

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Мещанинов Григорий Андреевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Определение магнитной проницаемости гадолиния в лабораторной
работе 4.5 методом сравнения с известным ферромагнетиком**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19312

Научный руководитель:

А. С. Матвеев

Оценка научного руководителя

« _____ » _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к.ф.-м.н. И. А. Иванов

Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В. Т. Астрелин

Итоговая оценка

« _____ » _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью данной работы являлось определение магнитной проницаемости гадолиния методом сравнения с известным ферромагнетиком ферритом. Для этого с помощью установки для измерения зависимости магнитной восприимчивости от температуры были сняты напряжения на вторичной катушке сначала при помещенном внутрь феррите, а затем при помещенном внутрь гадолинии. С помощью установки для нахождения зависимости магнитной индукции внутри вещества от магнитной индукции поля получена петля гистерезиса и определена магнитная проницаемость феррита. Измерены геометрические размеры гадолиния и феррита с помощью линейки. С использованием напряжений и размеров феррита и гадолиния, а также магнитной проницаемости феррита, вычислена магнитная проницаемость гадолиния.

Ключевые слова: ферромагнетик, феррит, гадолиний, магнитная проницаемость.

Оглавление

1. Введение.....	4
2. Экспериментальные установки.....	5
2.1. Экспериментальная установка для нахождения зависимости магнитной восприимчивости от температуры.....	5
2.2. Экспериментальная установка для нахождения зависимости магнитной индукции внутри вещества от магнитной индукции поля.....	7
Установка для нахождения зависимости магнитной индукции внутри вещества от магнитной индукции поля представлена на рис. 2. и рис. 3.	7
3. Экспериментальная часть.....	10
3.1. Измерение объемов феррита и гадолиния	10
3.2. Измерение магнитной проницаемости феррита.....	10
3.3. Измерение напряжений на вторичной катушке	11
4. Обработка результатов и выводы	11
5. Заключение.....	12
6. Список Литературы.....	13

1. Введение

Все магнетики в зависимости от выраженности магнитных свойств делятся на сильномагнитные и слабомагнитные. Выделяют диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики, причем первые два относятся к слабомагнитным веществам, а последние являются сильномагнитными веществами. Ферромагнетики отличаются от диамагнетиков и парамагнетиков наличием самопроизвольной или спонтанной намагниченности, когда внешнее магнитное поле отсутствует. Данный факт говорит об упорядоченной ориентации электронных спинов и магнитных моментов. Также слабо- и сильномагнитные вещества отличаются величиной магнитной проницаемости.

Физические свойства ферромагнетиков объясняют их широкое применение в технике. Они обладают высокой магнитной проницаемостью, магнитной восприимчивостью и намагниченностью. Магнитная проницаемость (*коэффициент, характеризующий связь между магнитной индукцией и напряжённостью магнитного поля в веществе*) материала — это способность материала поддерживать формирование магнитного поля внутри себя. Она также известна как степень намагниченности (отклик на внешнее магнитное поле). Магнитная проницаемость ферромагнетиков во много раз превышает проницаемость вакуума. В связи с этим все электротехнические устройства, в которых используются магнитные поля для преобразования одного вида энергии в другой, имеют специальные элементы, выполненные из ферромагнитного материала, способного проводить магнитный поток. Магнитная восприимчивость (*физическая величина, характеризующая связь между магнитным моментом (намагниченностью) вещества и магнитным полем в этом веществе*) ферромагнетиков положительна и значительно больше единицы. Намагниченность (*векторная физическая величина, характеризующая магнитное состояние макроскопического физического тела*) ферромагнетика имеет пределы насыщения и значительно изменяется в процессе воздействия внешних факторов таких, как магнитное поле, деформация и температура. Для

ферромагнетиков также характерно такое явление, как гистерезис (*отставание магнитной индукции от напряженности магнитного поля*).

В магнитном отношении все ферромагнетики делят на мягкие и жесткие. Первые из них имеют высокую магнитную проницаемость и способны легко намагничиваться и размагничиваться. Они имеют широкое применение в электротехнических приборах, основанных на работе переменных полей, например, трансформаторы, электродвигатели, генераторы, слаботочную технику связи, радиотехнику. Жесткие ферромагнетики имеют сравнительно небольшую проницаемость и намагничиваются трудно. Их используют при производстве постоянных магнитов, которые применяют для изготовления электроизмерительных приборов, громкоговорителей, телефонов, звукозаписывающей аппаратуры, магнитных компасов.

