

Областное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Вейделевская средняя общеобразовательная школа» Белгородской области
п.Вейделевка

Исследование возможности извлечения цветного металлолома из твёрдых бытовых отходов с использованием установки по изучению токов Фуко

Автор: Сидоров Юрий Юрьевич,
9а класс ОГБОУ «Вейделевская СОШ»
Руководитель: Зарудняя Наталья Александровна,
учитель физики ОГБОУ «Вейделевская СОШ»

2025 год

Оглавление:

Введение.....	3
1. Теоретическая база исследования.....	4
2. Практическая часть.....	4
2.1. План реализации проекта.....	4
2.2. Ресурсное обеспечение проекта.....	5
2.3. Механизм реализации проекта.....	6
2.3.1. Проведение опытов в школьной лаборатории с анализом технического применения результатов опытов.....	6
2.3.2. Создание установки для более эффективного наблюдения токов Фуко.....	11
2.3.2.1. Подбор оборудования и сборка установки.....	11
2.3.2.2. Испытание установки.....	13
2.3.2.3. Возможность применения установки для извлечения цветного металлолома из твёрдых бытовых отходов.....	15
2.4. Социально значимый эффект проекта.....	16
Список литературы.....	17

Введение

Учение о магнетизме охватывает огромный круг явлений и широко используется в науке, технике и повседневной жизни. Как вы ответите на вопрос: «Когда состоялось ваше первое знакомство с магнитами»? Вот и я, мне кажется, знаком был с ними всегда. Каждый знает, в чём особенность магнита. Маленькие дети играют магнитными конструкторами. И, когда приходят на уроки окружающего мира, даже на уроки физики, не удивляются свойствам магнита. А что же всё-таки удивительного скрывают магниты? Изучая физику в 8 и 9 классе, я познакомился с магнитными свойствами веществ, явлением электромагнитной индукции, токами Фуко и мне захотелось ответить на вопросы: Почему не все металлы притягиваются к магниту? А можно ли эти вещества заставить реагировать на магнит? Ответы на эти вопросы породили новые вопросы: Где применяются данные свойства так называемых цветных металлов? В каких устройствах? Чтобы ответить на эти и другие вопросы, было проведено данное исследование.

В данной работе собраны опыты с немагнитными металлами, проведённые с простейшим оборудованием в школьной лаборатории. Оказалось, что каждый из этих опытов скрывает его техническое применение.

Для более эффективного наблюдения воздействия токов Фуко применялась установка, которая позволяет наблюдать возникновение токов Фуко в различных предметах из цветного металла, фиксировать изменения тока и частоты вращения магнита. Идея этой установки с успехом может быть применена для извлечения цветного металлолома из твёрдых бытовых отходов.

Актуальность данной темы в том, что токи Фуко - это вопрос, имеющий практическое приложение в физике и требующий изучения физических явлений и умения проводить простейшие опыты, а также практическое применение в решении проблем по извлечению цветного металлолома из твёрдых бытовых отходов.

Цель проекта: исследовать возможность извлечения цветного металлолома из твёрдых бытовых отходов с использованием установки по изучению токов Фуко.

Задачи:

1. Изучить историю открытия токов Фуко, физические явления, которые объясняют возникновение токов Фуко.
2. Разработать серию опытов по демонстрации токов Фуко, подобрать оборудование для проведения опытов.
3. Провести опыты, демонстрирующие тормозящее действие токов Фуко.
4. Рассмотреть техническое применение наблюдаемых явлений.
5. Изучить и использовать в исследовании установку для более эффективного наблюдения токов Фуко.
6. Рассмотреть возможность применения установки для извлечения цветных металлов из твёрдых бытовых отходов.

Практическая значимость реализации проекта дает возможность:

- совершенствовать умения конструировать и производить сборку из готовых деталей, подгонять детали для улучшения работоспособности модели;

- развить пространственное воображение и логическое мышление;
- получить новые знания по физике и электротехнике.

Объект исследования - токи Фуко.

Предмет исследования - тормозящее действие токов Фуко.

