

Магнитооптический эффект Керра

(рекомендации по подготовке и указания по выполнению)

Чтобы хорошо разобраться в тематике работы и успешно её выполнить стоит, с акцентом на качественное понимание процессов, прочитать по книжке Тикадзуми о видах магнетизма, расчёте магнитных цепей, магнетизме металлов, эффекте Керра. Это страницы 10-46, 64-98, 125-153, 183-219 первого тома и 373-375 второго тома.

При чтении не стоит обращать много внимания на эффекты, связанные с температурой — в лабораторной мы этого касаться не будем.

Те, кто хочет погружения в современный формализм магнитных явлений, обратите внимание на первые 250 страниц Кринчика. Тикадзуми неплох для качественного восприятия, но, в целом, наивен. Магнитооптические эффекты описаны у Ландау, и у, например, Зака (книги достойной не нашёл, статей много, одна не выделяется).

Для обработки будут нужны:

- Данные :)
- Размеры использованного для намагничивания сердечника, число витков катушки
- Кривая калибровки (зависимость интенсивности прошедшего света от угла поворота поляризатора)

В лабораторной:

- Каждый снимает наборы петель гистерезиса для своего образца
- Кривая калибровки измеряется одна на всех

После лабораторной:

- Один, используемый всеми членами команды, расчёт для связи тока в катушке с напряжённостью магнитного поля в зазоре (учесть, что материал сердечника - пермаллой)
- Персональная задача по магнитостатике у Батыгина
- Отчёт

Необходимые книжки можно загрузить сайта, пароль для загрузки узнайте у преподавателя.

Основные тезисы по поводу обработки (обработка не тронута с прошлого года, если чувствуете странность — прошу задать вопрос)

1. Чтобы руки и головы каждого из вас познакомились с методикой обработки, прошу каждого выполнять отдельный отчёт.
2. Форма выполнения отчёта свободная, однако его содержание должно позволить понять и проверить проведённые при обработке операции. Также в нём должны быть приведены **ваши** соображения о полученных результатах. Не надо много и заумно, надо **ваше**. Принятая работа вашего коллеги не значит, что вам надо сделать всё так же. Это значит, что коллега совершил труд и этого труда достаточно. Покажите себя, примите свои решения.
3. Чтобы принимать свои решения было легче предлагаю вам техническую поддержку: задавайте лично и [электронно](#).
4. Формат отчёта выбирайте удобный от перебранного в [pdf](#) документа, до обильно комментированного файла программ ([scidavis](#), [origin](#)) для обработки данных. Прошу не перемешивать программы (excel внутри origin), и не использовать сразу несколько — делайте всё в одном вами выбранном пакете. Титульный лист оформлять не нужно, только данные, обработка и выводы. Обработку комментируйте так, чтобы в ней можно было разобраться.
5. Пожалуйста, выберите язык. Если хочется больше опыта — we can do it in english.
6. Импортировать полученные экспериментальные данные в программу обработки. При импорте учтите, что осциллограф даёт значения напряжений в условных единицах, и их надо переводить с учётом коэффициентов из заголовочной части файла. При этом положение нуля каждого из каналов отмечено отдельно.
7. Три колонки файла представляют собой зависимости напряжения в двух каналах осциллографа (колонки 2,3) от времени (колонка 1).
8. После перевода значений в физические единицы (Вольты, секунды), временные зависимости можно построить; на графиках должен быть виден периодический сигнал.

Напряжение треугольной формы — связано с током намагничивания (далее — «токовый сигнал»), другое — с интенсивностью отражённого от образца лазерного освещения («оптический сигнал»).

