

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Ланшаков Дмитрий Андреевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

Изучение явления магнитострикции в пермендюре

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №20306

Научный руководитель:

к.ф.-м.н. Старостенко Александр
Анатольевич

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к.ф.-м.н. Солдаткина Елена
Ивановна

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2021

Аннотация

Целью работы являлось знакомство с явлением магнитострикции и методами исследования изменения продольных размеров в магнитострикционных материалах, оценка величины удлинения пермендюрного образца, изменения объема и линейных размеров магнитоупорядоченных веществах под действием магнитного поля. Были оценены зависимости некоторых величин от величины магнитного поля. Полученные данные предполагается использовать для дальнейшего исследования поведения ферромагнитных тел в условиях сильного магнитного поля.

Ключевые слова: магнитострикция, магнитное поле.

Оглавление

Введение.....	4
1. Экспериментальная установка	7
2. Методика измерения.....	8
3. Проведение эксперимента.....	8
4. Обсуждение результатов.....	12
5. Вывод	13
Благодарности.....	13
Список литературы	13

Введение

Магнитострикция – явление, при котором изменение состояния намагниченности тела влечет за собой изменение объема и линейных размеров тела.

Магнитострикцию можно оценить относительным изменением продольных и поперечных значений магнетика $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$. В данной формуле Δl – удлинение под действием включенного магнитного поля H , а l – изначальная длина образца. Изменения поперечных и продольных размеров очень малы даже для сильномагнитных веществ, поэтому нужно использовать специальные установки и точные методы.

Пока намагниченность не достигнет значений, соответствующих наиболее крутой части кривой намагничивания, изменения длины очень малы. Когда намагниченность приближается к насыщению, магнитострикция также приближается к своему предельному значению λ_s , называемому магнитострикцией насыщения.

Магнитострикция связана с ориентацией векторов намагниченности доменов. В наиболее простом случае, когда величина ее не зависит от ориентации этих векторов относительно кристаллографических осей и когда объем тела при намагничивании не меняется, изменение размеров одного домена связано с изменением направления его намагниченности следующим образом: $\lambda_1 = \frac{3}{2}\lambda_s(\cos^2 \theta - \frac{1}{3})$. Здесь θ – угол между направлением намагниченности и направлением, в котором измеряется λ_1 . Длина, от которой производится отсчет λ_1 , выбрана таким образом, что при $\theta = 0$ λ_1 совпадает с продольной магнитострикцией насыщения λ_s .

Если в исходном состоянии векторы намагниченности доменов были ориентированы беспорядочно, то магнитострикцию совокупности доменов можно вычислить с помощью той же формулы, усредняя значения $\cos^2 \theta$.

Для размагниченного материала $\langle \cos^2 \theta \rangle = \frac{1}{3}$ и $\lambda = 0$; при наложении сильного поля θ становится равным нулю и $\lambda = \lambda_s$.

Если первоначальное распределение векторов намагниченности доменов отличается от беспорядочного, то можно пользоваться соотношением:

$$\lambda = \frac{3}{2}\lambda_s \left(\langle \cos^2 \theta \rangle - \frac{1}{3} \right) - \frac{3}{2}\lambda_s \left(\langle \cos^2 \theta \rangle_0 - \frac{1}{3} \right), \text{ или}$$

$$\lambda = \frac{3}{2}\lambda_s (\langle \cos^2 \theta \rangle - \langle \cos^2 \theta \rangle_0), \text{ причем } \langle \cos^2 \theta \rangle_0 \text{ относится к}$$

начальному распределению векторов намагниченности доменов, а $\langle \cos^2 \theta \rangle$ - к их распределению в состоянии, для которого определяется λ .

Если векторы намагниченности доменов первоначально ориентированы так,

что $\theta = 0$ для половины из них и $\theta = 180^\circ$ для другой половины, то

$\langle \cos^2 \theta \rangle_0 = \langle \cos^2 \theta \rangle = 0$ и $\lambda = 0$; в сильном поле $\theta = 0$ и $\cos^2 \theta$ имеет

одно и то же значение для всех доменов, так что снова $\lambda = 0$. Таким образом,

λ существенно зависит от начального распределения направлений векторов

намагниченности доменов, тогда как λ_s является константой материала.

Константу λ_s можно определить на любом образце по измерениям λ . Общее

изменение длины, вызываемое изменением поля, составляет в этом случае $\frac{3}{2}\lambda_s$

независимо от начального распределения векторов намагниченности доменов.

