

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 16.06.2023 12:39:26

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a3d41c93e27d11eabb79e74564a18511da50009

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра общей и прикладной физики

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСА
В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

Методические указания к выполнению
лабораторной работы № 49
по разделу физики "Электричество и магнетизм"

Курск 2017 г.

УДК 537.8

Составители: Н.М.Игнатенко, П.А. Красных, В.М. Пауков,
А.Г.Беседин

Рецензент

Кандидат физ.-мат. наук, доцент Л.И. Рослякова

Изучение явления гистерезиса в ферромагнетиках: методические указания к лабораторной работе № 49 по разделу физики „Электричество и магнетизм” / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.:

Н.М. Игнатенко, П.А. Красных, В.М. Пауков, А.Г. Беседин,. –
Курск, 2017.– 9 с.: ил. 4, табл. 2. Библиогр.: с.9.

Излагаются методические рекомендации по измерению основных магнитных параметров ферромагнетиков. Содержится краткое теоретическое введение. Указываются порядок выполнения работы, задания и вопросы для контроля знаний.

Методические указания соответствуют требованиям Федеральных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС), Федерального компонента цикла общих математических и естественнонаучных дисциплин, а также рабочим учебным планам и рабочим программам по курсам разделов общей физики всех технических специальностей (направлений) подготовки, а также направления подготовки 03.03.02 Физика.

Предназначены для студентов инженерно-технических специальностей всех форм обучения, а также могут быть рекомендованы для студентов направления подготовки 03.03.02 Физика.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 18.10.17 Формат 60 x 84 1/16.

Усл. печ. л. 05. Уч.-изд. л. 0,4. Тираж 50 экз. Заказ 571 Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Изучение явления гистерезиса в ферромагнетиках

Цель работы: Экспериментально исследовать процесс перемагничивания ферромагнетика, определить его основные магнитные характеристики.

Оборудование: лабораторная установка для изучения явления гистерезиса в ферромагнетиках, осциллограф С1-73.

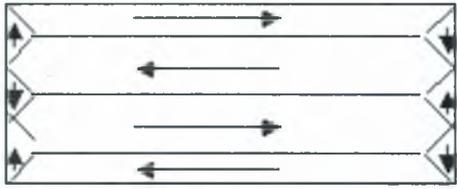
Краткая теория

Размагниченный ферромагнитный образец при температуре, меньшей температуры Кюри T_K , состоит из большого числа относительно мелких областей $\sim(1-10 \text{ мкм})$, спонтанно намагниченных до насыщения \vec{I}_{os} . В этих областях магнитные моменты атомов параллельны. Эти области получили название магнитных доменов. Самопроизвольная намагниченность доменов обусловлена квантово-механическими эффектами: мощным обменным взаимодействием стремящимся установить спины соседних атомов или ионов параллельно друг другу.

Для ферромагнитных кристаллов характерно наличие внутренних незаполненных электронных слоев. Например, для железа, никеля и кобальта незаполненными являются 3d-подслой, для гадолиния подслой - 4f.

Обменное взаимодействие характеризуется так называемым интегралом обмена, который сильно зависит от расстояния между атомами в кристаллической решетке. При положительном значении интеграла обмена, взаимодействие приводит к параллельной ориентации спинов в некоторых областях (доменах), которая устанавливается только при температурах ниже температуры Кюри T_K в отсутствие внешнего магнитного поля. Выше температуры Кюри энергия теплового движения начинает превышать энергию обменного взаимодействия. Это приводит к разрушению доменов, вследствие чего ферромагнитные свойства исчезают и вещество становится парамагнетиком.

Суммарный магнитный момент $\vec{I} = \sum \vec{I}_{os}$ всего ферромагнетика



в отсутствие внешнего магнитного поля H равен нулю, т.к. направление магнитных моментов \vec{I}_{os} различных доменов различно.

При внесении ферромагнетика в магнитное поле векторы намагниченности доменов \vec{I}_{os} ориентируются преимущественно по полю, и образец обретает суммарный магнитный момент \vec{I} , отличный от нуля, то есть образец намагничивается. Ферромагнетики являются сильномагнитными веществами, их намагниченность значительно превосходит намагниченность диа- и парамагнетиков и зависит от H сложным образом. Поэтому магнитная индукция $\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{I})$ у ферромагнетиков также сложным образом зависит от напряженности H . Как показано на рис.1, индукция B зависит не только от напряженности поля H , но и от предыстории образца. Причем изменение B несколько отстает от изменения внешнего поля H .

