

**Автономная Некоммерческая Образовательная Организация
«Московская областная школа-интернат естественно-
математической направленности» имени П.Л. Капицы**

**XX научно-практическая
конференция
«Старт в инновации»**

**Изучение постоянных магнитных
полей**

Выполнила: Науменко София 8 класс

Научный руководитель: Науменко Данила Евгеньевич

Московская область г. Долгопрудный 2021г.

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Цель исследования | 3 |
| Задачи | 3 |
| Методы исследования..... | 3 |
| Теоретическая часть | 4 |
| Магнетизм в ферромагнетиках | 4 |
| Магнитное поле проводника с током | 4 |
| Взаимодействие магнитного диполя с магнитным полем | 4 |
| Практическая часть..... | 6 |
| Эксперимент с реакцией постоянных магнитов на однородное магнитное поле | 6 |
| Эксперимент с реакцией постоянных магнитов на неоднородное магнитное поле..... | 7 |
| Эксперимент с реакцией токов на магнитное поле | 8 |
| Эксперимент с реакцией замкнутых контуров, помещённых внутрь однородного магнитного поля, зависящего от времени | 8 |
| Выводы | 10 |
| Список литературы..... | 11 |

Введение

В настоящее время очень популярной стала тема электрического транспорта: такие производители, как Porsche, Volkswagen, Audi, KIA, Toyota, Ford, Tesla всё чаще анонсируют и представляют свои новые электрические автомобили. Помимо личного транспорта, существует ещё сегмент коммерческого, в который входят грузовые автомобили, морские суда и поезда. В то же время всё активнее развиваются системы передачи данных: Wi-Fi, Bluetooth, NFC и прочие. Эти две темы объединяются тем, что в обоих случаях разработчики имеют дело с электромагнитными полями и их свойствами. Соответствующая атмосфера в области новейших технологий сподвигла меня на изучение взаимодействий между полями и источниками магнитных полей (магнитными диполями).

Цель исследования

Изучить свойства однородных и неоднородных магнитных полей и проверить некоторые теоретические факты о них на практике.

Задачи

1. Изучить физические законы, реализующие взаимодействия магнитных полей
2. Провести эксперименты с реакцией постоянных магнитов на однородное магнитное поле
3. Провести эксперименты с реакцией постоянных магнитов на неоднородное магнитное поле
4. Провести эксперименты с реакцией токов на магнитное поле
5. Провести эксперименты с реакцией замкнутых контуров, помещённых внутрь однородного магнитного поля
6. Провести эксперименты с реакцией замкнутых контуров на изменение магнитного поля
7. Проанализировать полученные данные
8. Сравнить с теоретическими расчётами

Методы исследования

1. Метод наблюдения – пронаблюдать явление взаимодействия магнитных полей
2. Метод анализа – с помощью полученных измерениями данных сделать выводы
3. Метод сравнения – сопоставить полученные данные с измерений с теоретическими данными

Теоретическая часть

Магнетизм в ферромагнетиках

Вещества, состоящие из атомов железа, имеют свойство сильно реагировать на внешнее магнитное поле. Если атом находится в магнитном поле, его электроны начинают двигаться так, чтобы занять энергетически наиболее выгодное положение, что приводит к разделению атомов внутри вещества на подгруппы (домены), внутри которых атомы имеют примерно одинаковое направление магнитных моментов (рисунок 1). Неодимовые магниты – это тоже ферромагнетики, они состоят из сплава железа, бора и неодима, основными их преимуществами являются возможность сильного намагничивания и способность долго сохранять свой магнитный момент. Мы рассматриваем взаимодействия постоянных магнитных полей неодимовых магнитов с внешним полем, созданным соленоидом.

