

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики и методико-информационных технологий

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

**Дидактическое обеспечение темы
«Явление электромагнитной индукции» школьного
курса физики**

студентки 5 курса 533 группы физического факультета
направления 44.03.01 «Педагогическое образование»

Кузнецовой Людмилы Александровны

Научный руководитель:

к. ф.- м.н., доцент

Зав. кафедрой:

д. ф.-м.н., профессор

В.Б. Гаманюк

Т.Г.Бурова

Саратов, 2020 год

Введение

Огромное число электрических устройств и приборов, да и сама возможность иметь дома электрическую «розетку», по существу, является технической реализацией открытий и исследований, проведенных в начале и середине 19 века. В первую очередь к ним следует отнести явление электромагнитной индукции.

Не является секретом, что изучение данной темы школьниками сопряжено с определенными трудностями. Они вызваны появлением новых понятий, таких, например, как вихревое электрическое поле или индуктивного сопротивления, противоречащих, казалось бы, тому, чему их учили ранее. Поэтому для получения желаемых предметных результатов учитель должен разработать (или подобрать) такой комплекс дидактических материалов, который позволил бы познать физическую природу электромагнитных полей. При этом для углубления знаний следует предусмотреть проведение демонстраций основных теоретических положений, а также дать примеры практического использования открытых законов и явлений. Поскольку в современных школах есть компьютерные классы будет полезным наряду с натурными экспериментами воспользоваться имеющимися обучающими и моделирующими программами.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является создание дидактического сопровождения по теме «Явление электромагнитной индукции», которое будет способствовать расширению кругозора и повышению уровня технической культуры школьников, оказывая тем самым определенное влияние на их профориентацию.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи** дипломного исследования:

1. Провести теоретико-методологический обзор соответствующей учебной и методической литературы по выбранной теме.
2. Ознакомиться с задачами учебного физического эксперимента и предъявляемыми к нему требованиями.

3. Выяснить, какие дополнительные ресурсы заложены в оборудование школьного физического кабинета

4. На основе информации, полученной по п.п. 1-3, предложить цикл реальных демонстрационных и лабораторных опытов.

5. Разработать компьютерные исследования по выбранной теме на основе программы «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ».

Настоящая выпускная квалификационная работа состоит из введения, в котором обоснована её необходимость, основной части из двух глав, заключения и списка использованных источников.

В первой главе даны основные положения теории, необходимые для углубленного понимания последующего изложения.

Во второй главе описаны натурные и компьютерные демонстрационные и лабораторные эксперименты.

В заключении подводятся итог проделанной работы.

Краткое содержание

С целью облегчить понимание излагаемого материала в теоретической части настоящей выпускной квалификационной работы даны определение необходимых физических величин и сформулированы законы, которые соответствуют явлениям, происходящим в нестационарных магнитных полях.

Прежде всего, к ним относится *индукция магнитного поля* \vec{B} , которую можно ввести с помощью закона Андре Мари Ампера: *сила, действующая на проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле, пропорциональна длине проводника l , силе тока I и синусу угла α между силовыми линиями внешнего магнитного поля и током в проводнике*. Формула этого закона имеет вид [1,2]:

$$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (1).$$

Направление силы Ампера находят по *правилу левой руки*: если расположить левую руку так, чтобы линии индукции входили в ладонь, а вытя-

нутые четыре пальца были направлены вдоль тока, то отведенный большой палец укажет направление силы, действующей на проводник.

Величину B в (1), выполняющую формально функцию коэффициента пропорциональности, можно считать характеристикой магнитного поля.

$$B = \frac{F_A}{I \cdot l \cdot \sin \alpha}. \quad (2)$$

Следовательно, величина *индукции магнитного поля равна силе, действующей со стороны магнитного поля на проводник единичной длины с током, равным единице, расположенный перпендикулярно силовым линиям магнитного поля.*

В общем случае индукцию магнитного поля следует считать вектором, направление которого задается касательной к силовой линии, а величина их густотой (подобно вектору напряженности \vec{E} электростатического поля). Произведение $B \cdot \sin \alpha$ определяет составляющую индукции, перпендикулярную проводнику с током. Таким образом, проекция вектора \vec{B} на направление тока не дает вклада во взаимодействие.

