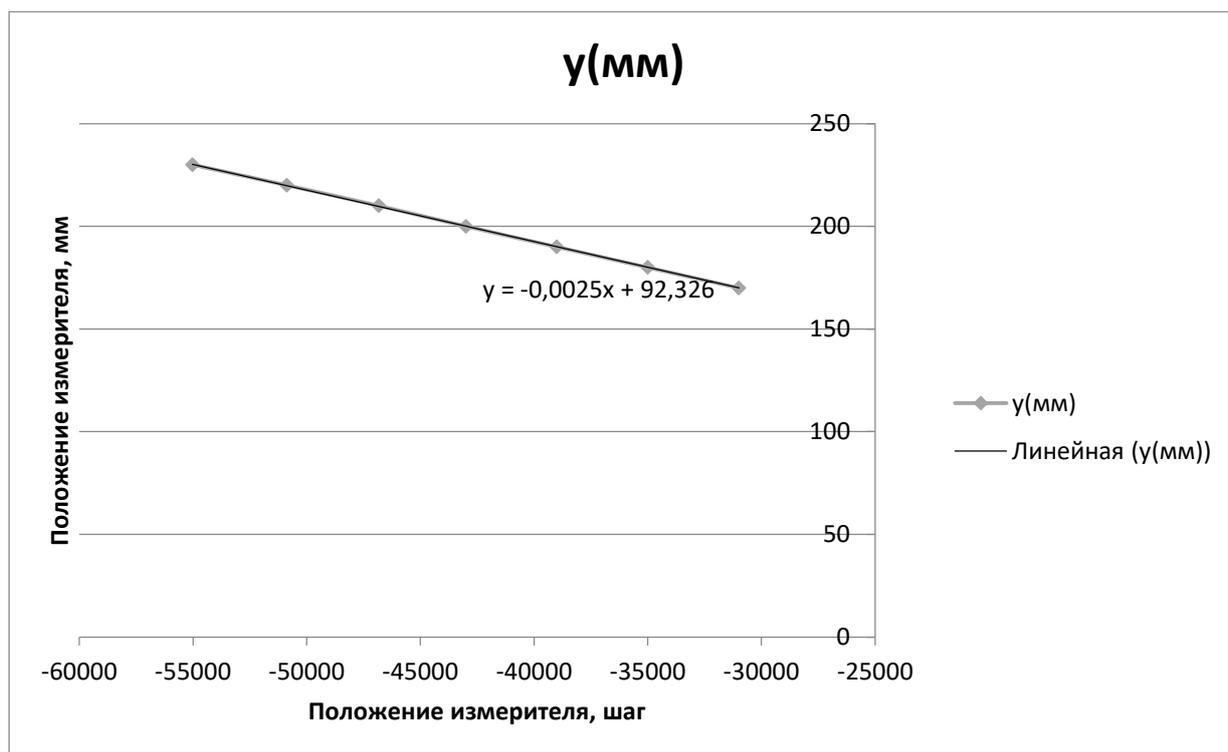
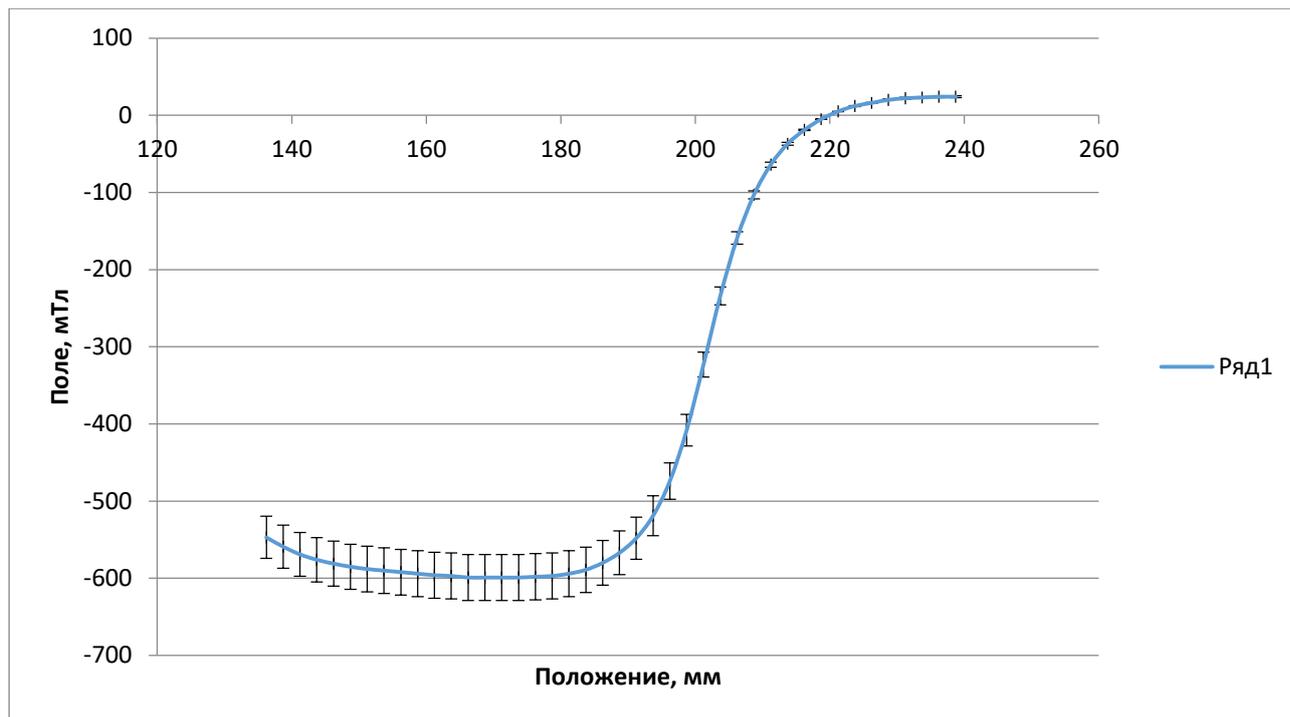