Магнитострикция материалов с различным распределением векторов намагниченности доменов иллюстрируется диаграммами на Рис. 1

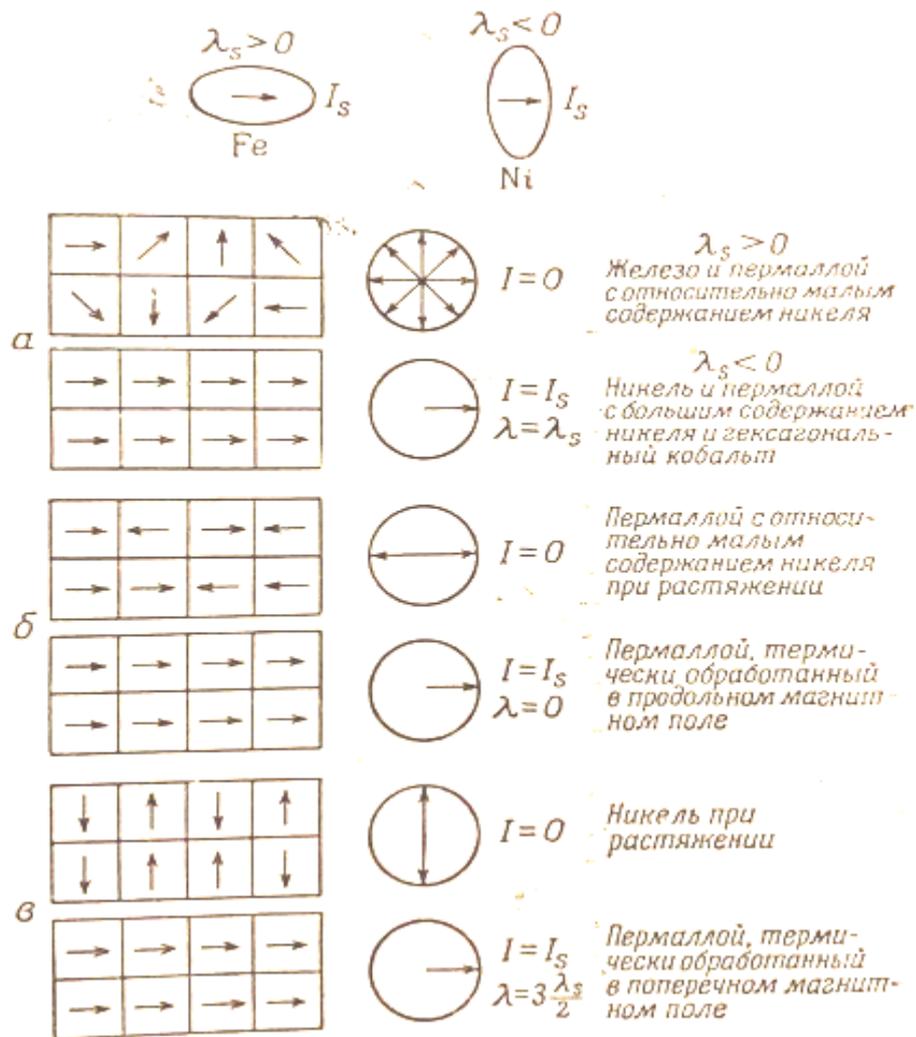


Рисунок 1. Схема, иллюстрирующая связь между ориентацией векторов намагниченности доменов и магнитострикцией для некоторых материалов.

При рассмотрении магнитострикции домена удобно ввести эллипсоид деформации, показанный на Рис.1.

Для материалов, подобных железу, эллипсоид будет вытянут в направлении намагниченности, тогда как для никеля он сплюснут в этом направлении. При изменении направления вектора намагниченности домена изменяется длина домена; полное изменение длины материала является суммой изменений длин всех доменов. Данное выше выражение является математическим описанием такого процесса. Более подробное рассмотрение показывает, что в общем случае «фигура магнитострикции» не является эллипсоидом и что ее форма зависит от ориентации вектора намагниченности относительно

кристаллографических осей. Этот вопрос будет рассмотрен ниже. Фигура магнострикции для никеля ближе к эллипсоиду, чем соответствующая фигура для железа.

1. Экспериментальная установка

Установка состоит из магнита, создающего магнитное поле вдоль образца, двух зажимающих пластин, микрометра, устойчивых опор для микрометра и пластин, исследуемого пермендюрного образца (Рис. 2).