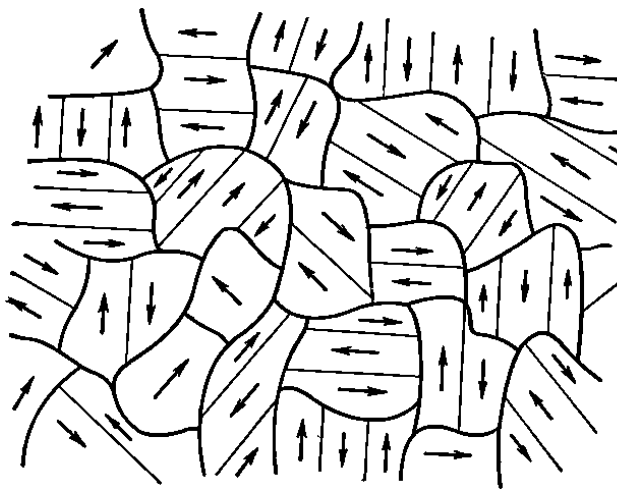


Рисунок 1

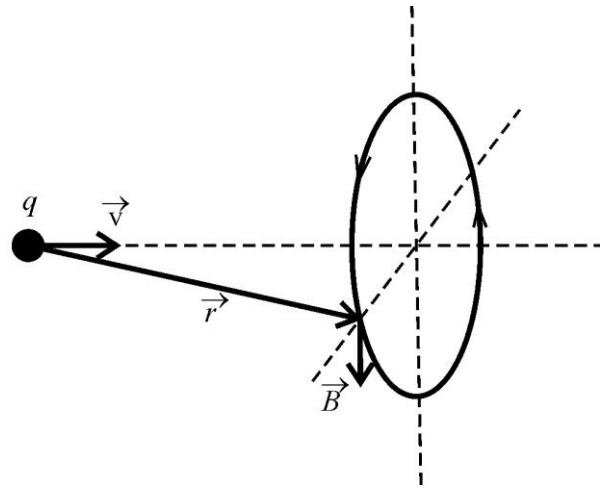


Рисунок 2

Магнитное поле проводника с током

Любой, движущийся в какой-либо системе отчёта заряд, создаёт вокруг себя магнитное поле, направленное по правилу векторного произведения вектора скорости и радиус-вектора от заряда до точки приложения. Таким образом, движущиеся по окружности заряды тоже создают магнитное поле, похожее на магнитное поле постоянного магнита. Проводник с током – это пример движения большого количества зарядов в одном направлении, их магнитные поля в одной точке складываются, так как радиус-векторы и скорости у них направлены в одну сторону (рисунок 2). В случае магнитного поезда используется соленоид, поле внутри которого однородно и увеличивается пропорционально плотности витков и силе тока.

Взаимодействие магнитного диполя с магнитным полем

В научном сообществе до сих пор нет информации, существует ли магнитный монополю, так что, я не буду рассматривать теорию, связанную с этим понятием. Вывод формулы взаимодействия магнитного поля с магнитным диполем описывается в учебниках, предназначенных для студентов второго курса (например, учебник Д.В. Сивухина «Курс общей физики. Том III. Электричество»), поэтому мы будем пользоваться готовым результатом для силы воздействия: $\vec{F} = [\vec{m}\nabla]\vec{B}$

Как видно из формулы, в однородном магнитном поле сила действовать не будет, значит, что магнит должен начать ориентироваться, находясь в магнитном поле. Данное утверждение было доказано мной на опыте с помощью специальной установки, стоящей из соленоида и постоянного магнита внутри трубы (рисунок 3):