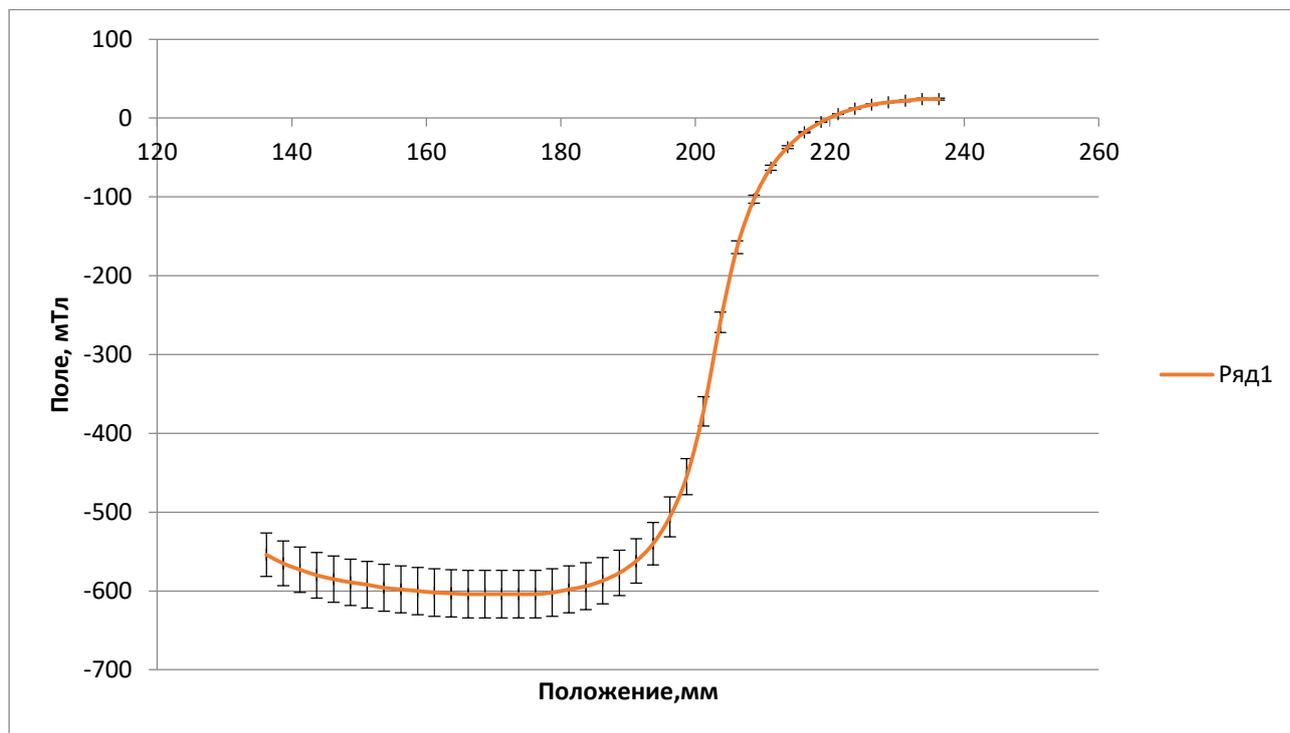