Если поместить проводник с током в магнитное поле, то оно будет воздействовать на каждую движущуюся заряженную частицу с некоторой силой F_L , которая получила название *сила Лоренца* [1,2]. Поскольку все частицы имеют одинаковый заряд и движутся с одной и той же скоростью, то для однородного магнитного поля F_A равна:

$$F_A = NF_L, \quad (3)$$

где N – число частиц. По величине сила тока I равна произведению концентрации носителей заряда n на их заряд q , скорость v и площадь поперечного сечения проводника S :

$$I = qnvS. \quad (4)$$

В свою очередь число заряженных частиц в проводнике равно

$$N = nLS. \quad (5)$$

Окончательно имеем

$$F_L = qvB \sin \alpha. \quad (6)$$

Сила Лоренца перпендикулярна скорости и поэтому *не влияет на её величину, изменяется лишь направление движения заряженной частицы.*

Действие магнитного поля не в одной точке, а в некоторой области, определяется *потоком вектора магнитной индукции (магнитным ток) Φ через какую-либо поверхность* [1,2]. Если в однородном магнитном поле индукции \vec{B} расположить элемент плоскости площадью S с нормалью \vec{n} к нему (рисунок 3), то величина магнитного потока через такую площадку равна

$$\Phi = B \cdot S \cdot \cos\alpha, \quad (7)$$

где α – угол между векторами \vec{B} и \vec{n} .

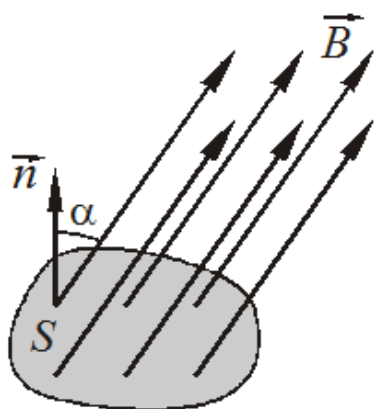


Рисунок 1 – Магнитный поток

На языке силовых линий магнитный поток представляет собой *число этих линий, «пронизывающих» находящуюся в поле поверхность.*

В случае поверхности произвольной конфигурации и неоднородного магнитного поля следует всю поверхность разбить на столь малые элементы ΔS_k , в пределах которых допустимо считать магнитное поле однородным, а форму самих элементов – плоской. Для вычисления потока через ΔS_k справедлива формула (8). Поток вектора магнитной индукции Φ через всю поверхность равен алгебраической сумме потоков через её отдельные части, то есть

$$\Phi = \sum_{k=1}^N \Delta\Phi_k = \sum_{k=1}^N B_k \Delta S_k \cos\alpha_k. \quad (8)$$

Правильнее, конечно, в (9) проводить интегрирование по всей поверхности.

Для магнитных полей справедлив *принцип суперпозиции* [1]: индукция \vec{B} магнитного поля в любой точке пространства равна геометрической сумме полей \vec{B}_k в этой точке от каждого отдельного источника, если бы он был единственным:

$$\vec{B} = \sum_{k=1}^N \vec{B}_k. \quad (8)$$

Магнитный поток Φ , создаваемый проводником через поверхность, им же ограниченную, пропорционален силе протекающего тока I [1,21]:

$$\Phi = L \cdot I. \quad (10)$$

Этот вывод вытекает из принципа суперпозиции и того факта, что во всех элементах проводника ток имеет одну величину. Коэффициент пропорциональности L в (9) назван **индуктивностью проводника**.

С точки зрения практического применения наибольший интерес получили проводники, представляющие собой изолированный провод, имеющий вид спирали. Чаще всего эти спирали (обмотку) размещают на цилиндрических или тороидальных каркасах. Такие устройства называются **катушками индуктивности**. Их индуктивность может быть весьма большой.

В 1831 М.Фарадей открыл явление, получившее название **электромагнитная индукция**, суть которого состоит в следующем: **при изменении магнитного потока, пронизывающего проводящий замкнутый контур, в нем возникает электрический ток** [2,5]. Следовательно, в контуре должна появиться некая электродвижущая сила – ЭДС индукции \mathcal{E}_i . Фарадей установил, **что \mathcal{E}_i равна с противоположным знаком скорости изменения магнитного потока через контур**:

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}. \quad (11)$$

Данное утверждение и получило название **закона электромагнитной индукции**. Наличие знака «минус» в формуле объясняется правилом Ленца или законом сохранения энергии: \mathcal{E}_i всегда имеет такое направление, чтобы возникшей в результате её действия индукционный ток, воспрепятствовал причине, вызвавшей эту ЭДС.