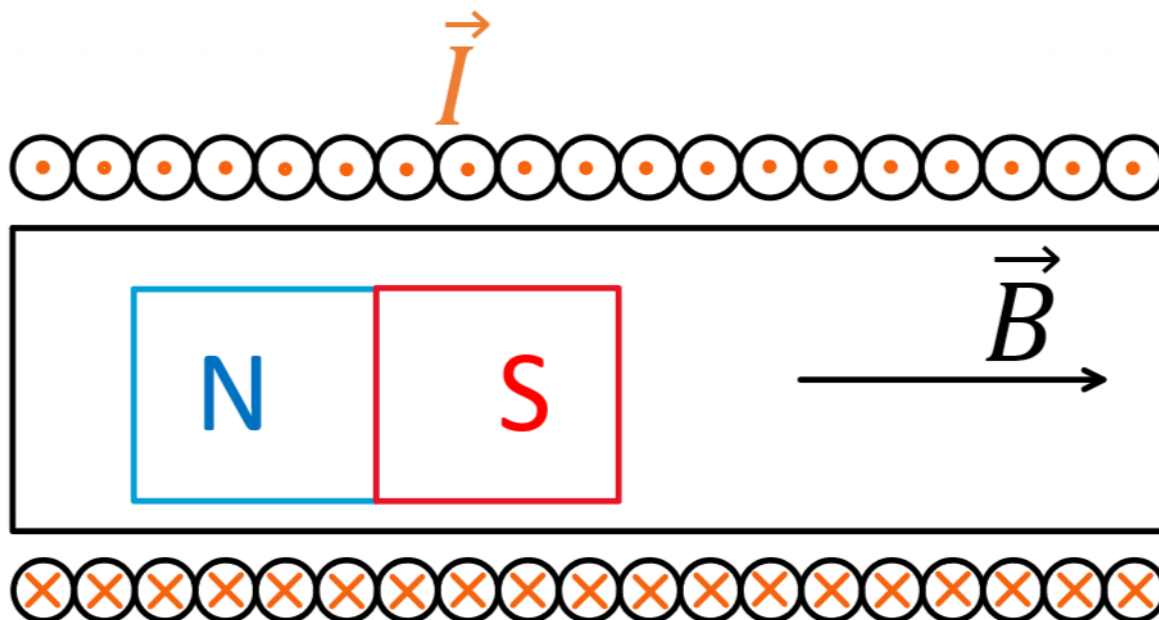


Рисунок 3

Зато в случае неоднородного магнитного поля, например, на выходе из соленоида, на магнит может действовать втягивающая или выталкивающая сила. Такой же эффект мы наблюдаем, когда прислоняем магниты разноимёнными или одноимёнными полюсами. Получается, что в каком-то смысле, соленоид с током можно отождествить с постоянным магнитом. И правда, как будет показано в последующих опытах, это, до определённого момента, равносильная аналогия.

Также, представляет интерес следующий вопрос: если движущийся заряд является источником магнитного поля, может ли какое-либо магнитное поле подействовать на заряд. Оказалось, имеет место сила, носящая имя силы Лоренца, которая действует на движущийся в поле заряд. Определение этой силы будет дано ниже. При дальнейшем погружении в тему было выяснено, что большинство из опытов, которые проводились в данной работе уже имеют своё применение в промышленных масштабах. Например, реакция проводника с током на магнитное поле, а также реакция замкнутого витка на изменение магнитного потока применяются в мобильных телефонах для передачи и записи звука; влияние магнитного поля на движение электронов в проводниках используется в датчиках Холла, которые используются как в портативной компьютерной технике, в автомобильной промышленности, так и в других сферах; ориентация магнита в постоянном магнитном поле соленоида используется для ориентации спутников относительно поверхности Земли. Так что, данное исследование, можно сказать, затрагивает большинство областей деятельности человека.

Практическая часть

Эксперимент по выяснению форм магнитных полей в пространстве

Итак, для начала необходимо выяснить формы полей, образованных прямым проводником с током, соленоидом с током и постоянным магнитом. Для изучения данного вопроса я решила использовать железные опилки, нанесённые на поверхность бумаги или картона, расположенную вблизи источника магнитного поля. Опилки железа намагничиваются, так как находятся в магнитном поле, и соединяются с другими опилками, которые в свою очередь тоже намагничиваются. Такие цепочки из опилок подвергаются влиянию со стороны магнитного поля, которое разворачивает их, согласно формуле взаимодействия магнитного поля с магнитным диполем. Полученные в результате опытов картины (рисунки 4, 5, 6) соответствуют предсказаниям, основанным на теоретических фактах:



Рисунок 4

Концентрические круги
вокруг прямого проводника
с током

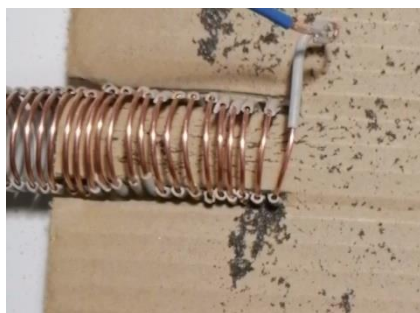


Рисунок 5

Прямые линии внутри
соленоида, изгибающиеся к
выходу из него.

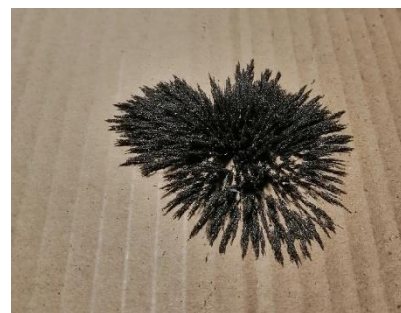


Рисунок 6

«Ёжик» у торца
постоянного магнита

Эксперимент с реакцией постоянных магнитов на однородное магнитное поле

В качестве однородного магнитного поля хорошо подходит внутреннее поле соленоида (длинной катушки) так как рассеивание поля происходит только на выходах из него. Поместим внутрь соленоида трубку, чтобы для магнита не было геометрических препятствий в передвижении. Возьмём маленький неодимовый магнит, достаточно небольших размеров, чтобы свободно перемещаться внутри катушки, у магнита на торцы наклеена плёнка разных цветов, чтобы можно было различать ориентации в пространстве. Положим магнит внутрь трубы, подключим соленоид к источнику постоянного тока (батарейке). Ток, идущий по виткам катушки, создаёт магнитное поле, на которое реагирует магнит. Из эксперимента стало очевидно, что магнит лишь ориентируется в пространстве под действием магнитного поля постоянной величины и направления. Передвижение магнита может быть связано только с отталкиванием от стенок вследствие разворота. Перевернём батарейку, чтобы запустить ток в другом направлении. Как видно магнит развернулся в другую сторону под действием вектора магнитной индукции, направленного в другом направлении, в противоположную сторону относительно первого опыта (рисунки 7, 8). Итак, можно заключить, что на постоянный магнит в однородном магнитном поле не действует никаких нескомпенсированных сил, зато существуют направленные в разные стороны силы, равные по величине, которые заставляют магнит ориентироваться по полю.



Рисунок 7

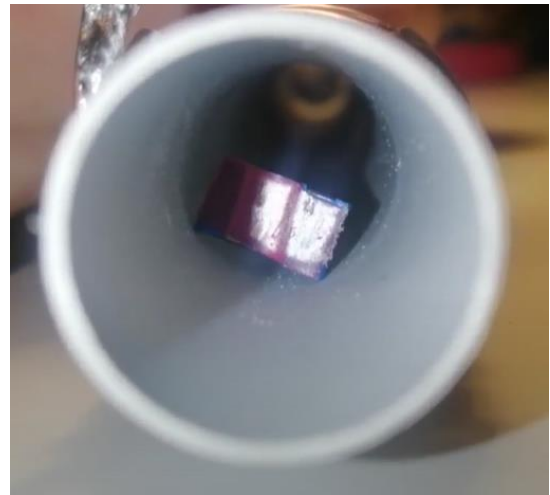


Рисунок 8

Эксперимент с реакцией постоянных магнитов на неоднородное магнитное поле.