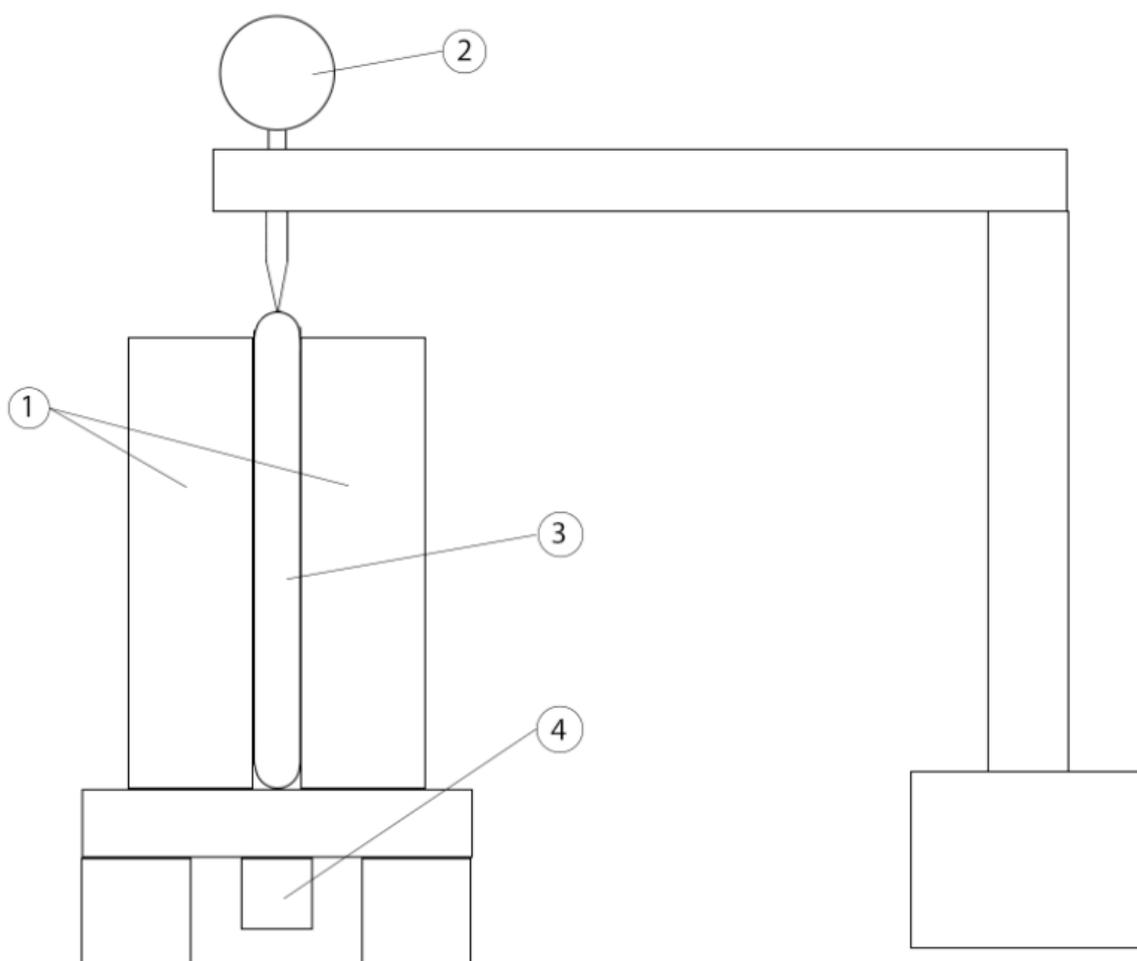


Рисунок 2. Экспериментальная установка для исследования явления магнострикции в пермендюре: 1 – зажимающие пластины, 2 – микрометр, 3 – пермендюрный образец, 4 – магнит

Микрометр – это универсальный измерительный прибор для высокоточного определения линейного размера детали. Измерение может быть произведено абсолютным или относительным контактным методом с

погрешностью, достаточной для точного определения относительного изменения продольных значений образца.

Пермендюр – сплав железа (47-50 %) с кобальтом (48-50 %), с небольшой добавкой ванадия (1.5-2 %).

2. Методика измерения

Для начала измерим значения магнитной индукции, создающейся магнитом в нашем образце, используя миллитеслометр.

Измерение первоначальной длины образца будет проводиться с помощью обычного штангенциркуля.

Для получения значений удлинения образца под действием магнитного поля мы калибруем микрометр. Для начала зафиксируем значение, которое показывает микрометр в отсутствие магнита. Затем аккуратно поднесем магнит к образцу и зафиксируем данное значение. Разница двух показаний и будет удлинением под действием магнитного поля.

3. Проведение эксперимента

Помещаем исследуемый образец на опору и закрепляем его в стык с зажимающими пластинами. Подносим миллитеслометр к верхнему концу образца и определяем искомую магнитную индукцию B . Полученное измерение составляет 43,8 мТл (Рис. 3).