Методы и приёмы исследования:

Теоретические: изучение научно-технической литературы, журналов, статей в сети Интернет по теме исследования; анализ и обобщение специальной литературы, публикаций; обобщение и систематизация собранной информации. Данные методы позволили провести анализ собранных фактов, выработать понятия, прийти к теоретическим обобщениям.

Практические: подбор оборудования, постановка опытов, моделирование, конструирование.

С помощью этих методов мы смогли правильно подобрать оборудование, провести опыты на простейшем оборудовании, которые можно повторить в домашних условиях, а также использовать установку для более эффективного наблюдения токов Фуко.

Сроки реализации проекта: май 2025 г. – октябрь 2025 г.

1. Теоретическая база исследования

Токами Фуко (вихревыми токами) называются электрические токи, возникающие вследствие электромагнитной индукции в проводящей среде (обычно в металле) при изменении пронизывающего её магнитного потока.

Первооткрывателем необычного явления был французский исследователь Д. Араго. Тайну возникновения данного явления удалось разгадать М. Фарадею благодаря открытому им закону электромагнитной индукции. Изучением свойств этих токов занимался французский естествоиспытатель Ж. Фуко, имя которого сейчас используется в их названии. Вихревые электрические токи Фуко всегда текут таким образом, чтобы оказывать действие обратное причине, спровоцировавшей их появление. Направление индуцированного тока определяется по правилу, которое сформулировал русский учёный Э. Ленц.

2. Практическая часть

2.1. План реализации проекта

№ п/п	Название работы	Сроки выполнения
1.	Изучение литературы и других источников по теме проекта	май 2025 года
2.	Подбор оборудования для проведения опытов, демонстрирующих тормозящее действие токов Фуко	июнь 2025 года
3.	Проведение опытов, демонстрирующих тормозящее действие токов Фуко, в условиях школьной лаборатории	июнь 2025 года
4.	Анализ технического применения результатов опытов	июль 2025 года
5.	Консультирование по вопросам электротехники	июль 2025 года

6.	Подготовка необходимых деталей для создания установки для более эффективного наблюдения токов Фуко	август 2025 года
7.	Сборка установки для более эффективного наблюдения токов Фуко	август 2025 года
8.	Испытание установки для более эффективного наблюдения токов Фуко	сентябрь 2025 года
9.	Проведение экспериментов	сентябрь 2025 года
10.	Изучение возможности применения установки для извлечения цветных металлов из твёрдых бытовых отходов.	октябрь 2025 года
11.	Подведение итогов работы, подготовка презентации проекта	октябрь 2025 года

2.2. Ресурсное обеспечение проекта

Ресурсы	Планируемые мероприятия
Кадровые	- Беседа с инженером-электриком по подбору оборудования для конструирования и сборки установки более эффективного наблюдения токов Фуко; - Беседа с учителем физики по подбору оборудования для проведения опытов по демонстрации тормозящего действия токов Фуко.
Научно-методические	- Подбор материалов в учебной литературе по теме проекта; - Разработка материалов для проведения опытов по демонстрации тормозящего действия токов Фуко; - Самообразование по теме проекта.
Организационные	- Согласование с администрацией школы графика работы по реализации проекта: подбор оборудования и проведение опытов; сборка установки и её испытание.
Информационные	- Использование Интернета в поисках информации по теме проекта; - Консультации с научным руководителем по теме проекта; - Использование возможностей школьной лаборатории для проведения опытов; - Использование оборудования школьной лаборатории кабинета физики для проведения опытов; - Создание электронных ресурсов, обеспечивающих реализацию проекта.
Материально-технические	- использование оборудования школьной лаборатории; - использование подручных средств для проведения опытов.
Правовые	- Реализация проекта не противоречит Уставу школы.

2.3. Механизм реализации проекта

2.3.1. Проведение опытов в школьной лаборатории с анализом технического применения результатов опытов

В ходе исследования разработана серия опытов по демонстрации тормозящего действия токов Фуко, подобрано оборудование для проведения опытов. Было проведено четыре опыта, в ходе каждого из которых наблюдалось тормозящее действие токов Фуко. По результатам каждого опыта рассмотрено техническое применение наблюдаемого явления.

