

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

**Определение петли гистерезиса  
ферромагнетика магнитооптическим методом**

выполнила студентка 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2018 г.

# 1 Цель работы

1. Ознакомление с принципами применения магнитооптических методов для исследования прозрачных магнетиков
2. Определение магнитных параметров исследуемого образца (коэрцитивной силы и поля насыщения)
3. Изучение основ и принципов применения вычислительной техники для организации автоматизированного сбора и анализа экспериментальных данных физического прибора на примере исследования магнитных свойств магнетиков

# 2 Теоретические положения

Принято различать следующие типы веществ в зависимости от их магнитных свойств:

- **парамагнетики** - вещества со слабыми магнитными свойствами, в отсутствие внешнего магнитного поля магнитный момент равен нулю. В парамагнетиках отдельные атомы имеют собственный магнитный момент, внешнее магнитное поле частично упорядочивает направления этих магнитных моментов. Магнитная восприимчивость парамагнетиков положительна
- **диамагнетики** - также вещества со слабыми магнитными свойствами. Собственный магнитный момент атомов равен нулю, индуцированный магнитный момент в соответствии с правилом Ленца направлен против магнитного поля. Магнитная восприимчивость диамагнетиков отрицательна.
- **ферромагнетики** - существует спонтанная намагниченность вещества, обусловленная внутренними взаимодействиями, приводящими к параллельной ориентации магнитных моментов отдельных атомов.

Связь величины вектора магнитной индукции в веществе ( $B$ ), намагниченности вещества ( $I$ ) и напряжённости внешнего магнитного поля ( $H$ ):

$$B = H + 4\pi I \quad (1)$$

Связь магнитной проницаемости  $\mu$  с магнитной восприимчивостью  $\chi$ :

$$\mu = 1 + 4\pi\chi \quad (2)$$

Теории, построенные для выяснения природы взаимодействий, приводящих к появлению спонтанной намагниченности, учитывают не только молекулярные, но и обменные взаимодействия. Обменное взаимодействие зависит от ориентации спинов электронов в кристалле (электронов 3d и 4f оболочек соседних атомов). Также обменное взаимодействие может переноситься диамагнитными ионами или электронами проводимости.

Для описания магнитной структуры ферромагнетиков и антиферромагнетиков (а также некоторых других веществ) используют понятие домена. Вейсс предположил, что магнитные образцы состоят из множества малых областей, называемых доменами, в каждой из которых намагниченность равна намагниченности насыщения, но направления векторов намагниченности не обязательно должны быть параллельными друг другу. Доменная структура образуется в магнетике за счёт более слабых энергетических взаимодействий по сравнению с обменными (энергии размагничивания, анизотропии, зеемановской энергии). Доменная граница представляет собой область, в которой происходит плавный разворот вектора намагниченности от направления в одном домене к направлению в соседнем домене.

При отсутствии внешнего магнитного поля результирующий магнитный момент ферромагнетика равен нулю. Если состояние, при котором намагниченность и внешнее магнитное поле, считать начальным, то зависимость  $B(H)$  для ферромагнетика имеет вид, изображённый на рис. 1.

1. Область начального обратимого намагничивания. Изменение намагниченности обусловлено обратимыми процессами, связанными с упругим смещением доменных границ
2. Область, соответствующая необратимому смещению доменных границ
3. Область приближения к насыщению. Направление вектора намагниченности отдельных областей приближается к направлению внешнего поля
4. Область парапроцесса. Наблюдается слабый рост намагниченности

**Гистерезис** - это явление, состоящее в том, что для одних и тех же значений напряжённости внешнего магнитного поля получаются разные значения намагниченности (при уменьшении магнитного поля после получения основной кривой значения намагниченности не совпадают с последней). Гистерезис обусловлен стремлением ферромагнитного материала препятствовать изменению своего состояния при внешнем воздействии. Типичная петля гистерезиса ферромагнетика представлена на рис. 2. **Коэрцитивная сила**  $H_C$  - значение магнитного поля, при котором намагниченность станет равной нулю. **Поле насыщения**  $H_{max}$  (или  $H_S$ ) - значение магнитного поля, при котором достигается максимальная намагниченность образца