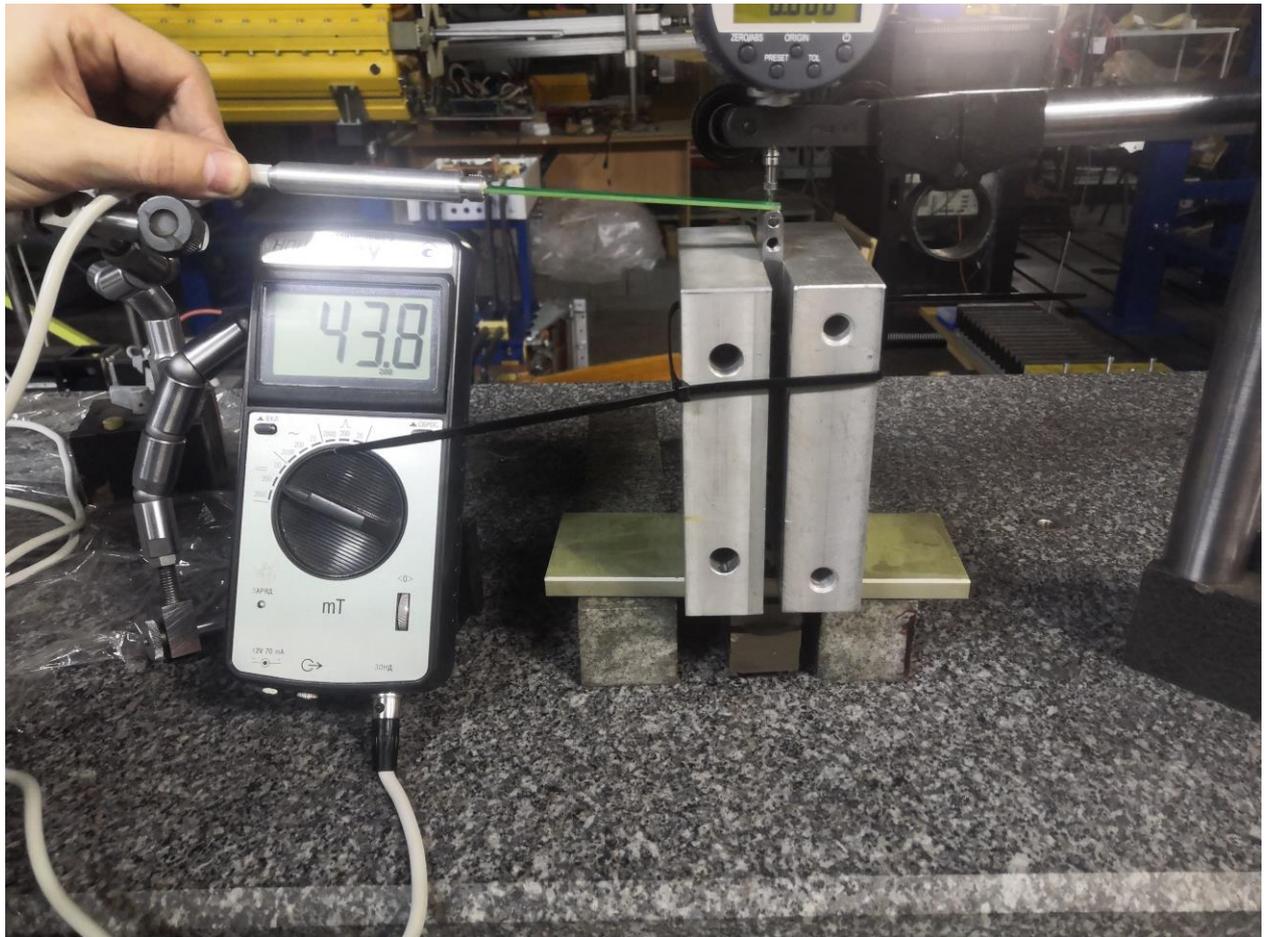


Рисунок 3. Измерение величины магнитной индукции

Изначальную длину образца l , мы измерили заранее, она составляет 147мм.
Далее фиксируем показания микрометра равными нулю, не поднося магнит к установке, избегая всякого влияния магнита на пермендюр.(Рис. 4)



Рисунок 4. Калибровка микрометра

Затем уже с поднесенным магнитом фиксируем изменение значения на микрометре, которое составит наше удлинение Δl , доказывающее, что мы наблюдаем явление, называющиеся магнитострикцией (Рис. 5).