Опыт 1. Как остановить колеблющийся на нити магнит?

Если магнит подвесить на нити, отклонить его от положения равновесия и отпустить так, чтобы он вошёл со скоростью v в пространство между алюминиевыми пластинами, то колебания магнита практически сразу прекратятся. Замедление движения связано с возбуждением в пластине вихревых токов, препятствующих изменению потока вектора магнитной индукции. Поскольку пластина обладает конечным сопротивлением, токи индукции постепенно затухают и магнит медленно двигается в магнитном поле. Если алюминиевую пластину убрать, то магнит будет совершать обычные колебания, характерные для маятника.



Фото 1. Измерение времени затухания колеблющегося шарика



Фото 2. Измерение времени затухания колеблющегося кольцевого магнита на нити над алюминиевой пластиной

Техническое применение тормозящего действия токов Фуко в колеблющихся устройствах

Наблюдаемое явление используется для создания магнитных успокоителей – демпферов. Если под качающейся в горизонтальной плоскости магнитной стрелкой расположить массивную медную пластину, то возбуждаемые в медной пластине токи Фуко будут тормозить колебание стрелки. Магнитные успокоители такого рода используются в сейсмографах, для демпфирования (успокоения) подвижных частей электроприборов.

Опыт 2. Как заставить алюминий реагировать на неодимовые магниты?

Можно создать условия, когда алюминий взаимодействует с магнитом. Для опыта потребуется: алюминиевая пластина; мощный магнит; нитка; 2 пачки от спичек.

Просто приложив неподвижный магнит до алюминиевой пластины можно убедиться, что притяжения не будет. Если поставить пластину на два спичечных коробка, и подвесить над ней магнит, то при его раскачивании можно заметить пошатывание алюминия.

Такой эффект возникает, поскольку когда магнит пролетая над пластиной, на ней зарождается электрический ток, создающий и электромагнитное поле. Оно взаимодействует с полем магнита, поэтому пластина расшатывается и падает. Если пластина удерживается в каких-то опорах, то сила реакции уравнивается силами реакции этих опор. Если же пластина свободна, то она будет следовать за магнитом при любом направлении его движения. Это понятнее, если представить себе, что сила трения огромна, т.е. магнит оказывается как бы «приклеенным» к пластине.



Фото 3. Раскачивание алюминиевой пластины колеблющимся магнитом



Фото 4. Падение алюминиевой пластины под воздействие колеблющегося магнита.

Техническое применение возникновения токов Фуко в алюминиевой пластине

На этом эффекте работает индукционный двигатель: с помощью вращающегося магнитного поля приводится во вращение проводящий (обычно алюминиевый) диск. Именно так устроены ваттметры и электросчётчики.

Счётчики с вращающимся диском знакомы практически каждому. Это те счётчики, за прозрачной панелью которых есть вращающееся колесико.

Создаваемые магнитные потоки проникают сквозь алюминиевый диск и пронизывают его несколько раз. Появляются электромеханические силы, которые и вращают диск.

Опыт 3. Парение магнита в медной трубе

Если взять неодимовый магнит и пропустить его через медную трубу, то он будет парить, медленно опускаясь. Этот эффект происходит из-за магнитного отталкивания. Но что именно происходит? Все достаточно просто и объясняется с точки зрения физики на основе токов возникающих токов Фуко. При падении магнита внутри медной трубы, его магнитное поле постоянно перемещается, создавая вихревые токи. При этом медь является проводящим металлом со своим магнитным полем. Таким образом, возникает противостояние магнитных полей трубы и самого магнита с вихревым током, что не позволяет магниту пролететь сквозь трубу, опуская его очень медленно.

На самом деле смотреть на этот опыт очень интересно и даже завораживающе. Для этого потребуется: неодимовый магнит, медная труба, пластиковая труба.

Для большего эффекта можно сделать опыт в два этапа. Сначала отпустить магнит сквозь пластиковую трубу, а потом сквозь медную. В пластиковой трубе магнит не испытывает никакого тормозящего действия, а в медной падает намного медленнее, можно сказать парит.