Целью данной курсовой работы являлось определение магнитной проницаемости гадолиния методом сравнения с известным ферромагнетиком ферритом.

Для достижения поставленной цели необходимо было определить напряжение на вторичной катушке и размеры для феррита и гадолиния, рассчитать магнитную проницаемость феррита и на основании этих данных вычислить магнитную проницаемость гадолиния.

2. Экспериментальные установки

2.1. Экспериментальная установка для нахождения зависимости магнитной восприимчивости от температуры

Схема экспериментальной установки для нахождения зависимости магнитной восприимчивости от температуры представлена на рис. 1.

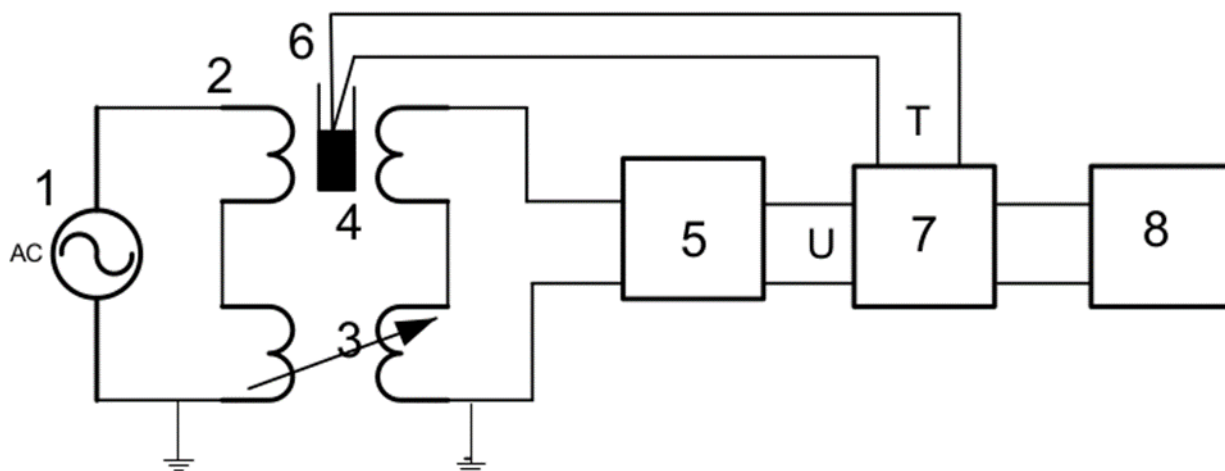


Рис. 1. Схема установки для измерения зависимости магнитной восприимчивости от температуры: 1 – генератор низкой частоты; 2 – катушка взаимной индуктивности; 3 – магазин взаимной индуктивности; 4 – пробирка с образцом; 5 – селективный усилитель; 6 – термопара; 7 – блок регистрации; 8 – персональный компьютер

Ток от генератора низкой частоты **1** поступает в последовательно соединенные первичные обмотки катушки взаимной индуктивности **2** и магазина взаимной индуктивности **3**. Вторичные обмотки катушки и магазина индуктивности включены встречно, поэтому возникающие в них ЭДС вычитаются. При оптимальной настройке катушек индуктивности (при равенстве коэффициентов взаимной индуктивности) без образца выходное напряжение дифференциального трансформатора должно быть равно нулю.

Если исследуемый образец **4** поместить внутрь катушки, то ЭДС во вторичной обмотке увеличится, и на выходе дифференциального трансформатора появится напряжение, величина которого пропорциональна магнитной восприимчивости образца. Это напряжение поступает на вход селективного усилителя **5** и измеряется встроенным в усилитель вольтметром. Селективный (избирательный) усилитель имеет высокий коэффициент усиления только в том случае, если он достаточно точно настроен на частоту генератора, что необходимо учитывать при подготовке установки к работе.