Как уже было упомянуто в предыдущем описании, на концах соленоида магнитное поле становится неоднородным. Из данного утверждения следует, что на постоянный магнит должна действовать или выталкивающая сила, или втягивающая внутрь соленоида, так как градиент вектора магнитной индукции направлен в сторону наибольшего возрастания поля (внутри соленоида), а магнитный момент магнита может быть направлен в разные стороны относительно градиента ($\vec{F} = [\vec{m}\nabla]\vec{B}$). Для проведения корректного эксперимента потребуются большие магниты, которые не имеют возможности развернуться внутри трубы. Возьмём двухметровую пластиковую трубу с сечением, близким по геометрическим параметрам к сечению магнита, установим магнит на середину трубы. На трубу сверху надевается соленоид, не подключённый к источнику, таким образом, чтобы магнит внутри соленоида не лежал (рисунок 9). Подключаем соленоид к источнику постоянного тока. Ток генерирует внутри соленоида однородное магнитное поле, как уже было выяснено. Зато вне соленоида магнитное поле однородным считать нельзя. Как видно из опыта, на магнит действует сила со стороны неоднородного магнитного поля, так что, магнит втягивается внутрь соленоида. Если же мы направим ток в обратную сторону, градиент вектора магнитной индукции поменяет своё направление, и магнит станет выталкиваться из соленоида.



Рисунок 9

Эксперимент с реакцией токов на магнитное поле

Влияние магнитного поля на заряженные движущиеся частицы (токи) заключается в генерации силы Лоренца, определяющейся по формуле: $F_{\text{л}} = q[\vec{v}, \vec{B}]$. Для создания ситуации, в которой корректно будут учтены и магнитное поле, и направленный в одну и ту же сторону, относительно поля, ток, я сделала установку состоящую из батарейки, блока магнитов и рамки из медной проволоки специальной формы (рисунок 10). Рамка согнута из проволоки таким образом, чтобы один её конец касался положительной клеммы батарейки, а второй – магнитов, присоединённых ко второй клемме. По рамке течёт ток от положительной клеммы к отрицательной, на этот ток действует сила Лоренца, когда направление тока не совпадает с направлением поля, то есть, вблизи магнита. Вследствие действия этих сил, рамка начинает ускоренно раскручиваться до тех пор, пока не достигнет предельной скорости, которая будет следствием равновесия между силой Лоренца и силой сопротивления воздуха.



Рисунок 10

Эксперимент с реакцией замкнутых контуров, помещённых внутрь однородного магнитного поля, зависящего от времени

Замкнутые контуры, помещённые в магнитное поле, реагируют на изменение потока поля сквозь них, создавая внутри себя индуктивный ток, который компенсирует изменение потока магнитного поля сквозь контур. В данном эксперименте проверяются два факта: 1 - не изменяющееся во времени однородное магнитное поле не создаёт в замкнутом контуре никаких токов; 2 - изменяющееся во времени однородное магнитное

поле создаёт в замкнутом контуре индуктивные токи, которые компенсируют изменение потока. Руководствуясь формулой для тока в контуре: $I = -\frac{\Delta\Phi}{R \cdot \Delta t}$, где R – сопротивление контура, а Φ – поток магнитного поля через контур, можно заключить, что в однородном постоянном поле в контуре не будет никаких токов, они будут появляться в момент включения и выключения поля. Установкой послужило специальное пробное кольцо из проволоки радиусом 4 см, чтобы можно было поместить в него изготовленную катушку, кольцо разрывается проводом, идущим в линейный звуковой вход компьютера (jack 2.5). Проденем соленоид в кольцо приблизительно на половину длины, таким образом можно добиться однородности магнитного поля. Запускаем программу Audacity на компьютере, она реализует запись сигнала для дальнейшего анализа данных. Замыкаем катушку батарейкой. Текущий по катушке ток создаёт магнитное поле, а значит, и поток магнитного поля тоже меняется, значит, в пробной катушке индуцируется компенсационный ток в таком направлении, чтобы суммарный поток через эту катушку был равен нулю. На экране компьютера же можно наблюдать картину, как на рисунке 11.