Рис.8 Координаты в пространстве по оси  $y$ .

## Пересчитанные графики



**Рис.9** Измерение вдоль магнитного поля от фактического положения  $x=71,362$ мм с погрешностью 5%, координата  $x$  соответствует центру магнита.



**Рис.10** Измерение вдоль магнитного поля от фактического положения  $x=76,7535$ мм с погрешностью 5%.

Примеры измерений, изображенные выше, были использованы для построения графика (Рис. 11). На рисунке цветом показано распределение магнитного поля.

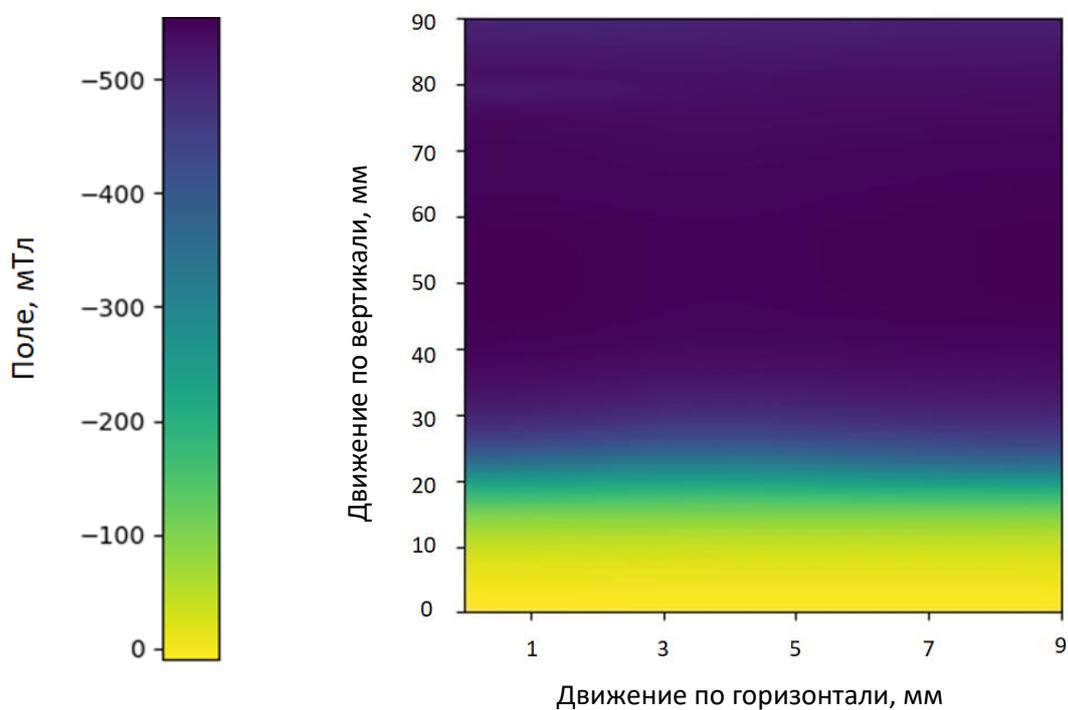


Рис. 11 Распределение магнитного поля.

Измерение поперечной компоненты магнитного поля.



Рис.12 Измерение поперечной компоненты магнитного поля.

Из рисунка 12 можно заключить, что поперечная компонента поля по амплитуде не превышает 2% от амплитуды продольной компоненты. Таким образом, влияние поперечной компоненты при наблюдении эффекта Зеемана вдоль поля не должно внести существенного влияния.

## 2.2.2 Электромагнит

Измерения магнитного поля электромагнита производилось в две стороны для того, чтобы выявить наличие гистерезиса.