9. Для построения петель гистерезиса из каждой зависимости стоит выбрать наиболее незашумлённый и неискажённый её период и перенести его для последующей обработки.
10. После копирования стоит убедиться в том, что скопировано достаточно точек, для этого можно построить зависимость одного напряжения от другого. Результат должен быть похож на петлю гистерезиса.
 - a. Если не похож — надо искать ошибку в уже проделанном.
 - b. Если похож — полные зависимости можно скрыть, теперь обработка будет касаться только что перенесённых данных.
11. Для перевода токового сигнала нужно применить хорошо известный каждому первокурснику закон:
 - a. Номинал измерительного резистора — 0,1 Ома.
 - b. После перевода в Амперы нужно сдвинуть значения тока так, чтобы они были симметричны относительно 0 (осциллограф записывает в файл «голые» данные с его [АЦП](#), поэтому единицы странные и нет нуля).
 - c. Для этого можно воспользоваться следующей идеей:
$$I := I - (\text{MAX}(I) + \text{MIN}(I)) / 2$$
 - d. Максимальное или минимальное значения можно определить с помощью статистических функций используемого программного пакета
12. Перевод оптического сигнала в угол поворота плоскости поляризации более витиеват:
 - a. Начать нужно с аппроксимации калибровочной зависимости поляризатора (зависимость напряжения U от угла φ).
 - b. Калибровочную зависимость перед аппроксимацией нужно параллельным переносом по напряжению сместить так, чтобы её минимум лежал в нуле. Повторяю, перенос по напряжению. По углу в ноль смещать не надо.

- c. Лучше для аппроксимации должна подойти формула из закона Малюса: $U=A*\cos^2(\varphi-B)$, где A, B — параметры, которые даст аппроксимация. Осторожно, математические пакеты обычно принимают функцию в радианах, кроме этого на результат аппроксимации влияет выбор адекватных начальных условий.
 - d. После этого нужно взять функцию, обратную полученной — $\varphi(U)$, при взятии обратной функции учтите, что она будет многозначной. Из двух возможных ветвей надо выбрать ту, которая по смещению от минимума соответствует точкам, где производилось снятие петель гистерезиса.
 - e. Для учёта различной интенсивности отражённого света при разных углах падения света на образец нужно, сравнивая значения напряжений, при которых производилось снятие петли (ΔU) со значениями калибровочной зависимости (U) при том же угловом ($\Delta\varphi$) расстоянии от минимума произвести масштабирование каждой из петель $(\Delta U+U_{\text{отт}})*U/\Delta U$.
 - f. После масштабирования надо применить формулу для перевода напряжения в угол.
 - g. Полученный угол будет в радианах, по желанию его можно перевести в градусы.
 - h. После окончания расчётов с углом нужно петлю сместить к нулю по рецепту выше, приведённому для тока.
13. Пункты 9 и 10 надо применить ко всем снятым петлям.
 14. Для иллюстрации полученных данных прошу построить два графика (должно быть несколько линий на каждом) со следующими результатами: наборы петель для разных углов падения света на образец с эквивалентными амплитудами тока намагничивания и наборы петель для одного угла, но разных значений тока намагничивания. Если возможно — сделайте выводы из полученных графиков.
 15. По графику с петлями для разных углов падения нужно построить зависимости амплитуды петли, её коэрцитивной силы от угла. Произвести анализ, если возможно сделать выводы.

16. Из набора петель с фиксированным углом и разными токами надо оценить вид начальной (из не намагниченного состояния) кривой намагничивания. Для этого с каждой из петель надо выбрать точку с максимальным током и углом и перенести их на составляемый график.
17. Для получения данных об образце потребуются следующие манипуляции с полученной зависимостью
- Значения угла надо нормировать на максимум:
 $\varphi := \varphi / \text{MAX}(\varphi)$
 - Полученную зависимость надо аппроксимировать формулой 9 из работы М.Р. Stoll 1967 года. Внимание, аппроксимации подлежит только начальная часть петли, без выхода на насыщение. Если у вас по результатам измерений мало точек на начальной части — можно поставить их из физических соображений, опираясь на петлю с минимальной амплитудой.
 - В формуле: N — фактор размагничивания (см. Тикадзуми). Для его оценки нужно использовать размеры образца, толщину в том числе.
 - Внимание, значения должны быть в СГС, насыщение в аппроксимации участвовать не должно (см. график 8 в Stoll).
 - Аппроксимация должна дать значения следующих параметров образца: K — удельная энергия магнитокристаллической анизотропии, J_s — намагниченность насыщения.
 - Для получения начального приближения для аппроксимации можно из графика определить наклон вблизи нуля, он будет равен $0,167 / (J_s * N)$, отсюда можно определить намагниченность насыщения.
18. Из полученного значения J_s попробуйте с использованием книжки С.В. Вонсовского (стр. 855) определить вещество образца.
19. Поздравляю, вы закончили обработку. Отправьте результат преподавателю по [электронной почте](#). Если вы мне не показывали расчёт для магнитного поля катушки — прикрепите (фото, документ) его к письму. Задачу приложить не забудьте.