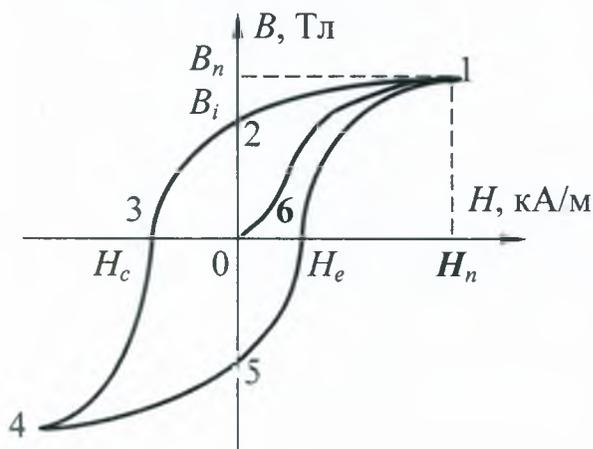


Рис. 1 Петля гистерезиса

Это явление получило название гистерезиса, а замкнутая кривая зависимости $B(H)$ получила название петли гистерезиса.

Зная ход основной кривой намагничивания (0,1) и максимальной петли гистерезиса (1,2,3,4,5,6) можно получить основные характеристики ферромагнетика: B_n - индукцию насыщения, B_i - остаточную индукцию, H_c - коэрцитивную силу (величину размагни-

чивающегося поля), μ_{\max} - максимальную магнитную проницаемость.

Полной магнитной проницаемостью называют величину, определяемую формулой

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}. \quad (1)$$

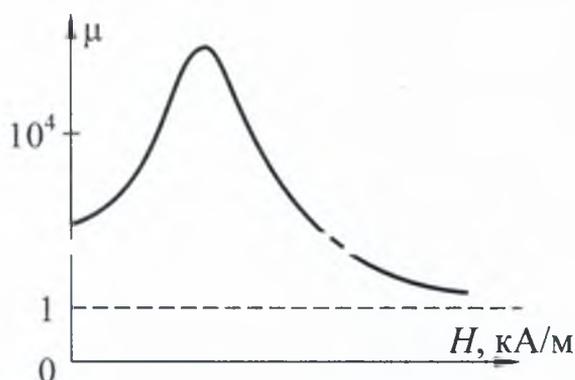


Рис. 2 График зависимости μ от H

Часто определяют дифференциальную магнитную проницаемость $\mu = \frac{dB}{\mu_0 dH}$. Для ферромагнетиков зависимость $\mu(H)$ имеет экстремальный характер (рис. 2).

Сложный ход зависимости $B(H)$, например, на основном участке кривой намагничивания (0,1) рис.1 объясняется наличием различных физических процессов, ответственных за намагничивание ферромагнетика. В слабых полях образец намагничивается за счет роста объемов доменов с векторами спонтанной намагниченности доменов \vec{I}_{os} , ориентированными по полю. В средних полях – за счет поворотов векторов намагниченности доменов \vec{I}_{os} в направлении поля. В сильных полях – за счет парапроцесса. При этом увеличивается модуль вектора спонтанной намагниченности доменов $|\vec{I}_{os}|$. Величина площади петли гистерезиса пропорциональна потерям электромагнитной энергии в ферромагнетике при перемагничивании.

Максимальную петлю гистерезиса и частные циклы получают на экране осциллографа с помощью установки, принципиальная электрическая схема которой приведена на рис. 3.

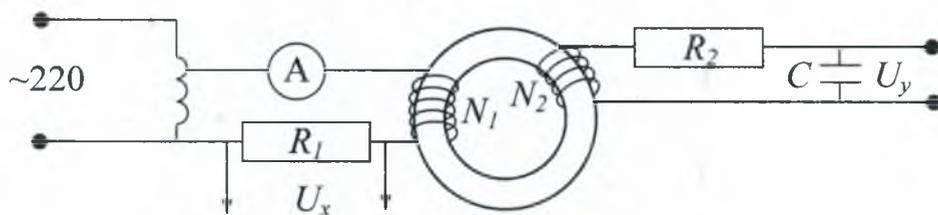


Рис. 3 Схема установки

Исследуемый образец является тороидом из трансформаторной стали. Первичная обмотка 1 с числом витков N_1 питается от ЛАТРа через сопротивление R_1 переменным током i_1 . Ток во вторичной обмотке определяется ЭДС самоиндукции. Можно показать, что напряженность магнитного поля, создаваемого током i_1 в первичной обмотке, пропорциональна величине напряжения на сопротивлении R_1 . Это напряжение подается на горизонтально отклоняющие обкладки осциллографа. Причем имеем

$$H = \frac{n_1}{R_1} U_x, \quad (2)$$

где n_1 - число витков на единицу длины в первичной обмотке.

Индукция магнитного поля в ферромагнитном тороиде пропорциональна напряжению на обкладке конденсатора U_y (для случая $R_2 \gg x_c$). Это напряжение подается на вертикально отклоняющие обкладки осциллографа. Причем,

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

где C - емкость конденсатора, S - площадь сечения тороида.

Электронный луч, управляемый переменными напряжениями U_x и U_y описывает на экране осциллографа петлю гистерезиса. Если постепенно увеличивать напряжение, то получим на экране осциллографа ряд частных петель гистерезиса и, наконец, максимальную, когда форма и величина петли не изменяются.

Порядок выполнения работы

1. Собирают цепь согласно рис.3. Увеличивая напряжение U_x , добиваются появления на экране осциллографа максимальной петли гистерезиса.