В катушке находится нагреватель, подключенный к источнику постоянного тока (на схеме не показан). Температура измеряется хромель–алюмелевой термопарой **6**, помещенной в пробирку с исследуемым веществом. Регистрация температурной зависимости магнитной восприимчивости производится блоком регистрации **7** и отображается на экране монитора ПК **8**.

Магнитное поле создается током в первичной обмотке. Индукция магнитного поля и как следствие напряжение на вторичной обмотке катушки зависит от геометрических размеров образца (ферромагнетика), если его размеры меньше размеров катушки.

При внесении в катушку ферромагнетика с площадью сечения меньше площади сечения катушки, индукция магнитного поля увеличивается только в сечении ферромагнетика, значит напряжение линейно зависит от площади сечения ферромагнетика.

При внесении в катушку ферромагнетика меньшей длины, чем длина катушки, ферромагнетик «входит» не во все витки катушки, в следствии чего индукция магнитного поля учитывается только на длине ферромагнетика, значит напряжение линейно зависит от длины ферромагнетика.

2.2. Экспериментальная установка для нахождения зависимости магнитной индукции внутри вещества от магнитной индукции поля

Установка для нахождения зависимости магнитной индукции внутри вещества от магнитной индукции поля представлена на рис. 2. и рис. 3.

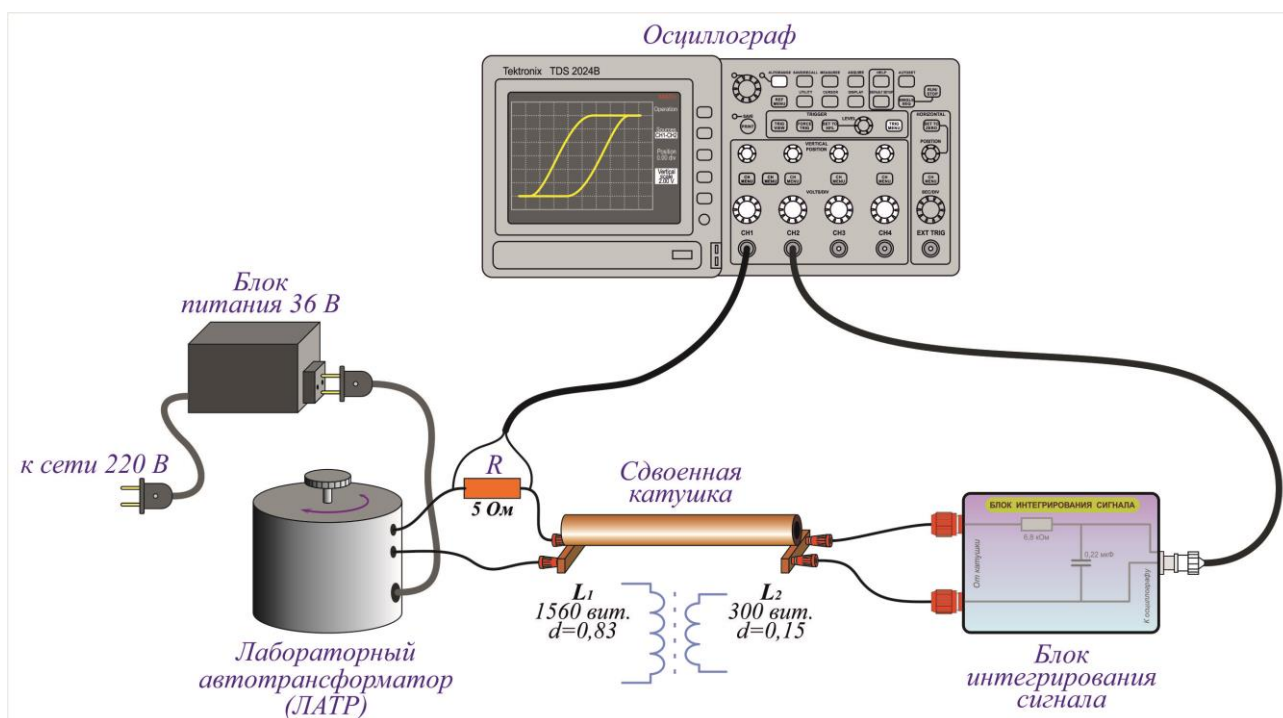


Рис. 2. Установка для нахождения зависимости магнитной индукции внутри вещества от магнитной индукции поля