Фото 5. Наблюдение за падением неодимовых магнитов сквозь пластиковую и медную трубу

Техническое применение магнитов в медных трубах в различных отраслях

Магниты в медных трубах находят широкое применение во многих отраслях. В строительстве магниты в медных трубах активно используются при монтаже систем отопления и водоснабжения. Они позволяют легко и надежно соединять трубы, облегчая установку и снижая время работы. В автомобильной промышленности магниты в медных трубах широко применяются для создания электрических контактов и передачи электрических сигналов. Они играют важную роль в электрических системах автомобилей, обеспечивая надежную работу и долговечность. В энергетической промышленности магниты в медных трубах применяются для создания и поддержания электрических цепей.

Опыт 4. Наблюдение действия правила Ленца при возникновении токов Фуко при скатывании магнитов по алюминиевой пластине

Для опыта потребуется алюминиевая направляющая, два кольцевых магнита, учебник в качестве наклонной плоскости, штатив с лапкой и муфтой.

Учебник подбираем таким образом, чтобы его поверхность и поверхность алюминиевой направляющей были с одинаковым коэффициентом трения между поверхностями и магнитами.

Соберём наклонную плоскость. Отпускаем магниты одновременно по учебнику и по магнитной направляющей. Наблюдаем равноускоренное движение магнита по учебнику, магнит очень быстро соскальзывает, и наблюдаем действие тормозящей силы между магнитом и индукционным током, возникающим в алюминиевой направляющей.



Фото 6. Наблюдение за скатыванием магнитов по картону и по алюминиевой пластине

Техническое применение тормозящего действия токов

Одним из примеров применения тормозящего действия токов Фуко являются тормоза на железной дороге. Хотя эти тормозные системы еще не получили широкого распространения, их низкая стоимость и высокая надежность делают их полезными для применения: в лифтах и других подъемных механизмах; в промышленных буровых установках; в аттракционах парка развлечений, в т.ч. американских горках; в спортивных тренажерах.

2.3.2. Создание установки для более эффективного наблюдения токов Фуко

2.3.2.1. Подбор оборудования и сборка установки



Для создания установки использовано следующее оборудование:

Набор для самостоятельной сборки и пайки (конструктор) «Цифровой тестер кварцевых резонаторов» 1 Гц-50 МГц (Ф) - частотомер



3-х проводной Вольтметр с цифровым дисплеем желтый 0,28 DC 0-100V постоянного тока, который был перепаян на амперметр



Компьютерный вентилятор	
Неодимовый магнит	

Подобрано крепление для всех частей установки. Установка работает от сети 220В.