Ручками «усиление X и Y » добиваются хорошей «картинки» петли, сходной с рис. 1 (в дальнейшем этими ручками пользоваться). Определяют чувствительность входов X и Y осциллографа. Для этого следует поочередно подать на входы X и Y переменное напряжение (например, контрольный сигнал 6,3 В) и измерить смещение луча n_x и n_y вдоль осей x и y . Усиление определяют по формулам:

$$k_x = \frac{U}{n_x} \text{ и } k_y = \frac{U}{n_y}$$

2. Определяют на экране осциллографа координаты верхних (или нижних) точек частных циклов и цикла максимальной петли гистерезиса. Результаты заносят в таблицу 1. По полученным данным строят основную кривую намагничивания (0,1) в координатах xu .

Таблица 1 Результаты измерений

x , дел.										
y , дел.										

3. Получив максимальную петлю гистерезиса, снять ее основные координаты и занести их в таблицу 2.

Таблица 2 Результаты измерений

x , дел.										
y , дел.										

Построить максимальную петлю гистерезиса в координатах xu и расположить ее на одном чертеже с основной намагничивания (рис.4).

С помощью основной кривой намагничивания (участок 0,1) рис.4 определяют зависимость $\mu(H)$ по формуле (1), затем μ_{\max} находят графически. При этом B и H определяют из выражений (2) и (3), а напряжения U_x и U_y , подаваемые на отклоняющие обкладки осциллографа, определяются по найденным ранее коэффициентам усиления входов осциллографа k_x и k_y . При этом

$$U_x = k_x x \text{ и } U_y = k_y y, \quad (4), (5)$$

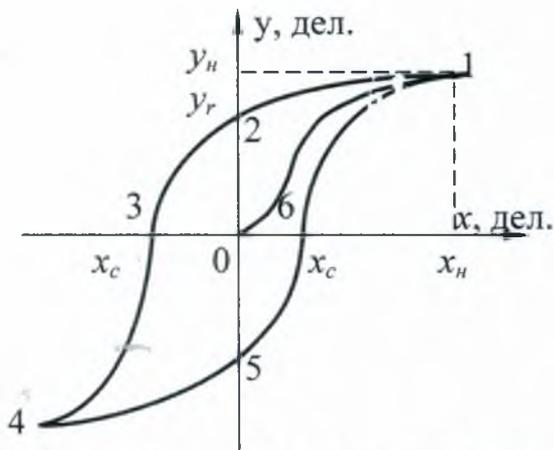


Рис. 4 Петля гистерезиса

где x, y – координаты точек кривой намагничивания на экране осциллографа.

Используя рис.4, по координатам точек пересечения максимальной петли гистерезиса с осями $(x_c, 0)$, $(0, y_r)$ и (x_n, y_n) определяют остальные характеристики B_n, B_r, B_c ферромагнетика по формулам (2), (3), (4).

Контрольные вопросы

1. В чем проявляется гистерезис в ферромагнетиках и какова его причина?
2. Что такое основная кривая намагничивания, магнитное насыщение, максимальная петля гистерезиса, частный цикл?
3. Что называется магнитной проницаемостью вещества?
4. Перечислите основные характеристики ферромагнитных материалов.

Список рекомендуемой литературы

Основной

1. Любая С.И. Физика: курс лекций [Электронный ресурс]. / С.И.Любая - Ставрополь - Ставропольский государственный аграрный университет, 2015. - 141 с.

Режим доступа [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438720](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438720)

2. Кузнецов С.И. Курс лекций по физике. Электростатика. Постоянный ток. Электромагнетизм. Колебания и волны [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.И.Кузнецов, Л.И.Семкина, К.И.Рогозин. - Томск: - Издательство Томского политехнического университета, 2016. - 290 с.

Режим доступа [//biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442116](http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442116)

3. Родионов А.А. Магнитные свойства вещества. Ч.3. Кн.1: Монография/ Курск. гос.техн.ун-т.2001. – 141с.

4. Родионов А.А., Игнатенко Н.М., Петрова Л.П., Красных П.А. Краткий курс по магнитным свойствам вещества. Учебное пособие/ Юго-Запад.гос. ун-т, ЗАО «Университетская книга», Курск. 2014. – 214с.

5. Трофимова Т.И. Курс физики. Учебное пособие./ -М.; Изд. центр «Академия». 2015. –560 с.

Дополнительный

1. Кабардин, О. Ф. Физика [Текст] : справочные материалы: Учебное пособие для учащихся. Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. Колебания и волны. Квантовая физика. Приложения / О. Ф. Кабардин. - 3-е изд. - М. : Просвещение, 1991. - 367 с. : ил. - Б. ц.

2. Полунин, В. М. Физика. Основные понятия и законы [Текст] : учебно-методическое пособие / В. М. Полунин, Г. Т. Сычев. - Курск : КГТУ, 2002. - 156 с. - 40.00 р.

3. Федосеев, Владимир Борисович. Физика [Текст] : учебник / В. Б. Федосеев. - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 669 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-222-149 83-6 : 320.00 р.