Как видим, ток индукции сначала быстро вырос, так как изменение потока в момент замыкания было достаточно значительным. Далее, в силу свойств соленоида, изменение тока становилось всё меньше, сходясь к нулевому значению. Когда поток поля через пробную катушку стабилизировался, ток полностью исчез. Таким образом, доказаны оба факта, которые ставились для проверки в данном эксперименте.

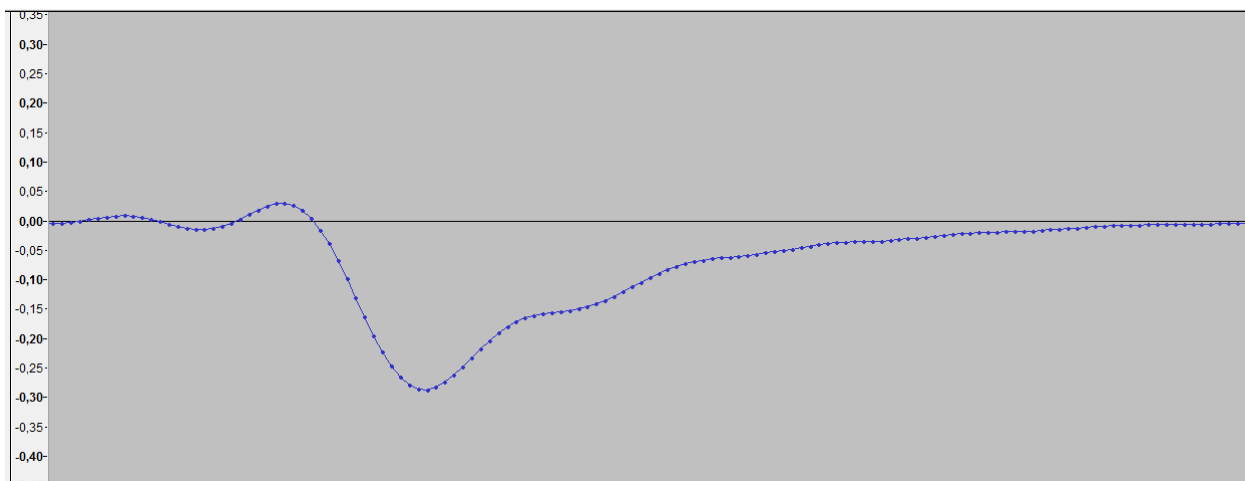


Рисунок 11

Выводы

Нельзя недооценивать влияние фундаментальных исследований в физических лабораториях на тематику магнетизма и электричества. В мире, который существует в наше время невозможно представить жизнь человека без использования результатов этих исследований: радио, кухонная техника, системы вентиляции, транспорт, системы навигации, системы дистанционного управления, - и ещё многое-многое другое каждый из нас использует изо дня в день, не задумываясь о том, какими законами физики реализуется та или иная технология. В данной работе я проверила на практике различные, хотя и давно известные, но актуальные для использования законы взаимодействия магнитных полей постоянной и непостоянной величины с различными привычными объектами. В заключение, хочу сказать, что магнитные поля и их взаимодействие с различными объектами - это область изучения с ещё очень большим потенциалом для развития и применения.

Список литературы

1. <https://foxford.ru/wiki/fizika/magnitnoe-pole>
2. <https://www.yaklass.ru/materiali?mode=lsntheme&themeid=131>
3. http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/электромагнетизм/02-7.htm
4. Д.В. Сивухин «Общий курс физики. Том III. Электричество»
5. Н.А. Кириченко «Электричество и магнетизм»
6. http://ens.tpu.ru/POSOBIE_FIS_KUSN/электромагнетизм/02-10.htm
7. <https://foxford.ru/wiki/fizika/sila-lorentsa>
8. <https://audacity-pro.site/how-to-audacity/>
9. <https://foxford.ru/wiki/fizika/yavlenie-elektromagnitnoy-induksii>
10. https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/ELEKTRICHESTVO_I_MAGNETIZM.html