Или схематично:

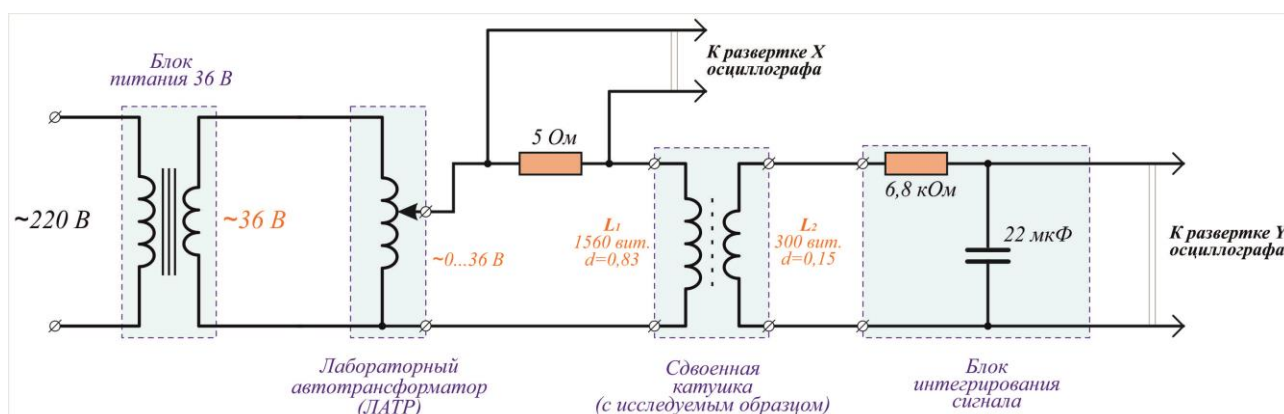


Рис. 3. Схема установки для нахождения зависимости магнитной индукции внутри вещества от магнитной индукции поля

Исследуемый образец помещается в длинную катушку L_1 (соленоид), через которую протекает ток I_1 . Величина поля H , возбуждаемого этим током, равна

$$H = \frac{N_1 I_1}{l}, \quad (1)$$

l — длина соленоида. Если последовательно с первичной обмоткой включить известное сопротивление R_1 , то напряжение, снимаемое с этого сопротивления, будет пропорционально полю H

$$U_X = I_1 R_1 = \frac{R_1 l}{N_1} H. \quad (2)$$

Если это напряжение подать на X вход осциллографа (регистратора), то отклонение луча по горизонтали будет пропорционально полю H.

В средней части соленоида намотана короткая измерительная катушка L_2 с числом витков N_2 , к которой подключена интегрирующая $R_2 C$ цепочка. Из соотношения

$$U_C = -\frac{N_2 S}{R_2 C} B, \quad (3)$$

следует:

$$B = -\frac{R_2 C}{N_2 S} U_C, \quad (4)$$

где S — площадь витка катушки L_2

Если напряжение U_C подать на вход Y осциллографа (регистратора), то на экране осциллографа (монитора) получится зависимость $B(H)$.

Питание установки, предназначенной для изучения свойств ферромагнетиков, осуществляется переменным напряжением с частотой 50 Гц, что позволяет получить на экране осциллографа полную петлю гистерезиса.

Плавное изменение амплитуды тока, а следовательно, и поля H, от 0 до H_{\max} , соответствующего насыщению образца, позволяют по координатам вершины петли получить основную зависимость $B(H)$ и построить график функции дифференциальной магнитной проницаемости от магнитного поля H:

$$\mu(H) = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{dB}{dH}. \quad (5)$$

Константа μ_0 , называемая магнитной постоянной, равна $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Тл} \cdot \frac{\text{А}}{\text{м}}$

Из формул (2), (4) и (5) получаем уравнение для магнитной проницаемости

$$\mu = \frac{R_1 R_2 C I U_C}{\mu_0 N_1 N_2 S U_X} \quad (6)$$

3. Экспериментальная часть

3.1. Измерение объемов феррита и гадолиния

Длина и диаметр цилиндров феррита и гадолиния были измерены при помощи линейки с ценой деления 0,1 см, результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры цилиндров феррита и гадолиния с погрешностями

-	Длина, см	Диаметр, см
Феррит	$4,0 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$
Гадолиний	$1,7 \pm 0,1$	$0,7 \pm 0,1$

3.2. Измерение магнитной проницаемости феррита

При помощи установки, используемой в лабораторной работе 4.4, снята зависимость магнитной индукции поля внутри феррита B от магнитной индукции поля создаваемого током H . График полученной на основании более 6000 регистраций сигнала зависимости представлен на рис. 4.