Рисунок 5. Измерение удлинения образца

По формуле $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$ получаем, что $\lambda = 6,8 * 10^{-9}$, при $B = 43,8$ мТл.

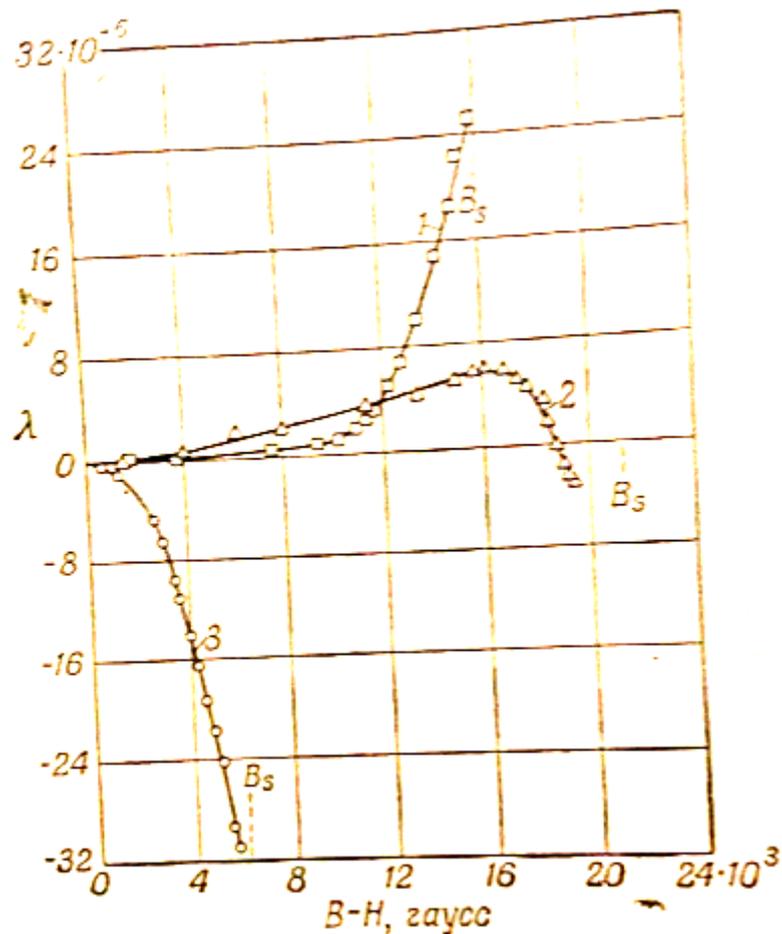


Рисунок 6. Зависимость магнитострикции от величины магнитной индукции разных материалов. 1 – 45-пермаллой; 2-железо; 3-никель. Пунктиром показаны значения намагниченности при насыщении.

4. Обсуждение результатов

При воздействии магнитной индукции на пермендюрный образец мы можем зафиксировать относительное удлинение исследуемого образца на величину порядка 10^{-9} , что никак не противоречит теории, т.к. явление магнитострикции подразумевает под собой изменения продольных размеров относительно начальной длины в пределах от 10^{-9} до 10^{-2} . Используя слабый магнит, мы получаем λ в пределах нижней границы. Наш эксперимент напрямую подтверждает теорию, потому что изменение продольных размером образцов напрямую зависит от величины создаваемого магнитного поля.

По итогу проведения эксперимента мы выяснили, что, используя измерительные приборы, способные обеспечить высокую точность

измерений, мы можем исследовать явление магнитострикции даже при слабых магнитных полях.

Основные погрешности составляют 10%, они возникают в результате измерения продольных размеров с помощью микрометра.

5. Вывод

Результаты показали, что выбранная методика для определения относительного удлинения пермендюрного образца пригодна для изучения явления магнитострикции и полученные в эксперименте значения оказались в пределах нормы, предсказанной теоретически.

Благодарности

Автор данной работы признателен этим людям за всестороннюю помощь и поддержку: Старостенко А.А. – за помощь в проектировании установки, изучении теории о магнитострикции и проведении эксперимента; Сенькову Д.В. – за помощь в реализации проведения эксперимента, изучении теории о магнитострикции и магнетизме; Ерохину А.Д. и Трубину Н.А. – признателен за оперативные ответы на мои поставленные вопросы и мотивацию.

Список литературы

1. Ричард М. Бозорт. Ферромагнетизм / Пер. с англ. / Под ред. Е. И. Кондорского и Б. Г. Лившица. — М.: Изд-во иностр. лит, 1956. — 784 с.
2. <https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetostriction>
3. <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/072/439.htm>