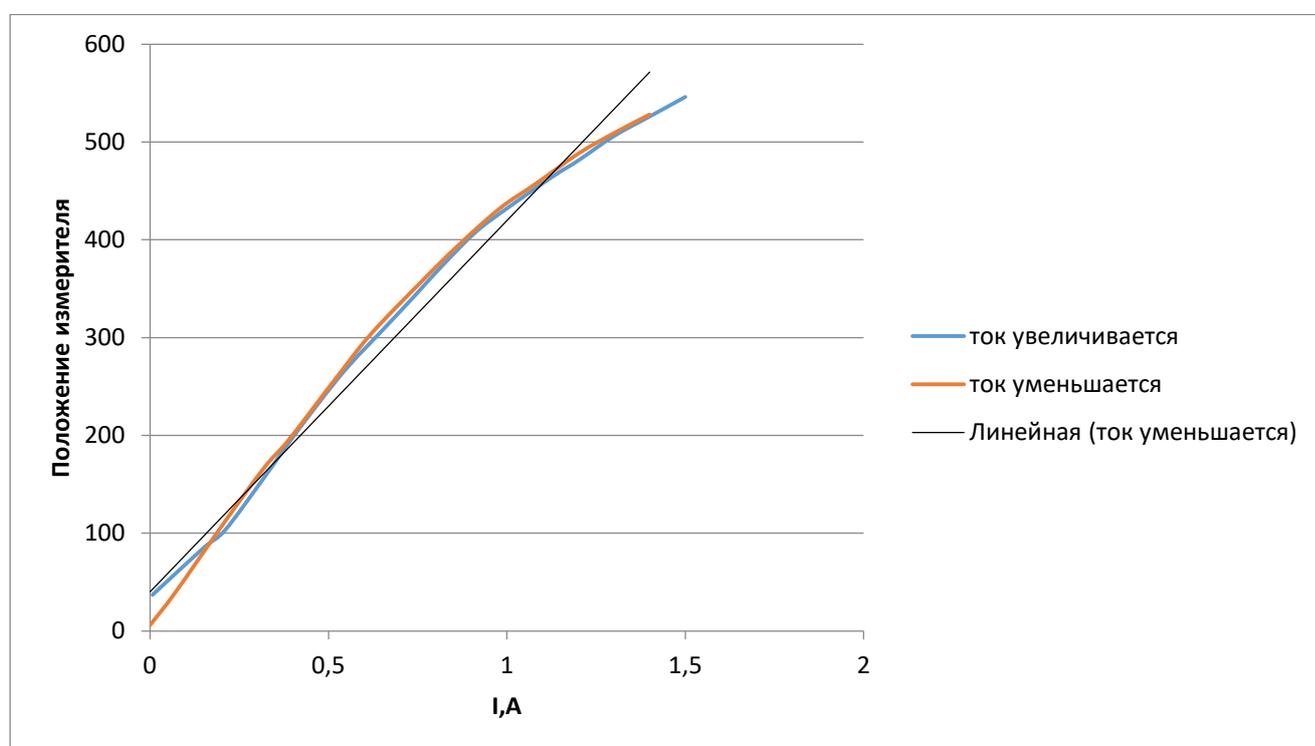


Рис.13 Измерение поперек магнитного поля в электромагните.

По графику (Рис. 13) видно, что зависимость тока от магнитного поля линейна, но существует небольшое отклонение не превышающее 10%, возможно, уходит в насыщение.

## Заключение

Таким образом, мы исследовали характеристики магнитных полей используемых в атомном практикуме НГУ в работах по исследованию эффекта

Зеемана. Измерив магнитное поле в постоянном магните, построили распределение поля и установили, что поле имеет большую область однородности с размерами порядка  $4 \times 0.8$  см (область с отклонением поля не более 3%). А также мы определили зависимость магнитного поля от тока в электромагните.

## Список Литературы

[1] «Atomlab\_Labwork\_2-1»

[2] ««Постоянные Магниты Справочник» / Под Ред. Ю. М. Пятина. — М.: Энергия, 1980»

[3] «Гершун А. Л.,. Электромагнит // Энциклопедический Словарь Брокгауза И Ефрона : В 86 Т. (82 Т. И 4 Доп.). — Спб., 1890—1907.»

[4] «Эффект Холла: Учебно-Методическое Пособие Для Студентов Специальностей 1-38 02 01 «Информационно-Измерительная Техника», 1-38 02 03 «Техническое Обеспечение Безопасности» /С.А. Манего, Ю.А. Бумай, В.В. Черный. – Минск: Бнгу, 2016. – 19 С.»

[5] «Миллитесламетр Портативный Универсальный Тпу Паспорт Цекв.411171.001пс»