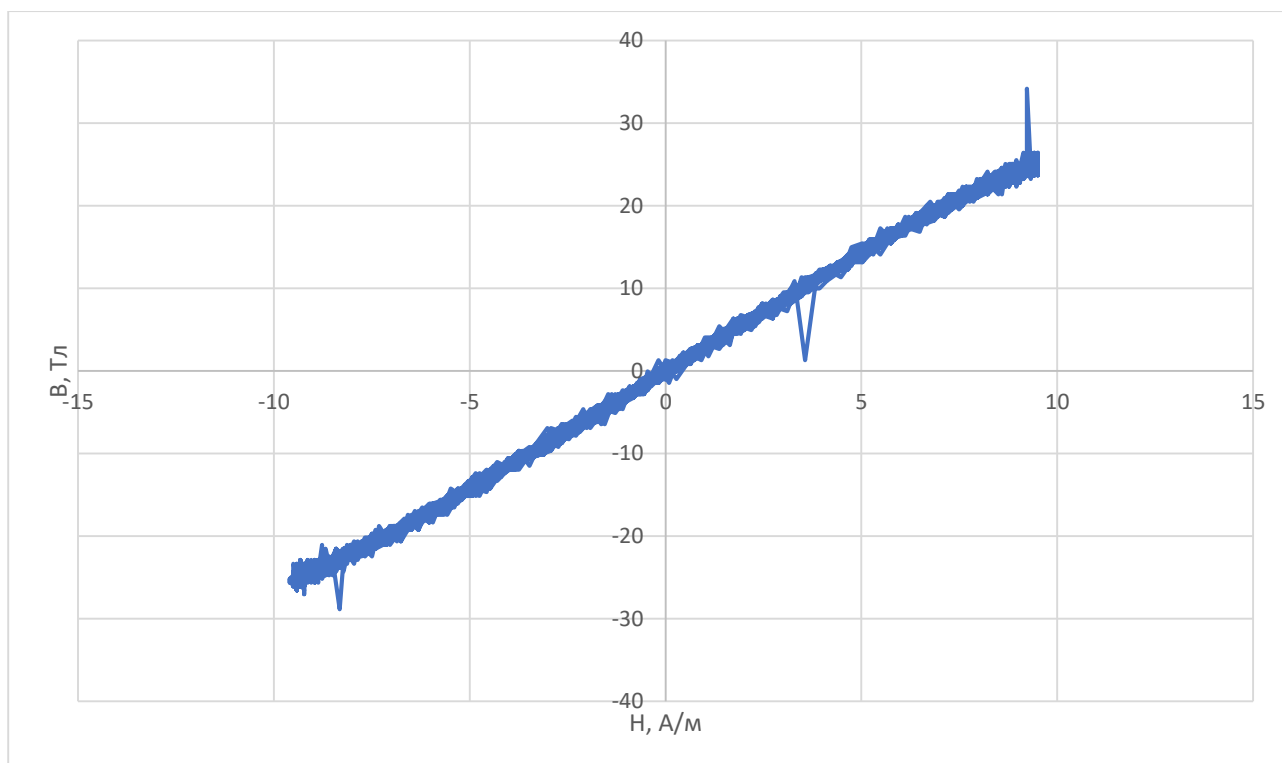


Рис. 4. График зависимости магнитной индукции поля внутри феррита от магнитной индукции поля создаваемого током.

3.3. Измерение напряжений на вторичной катушке

При помощи установки, используемой в лабораторной работе 4.5, сняты напряжения на вторичной катушке при помещенном внутрь феррите при температуре 297,0К, и при помещенном внутрь гадолиния при температуре 275,4К.

