

Отчёт по лабораторной работе №12  
Определение петли гистерезиса ферромагнетика  
магнитооптическим методом

Плюскова Н.А. Б04-004

17 сентября 2023 г.

# 1. Теоретические данные

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. Вейс 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.

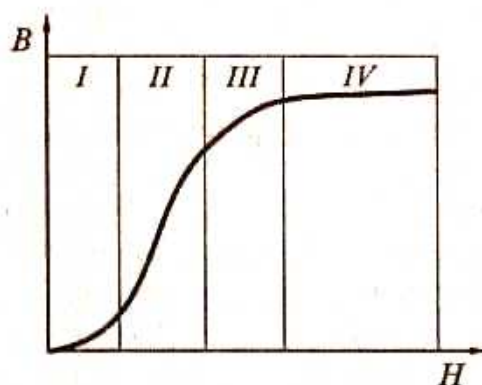


Рис. 1: Кривая намагничивания вещества

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.

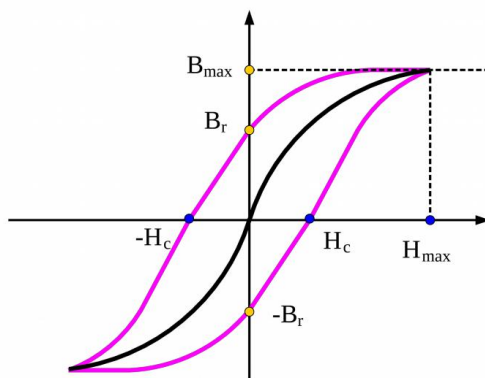


Рис. 2: Петля гистерезиса

## 2. Экспериментальная установка

Измерение петли гистерезиса проводится магнитооптическим методом с использованием эффекта Фарадея, который заключается во вращении плоскости поляризации линейно поляризованного света при прохождении намагниченного вещества.

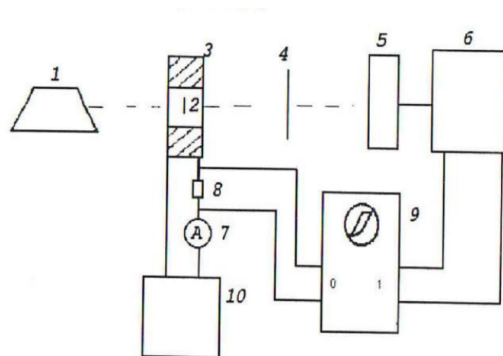


Рис. 3: Блок-схема установки: 1 - лазер, 2 - образец, 3 - катушка, 4 — анализатор, 5 — фотоприёмник, 6 - усилитель, 7 — амперметр, 8 — резистор, 9 — виртуальный осциллограф, 10 — генератор переменного напряжения

Лазер излучает линейно поляризованный свет, который проходит через образец с намагниченностью  $I$ , плоскость поляризации поворачивается на некоторый угол  $\psi$ , пропорциональный проекции намагниченности на вектор распространения света. Затем луч идет через анализатор, который представляет собой поляроид. Интенсивность выходного сигнала изменяется в соответствии с законом Малюса:  $I = I_0 \cos^2 \theta$ , где  $\theta$  — угол между плоскостью поляризации входного излучения и разрешенным направлением поляроида. Далее луч света обрабатывается фотоприёмником, выходной сигнал подается на канал 1.

### 3. Результаты эксперимента и обработка данных

Соберём установку, согласно блок-схеме (рис. ). Включим лазер, усилитель, источник питания; анализатор установим в положение  $45^\circ$  (амплитуда сигнала в таком случае будет максимальной).

Определим оптимальное значение резистора. Ток в катушке равен 1.85 А, напряжение 25 В. С учётом того, что ток в установке переменный, сопротивление будет равно

$$R = \frac{V}{\sqrt{2}I} = 9.55 \text{ Ом}$$

Подключим входные сигналы к цифровому осциллографу. Получим на экране зависимости напряжения на каналах 0 и 1 от времени.

Используя полученные данные, построим петлю гистерезиса  $B(H)$  исследуемого образца. Построим зависимость величины выходного напряжения с усилителя от величины магнитного поля. Величина напряжения  $U$  на канале 0 будет связана с напряжённостью магнитного поля  $H$  по следующей формуле:

$$H = \alpha \frac{U}{R}$$

где  $\alpha = 150 \text{ Э/А}$  - калибровочный коэффициент катушки,  $R = 9.55 \Omega$  - оптимальное значение резистора. 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.

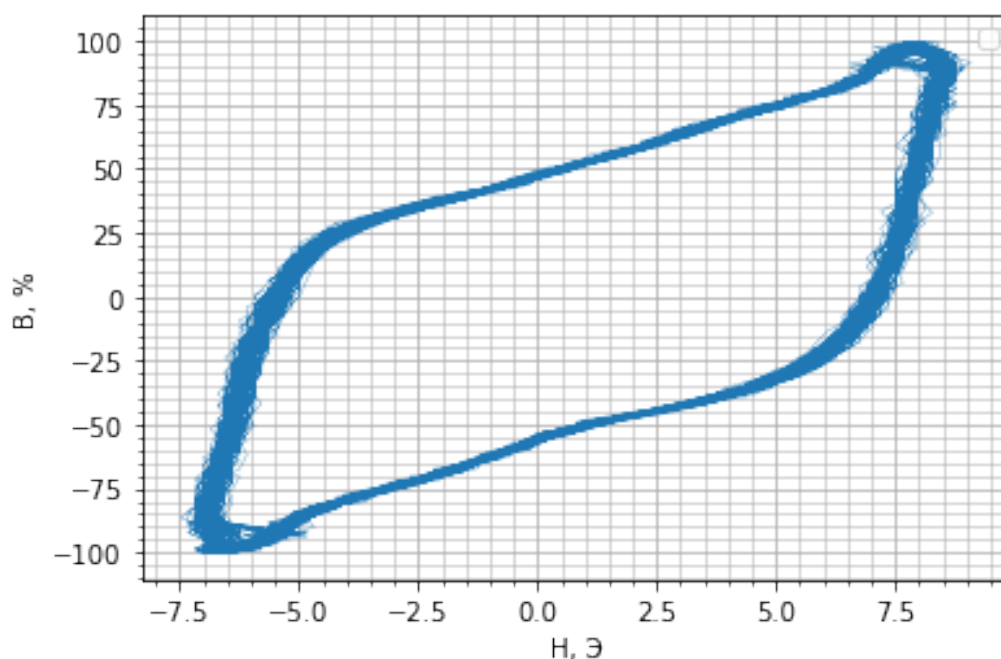


Рис. 4: Петля гистерезиса исследуемого образца

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  $B = 100 \%$ )

$$H_c = 6.25 \text{ Э}$$

$$H_s = 8 \text{ Э}$$

## 4. Вывод

При выполнении данной работы мы ознакомились с принципами применения магнитооптических методов для исследования прозрачных магнетиков, а также, получив кривую гистерезиса для ферромагнитного образца, удалось найти некоторые его параметры, а именно коэрцитивную силу  $H_c = 6.25 \text{ Э}$ , и поле насыщения  $H_s = 8 \text{ Э}$ . Также на примере исследования магнитных свойств магнетиков мы изучили основы и принципы применения вычислительной техники для организации автоматизированного сбора и анализа экспериментальных данных физического прибора.