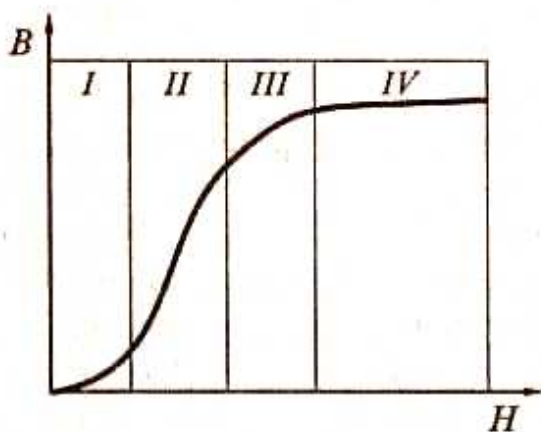


Рис. 1: Кривая намагничивания вещества

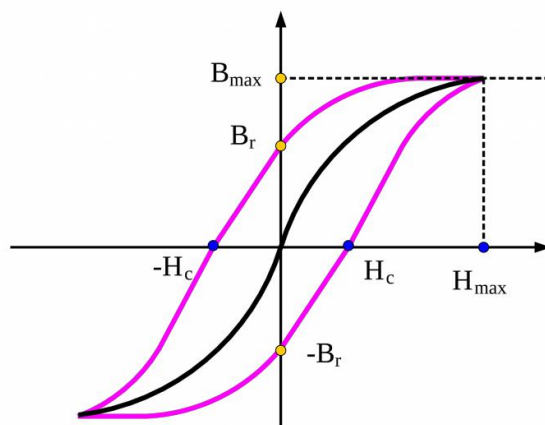


Рис. 2: Петля гистерезиса

### 3 Экспериментальная часть

Измерение петли гистерезиса проводится магнитооптическим методом с использованием эффекта Фарадея, который заключается во вращении плоскости поляризации света при прохождении через намагниченное вещество. При этом величина фарадеевского вращения пропорциональна намагниченности вещества на направление распространения света. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3

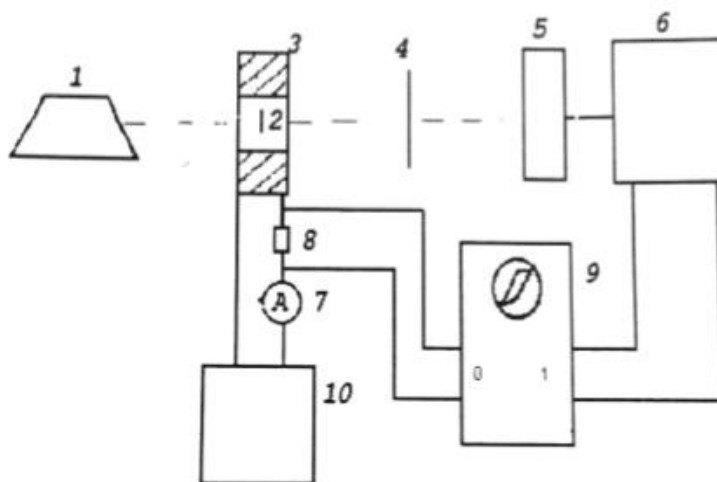


Рис. 3: Блок-схема экспериментальной установки

На входы виртуального осциллографа подаётся сигнал, пропорциональный величине магнитного поля в катушке (0), и сигнал с фотозлемента, амплитуда которого пропорциональна величине фарадеевского вращения образца. Эта величина в свою очередь пропорциональна проекции намагниченности образца на направление распространения света.