Таблица 2. Напряжения на вторичной катушке

-	Феррит	Гадолиний
Напряжение на вторичной обмотке, В	0,2682±0,0004	0,6305±0,0004

4. Обработка результатов и выводы

Длина (l) и диаметр (d) феррита и гадолиния, представленные в таблице 1, были использованы для расчета объемов цилиндров используемых ферромагнетиков.

Расчет проводили по формуле (7)

$$V = l \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4}. \quad (7)$$

Было определено, что $V_{\text{фер}}=1,960\pm 0,313 \text{ см}^3$, а $V_{\text{гад}}=0,833\pm 0,138 \text{ см}^3$.

Магнитную проницаемость феррита высчитывали из данных графика на рис. 4. и формулы (6). Определено, что магнитная проницаемость феррита $\mu = 1420\pm 262$.

Измерение напряжений для феррита и гадолиния проводили при разных температурах, поскольку известно, что при температуре близкой к температуре Кюри свойства ферромагнетика резко меняется. Температура Кюри, или точка Кюри — температура фазового перехода II рода, связанного со скачкообразным изменением свойств симметрии вещества (например, магнитной — в ферромагнетиках). При температуре ниже точки Кюри ферромагнетики обладают самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью и определённой магнитно-кристаллической симметрией. В точке Кюри интенсивность теплового движения атомов ферромагнетика оказывается достаточной для разрушения его самопроизвольной намагниченности («магнитного порядка») и изменения

симметрии, в результате чего ферромагнетик становится парамагнетиком. Поэтому для гадолиния измерения проводили при температуре 275,4К (точка Кюри—292К), а для феррита при температуре в 297,0К (точка Кюри более 373К). Расчет магнитной проницаемости гадолиния ($\mu_{\text{гад}}$) проводили, основываясь на отношении напряжений на вторичной катушке для феррита и гадолиния. Учитывая, что напряжение (U) прямо пропорционально объему (V) и магнитной восприимчивости (χ) (формула (8)), и зависимость магнитной проницаемости (μ) от магнитной восприимчивости (χ) (формула (9)).

$$U \sim V \cdot \chi \quad (8)$$

$$\mu = 1 + 4\pi\chi \quad (9)$$

Из отношения напряжений для двух ферромагнетиков (формула (10))

$$\frac{U_{\text{фер}}}{U_{\text{гад}}} = \frac{V_{\text{фер}} \cdot \chi_{\text{фер}}}{V_{\text{гад}} \cdot \chi_{\text{гад}}} \quad (10)$$

была рассчитана магнитная проницаемость гадолиния по формуле (11),

$$\mu_{\text{гад}} = \frac{(\mu_{\text{фер}} - 1) \cdot V_{\text{фер}} \cdot U_{\text{гад}}}{V_{\text{гад}} \cdot U_{\text{фер}}} + 1, \quad (11)$$

где $\mu_{\text{фер}}$ —магнитная проницаемость феррита, $V_{\text{фер}}$ и $V_{\text{гад}}$ — объемы феррита и гадолиния, соответственно, $U_{\text{фер}}$ и $U_{\text{гад}}$ — напряжения на вторичной катушке для феррита и гадолиния, соответственно.

Было определено, что $\mu_{\text{гад}} = 7850 \pm 4014$.

5. Заключение

Таким образом, в данной работе была определена магнитная проницаемость гадолиния на основании экспериментальных данных по напряжениям на вторичной катушке, объемам используемых образцов гадолиния и феррита, а также магнитной проницаемости феррита. К сожалению проверить рассчитанное значение магнитной проницаемости гадолиния не представляется возможным ввиду отсутствия табличных значений для данного элемента.

6. Список Литературы

1. А. Г. Костюрина, С.А. Бордзиловский, В.В. Максимов, О. Е. Терещенко. Электрические и магнитные свойства твердых тел. Учебно-методическое пособие: НГУ, 2008. - 129 с.
2. Б.А. Князев, В.С. Черкасский. Начала обработки экспериментальных данных. Учебное пособие: НГУ, 1996. – 43 с.
3. <https://wiki.fenix.help/fizika>