Многочисленные опыты показали что, индукционный ток возникает в проводящем контуре при любом способе изменения магнитного потока через ограничивающую им поверхность.

Из выражения для магнитного потока следует, что он становится переменным вследствие изменений:

1. **Площади**, ограниченной проводящим контуром;
2. **Угла α** , то есть положения по отношению к магнитному полю;
3. **Индукции** магнитного поля.

В первых двух случаях элементы контура должны перемещаться в магнитном поле. Вместе с проводником происходит перемещение зарядов, находящихся в нем. Поэтому в рассматриваемых случаях на заряды начнет действовать сила Лоренца, приводящая их в движение.

Для проводника длиной Δl при его равномерном движении со скоростью V перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля с индукцией B на его концах возникает ЭДС индукции, равная

$$\mathcal{E}_i = VB\Delta l. \quad (12)$$

Эту формулу можно распространить и на случай неоднородного магнитного поля и произвольного перемещения в нем элемента dl контура.

Когда в покоящемся проводнике возникает электрический ток, свободные электроны, содержащиеся в нем, начинают двигаться направленно. Такое возможно только при появлении электрического вдоль оси проводника. Значит, в рассматриваемом случае единственной причиной возникновения индукционного тока является изменение магнитного потока через поверхность, ограниченную проводящим контуром, вследствие изменения индукции \vec{B} .

Следовательно, можно предположить, что нестационарные магнитные поля вызывают появление электрического поля. Это поле называют **индукционным или вихревым** [2,6]. Впервые такую точку зрения высказал английский ученый Джеймс Клерк Максвелл. Объединив результаты предыдущих исследований, он 1864 г. создал **теорию электромагнитного поля** [2,7]. Согласно ей, изменяющееся магнитное поле порождает изменяющееся электрическое поле, а переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле.

Индукционное электрическое поле имеет свои особенности, поскольку не обусловлено распределением зарядов. Тем не менее, для его описания используют известные из электростатики физические величины – напряженность \vec{E} и электродвижущую силу. При этом ЭДС не является локализованной: она возникает во всей элементах цепи, где меняется поток магнитной индукции. Для сравнения заметим, что ЭДС химического элемента или ЭДС термопары возникают только в определенном участке, а у аккумулятора она возникает в пограничном слое между металлом и электролитом.

Как показывает опыт, ЭДС индукции не зависит от рода вещества проводника, от его температуры. *ЭДС индукции определяется исключительно свойствами самого магнитного поля. Проводники же в явлении электромагнитной индукции играют второстепенную роль, являясь своего рода приборами, обнаруживающими электромагнитное поле* [2,7].

Когда по виткам катушки индуктивности протекает ток, внутри неё создается магнитное поле. При изменении силы тока это магнитное поле также будет изменяться. Поскольку геометрия катушки сохраняется, изменение тока вызовет изменение собственного магнитного потока, «пронизывающего» витки катушки, что приведет к возникновению в катушке ЭДС индукции \mathcal{E}_i , которая получила название ЭДС самоиндукции и обозначается символом \mathcal{E}_S [2,11]. Таким образом, помимо ЭДС, вызывающей в катушке изменяющийся во времени ток, в ней действует еще и \mathcal{E}_S . Согласно правилу Ленца ЭДС самоиндукции при увеличении силы тока в цепи будет препятствовать его увеличению, а при уменьшении – будет его поддерживать. Такое поведение \mathcal{E}_S можно моделировать появлением некоего дополнительного сопротивления току, которое названо *индуктивным сопротивлением*.

В случае постоянной индуктивности для \mathcal{E}_S имеем [11]

$$\mathcal{E}_S = -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d(LI)}{dt} = -L\frac{dI}{dt}. \quad (13)$$

Явление самоиндукции препятствует изменению тока в контуре. Показано, что при замыкании цепи, содержащей источник постоянного тока, он

достигает своего стационарного значения не сразу, а при размыкании – не может исчезнуть мгновенно. В цепях с большим значением индуктивности указанные процессы проявляются весьма ощутимо.

С целью закрепления теоретических знаний описаны важнейшие практические применения явления электромагнитной индукции: механические генераторы электроэнергии, электрические трансформаторы и индукционные печи.