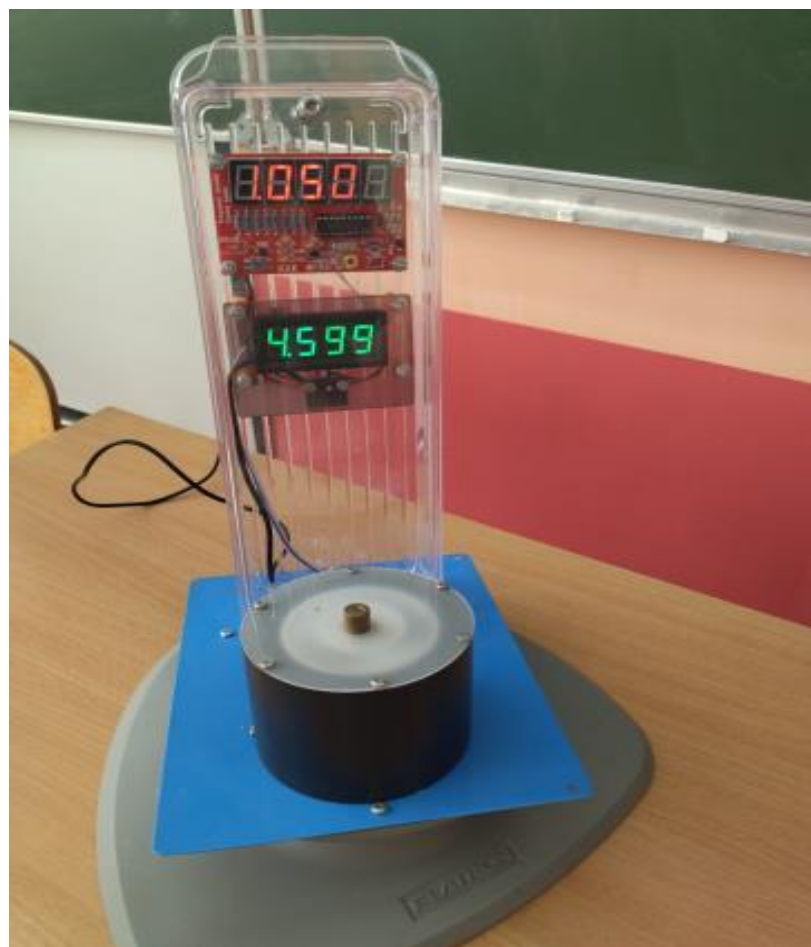


Фото 7. Общий вид установки. Верхнее цифровое табло частота вращения магнита, который находится в нижней части установки. Нижнее цифровое табло сила тока в цепи.

2.3.2.2. Испытание установки

Для испытания установки были взяты разные материалы (проводники), не обладающие ферромагнитными свойствами: алюминиевая полая цилиндрическая емкость (банку из-под Соса-Сола), плотная алюминиевая фольга (по форме в виде пластинки), алюминиевые полоски разной толщины и алюминиевый цилиндр, медная трубка и латунный цилиндр, ювелирные украшения из серебра и золота. В ходе эксперимента фиксировалась сила тока в цепи и частота вращения магнита.



Фото 8. Опыт с алюминиевой полоской толщиной 1 мм



Фото 9. Опыт с медной трубкой

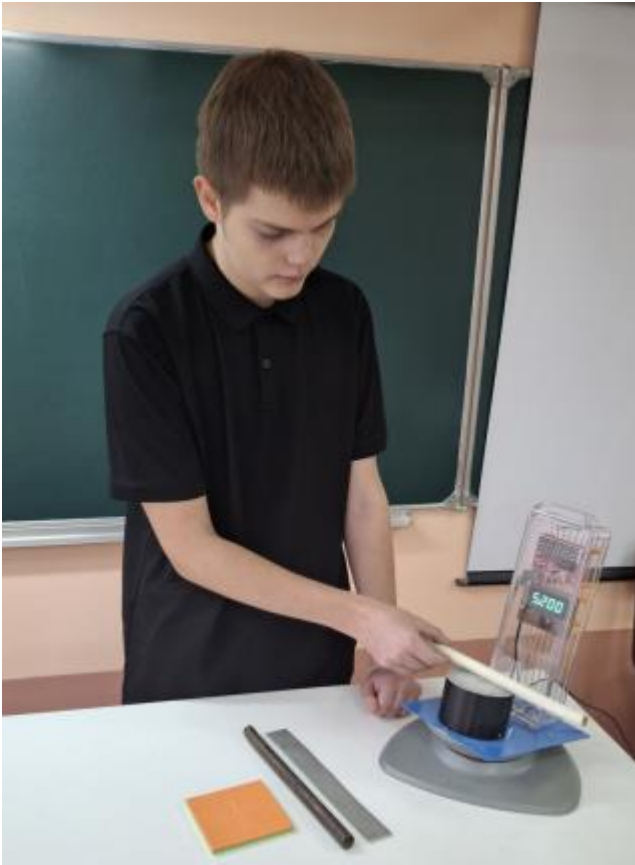


Фото 10. Опыт с пластиковой трубкой



Фото 11. Опыт с золотым кольцом



Фото 12. В качестве исследуемого объекта коробка с мусором, состоящим из бумаги, алюминиевой фольги

Испытание установки позволило провести более эффективное наблюдение токов Фуко, возникающих в неферромагнитных материалах. А также подтвердилось тормозящее действие токов Фуко, что подтверждают значения силы тока в цепи и частота вращения магнита. Сила тока в цепи, а значит и тока Фуко, зависит от материала испытуемого объекта, расстояния от магнита до испытуемого объекта и его массы.