## 4 Ход работы

1. Соберём установку, согласно блок-схеме (рис. 3). Включим лазер, усилитель, источник питания; анализатор установим в положение  $45^\circ$  (амплитуда сигнала в таком случае будет максимальной).
2. Определим оптимальное значение резистора в установке. Ток в катушке равен 2 А, напряжение 5 В. С учётом того, что ток в установке переменный, сопротивление будет равно

$$R = \frac{I}{\sqrt{2}V} = \frac{2}{5\sqrt{2}} = 5\Omega \quad (3)$$

3. Подключим входные сигналы к цифровому осциллографу. Получим на экране зависимости напряжения на каналах 0 и 1 от времени.
4. Используя полученные данные, построим петлю гистерезиса  $B(H)$  исследуемого образца. Величина напряжения  $U$  на канале 0 будет связана с напряжённостью магнитного поля  $H$  в катушке как

$$H = \alpha \frac{U}{R}, \quad (4)$$

где  $\alpha = 150 \text{ Э/А}$  - калибровочный коэффициент катушки,  $R = 1.7 \Omega$  - сопротивление резистора из п. 2. Напряжение на канале 1 пропорционально проекции намагниченности образца на направление распространения света. Отнормируем показания с канала 1 по максимальному значению, получим значения, пропорциональные намагниченности образца в процентах. Полученный график представлен на рис. 4.

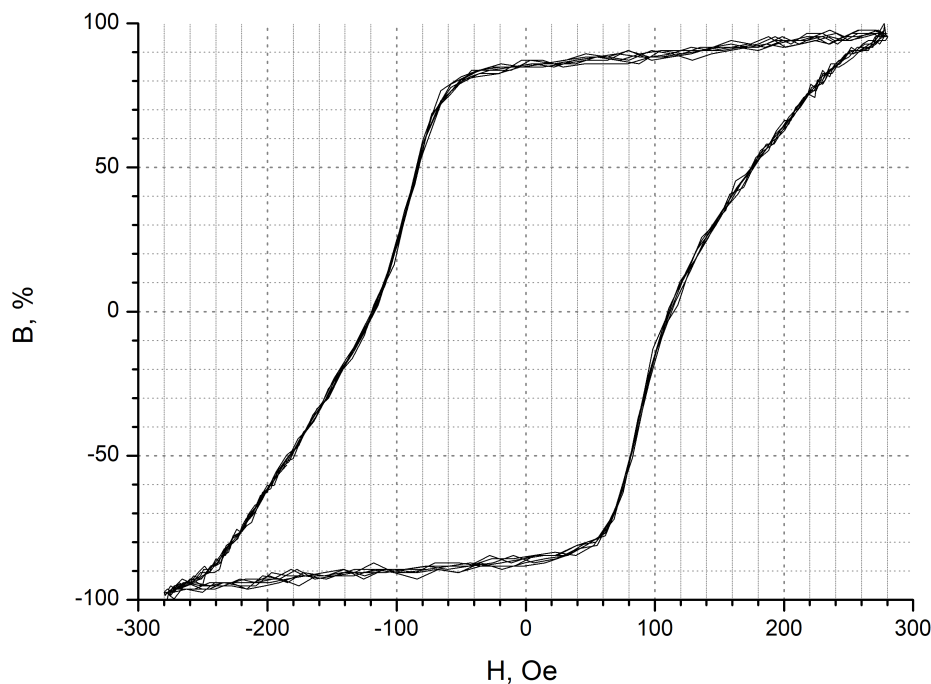


Рис. 4: Петля гистерезиса исследуемого образца

5. По графику определим магнитные параметры исследуемого образца: коэрцитивную силу  $H_C$  (полуширина петли на уровне  $B = 0\%$ ) и поле насыщения  $H_S$  (значение  $H$  при  $B = 100\%$ )

$$\begin{aligned} H_C &= 116 \text{ Э} \\ H_S &= 278 \text{ Э} \end{aligned}$$

## 5 Вывод

В ходе работы был изучен принцип магнитооптического метода исследования прозрачных магнетиков. С его помощью построена петля гистерезиса исследуемого образца, а также определены его некоторые магнитные параметры, в частности коэрцитивная сила ( $H_C = 116$  Э) и поле насыщения ( $H_S = 278$  Э). Также в работе были изучены основы применения электронной вычислительной техники для автоматизированного сбора и анализа экспериментальных данных.