Исходя из результатов испытания установки, можно сделать вывод о том, что токи Фуко можно использовать для определения материала (металла) испытуемого объекта по данным силы тока и частоты вращения магнита.

2.3.2.3. Возможность применения установки для извлечения цветного металлолома из твёрдых бытовых отходов

Одним из применений идеи данной установки является его использование для извлечения цветного металлолома из твёрдых бытовых отходов, то есть создание так называемого сепаратора цветных металлов.

Известно, что содержание цветного металлолома в ТБО до 1990 г. не превышало 0,1 - 0,3 %, а после 1995-1999 гг. увеличилось до 0,5 - 0,7 %, его извлекают из компоста и крупного отсева.

Так работают сепараторы цветных металлов, действие которых основано на использовании токов Фуко, возникающих в проводнике, попадающем в переменное магнитное поле. Эти токи вызывают вторичное магнитное поле, взаимодействующее с первичным магнитным полем. В результате проводник выбрасывается из зоны действия первичного поля.

Сепаратор цветного металла располагают в схеме завода только после сепаратора черного металла. Для снижения установленной мощности и расхода электроэнергии в сепараторы цветных металлов используют постоянные магниты. Для создания переменного магнитного поля, которое необходимо для сепарации цветных металлов, постоянные магниты устанавливают на вращающихся шкивах. Причем скорость вращения магнитной системы должна быть существенно выше скорости вращения шкива. Установка может быть дополнена частотомером и при многократном сепарировании выделять разные металлы (алюминий, медь, золото, серебро, латунь и т.д.).

2.4. Социально значимый эффект проекта

Цель проекта достигнута. Задачи в ходе исследования выполнены полностью.

Исследуемая проблема для меня очень важна, и я ещё больше заинтересовался вопросами, затронутыми в работе. Результаты исследования могут быть использованы для проведения уроков физики в 8, 9, 11-х классах и при подготовке к ОГЭ и ЕГЭ по физике.

Кроме этого важным является то, что в ходе проведения исследования удалось повысить чувство собственной значимости в решении поставленных задач, связанных с моими научными интересами по теме «Токи Фуко».

В дальнейшем можно провести расчеты по вычислению силы тока. По закону электромагнитной индукции можно вычислить силу тока, но придется измерять многие параметры (величину магнитного поля, скорость его изменения, сопротивление проводника и т.д.). Можно попытаться рассчитать или оценить степень нагревания проводника (металлического объекта). В нашем случае такие замеры невозможны, т.к. температурные изменения были слишком слабые. Возможно, это следует проводить (исследовать) для более сильного магнита, большей массы.

Практическая значимость работы состоит в том, что она может быть использована учащимися для пропаганды исследовательской деятельности, для популяризации знаний по физике. А также она может быть интересна учащимся, занимающимся проведением научных экспериментов. А так как в ходе исследования были проведены опыты на простейшем оборудовании, то эти опыты можно повторить и в домашних условиях.

Данное исследование может быть интересно и полезно на уроках физики для демонстрации тормозящего действия токов Фуко.

Значимым фактом данного исследования является то, что сконструирована установка для более эффективного наблюдения токов Фуко, идеи которого могут быть с успехом применены для создания установок для извлечения цветных металлов из твёрдых бытовых отходов.

Мой интерес к теме исследования не исчерпан, в дальнейшем планируется усовершенствование опытов, проведённых в ходе исследования, и дальнейшая разработка сконструированной установки.

Список литературы:

1. А.Л. Дорофеев, Вихревые токи – М., «Энергия», 1977 г.-72 с.
2. История электротехники, Издательство МЭИ, Москва, 1999 г. – 524 с.
3. А.В. Перышкин, Е.М. Гутник. Физика. 9 кл.: учебник для общеобразовательных учреждений– М.: Дрофа, 2008 г. – 300 с.
4. С.В. Плетнев, Магнитное поле: свойства, применение: Научное и учебно-методическое справочное пособие. – Спб.:Гуманистика, 2004 г.- 624 с.