Во второй главе предложен комплекс натуральных и компьютерных экспериментов.

Глава начинается с перечисления необходимого оборудования и электроизмерительных приборов, необходимых для проведения запланированных опытов. Ими, как правило, оснащены школьные физические кабинеты. Данное обстоятельство позволяет считать предлагаемые демонстрации легко реализуемыми.

Отличительная особенность ряда экспериментов состоит в нетрадиционном использовании элементов учебного трансформатора: опыты проводятся с использованием источника постоянного тока. Это обусловлено тем, что в этом случае отключение или подключение цепи с большой индуктивностью может вызвать появление значительной ЭДС индукции, которую легко обнаружить.

Приведена схема демонстрации, позволяющей убедиться в правильности правила Ленца.

Показано, что свойства цепи, состоящей из двух одинаковых катушек с общим магнитопроводом, зависят от способа их соединения. Это свойство позволило путем бифилярной намотки проволочных резисторов устранить их индуктивность, что важно в случае высокой частоты протекающего по ним тока.

С помощью оригинальной экспериментальной установки продемонстрировано возникновение ЭДС индукции в прямом проводнике при его

движении в магнитном поле. Этот опыт является иллюстрацией к выводу формулы для возникающей при этом \mathcal{E}_i .

С целью достижения максимального позитивного эффекта, результаты каждого опыта подробно обсуждаются, отмечается главная причина наблюдаемого физического явления.

Помимо натуральных опытов приведены разработанные на основе электронного конструктора «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ» компьютерные демонстрации и лабораторные исследования по выбранной теме. В частности показано, что поведение идеальной катушки индуктивности на переменном токе иное, чем известное нам для постоянного тока. При этом опытным путем показано, какими факторами обусловлены выявленные особенности.

В результате компьютерного моделирования получены формула для реактивных сопротивлений идеальной катушки индуктивности.

Благодаря тому, что в конструкторе «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ» имеется двухканальный осциллограф, появилась возможность показать и одновременно оценить фазовые сдвиги между током и напряжением в цепях с индуктивностью. По итогам исследований сделан вывод о том, что для таких цепей расчеты нужно проводить на основе теоремы Пифагора.

Из содержания второй главы следует, что компьютерный эксперимент, независимо от его предназначения, обладает определенными преимуществами перед натурными исследованиями. Например, реальные катушки всегда имеют активное сопротивление. Поэтому их далеко не всегда можно уподоблять идеальным индуктивностями. Возможности «живого» опыта, кроме того, определяются уровнем оснащением школьного физического кабинета, а оно, как известно, весьма скромное. Помимо этого плохое состояние контактов электрических схем, неустойчивость в работе источников питания и тому подобное порой сводят на нет убедительность опытов. Указанные обстоятельства необходимо принимать во внимание учителю при планировании школьных демонстрационных экспериментов.

Таким образом, учителю сначала следует задуматься над тем: что целесообразнее выбрать – «живую» демонстрацию или компьютерную.

Заключение

В результате проведенной работы предложена одна из возможных версий дидактического обеспечения занятий в профильных классах школ по теме «Явление электромагнитной индукции». Мотивацией к созданию такого «продукта» послужил тот факт, что получение глубоких знаний по данной теме сопряжено с определенными трудностями, поскольку здесь учащиеся сталкиваются с рядом фактов, противоречащих на первый взгляд тому, чему их учили ранее. Например, довольно сложно осознать, что электрические поля могут быть как потенциальными, так и вихревыми. К сложным для понимания можно отнести и явление самоиндукции, а тем более последствиям её действия. Также должна вызвать удивление неправомерность использования на переменном токе формулы закона Ома, известной для постоянного тока.

Чтобы не было нужды отсылать читателя к первоисточникам, в работе приведены необходимые сведения из теории магнетизма. Для большей убедительности даны примеры практического применения основных положений теории, подробно описано достаточно большое число натуральных и виртуальных экспериментов, для реализации которых достаточно оборудования школьного физического кабинета.

Способы решения педагогических задач должны отличаться многообразием и оригинальностью. В настоящей работе сделана попытка представить один из возможных вариантов. На вопрос, насколько он хорош, может ответить только результат его апробации в школе, которая по ряду вполне объективных причин не состоялась. Однако хочется надеяться, что проделанная работа не была напрасной.

Список использованных источников

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3 Т. Т. 2. Электричество и магнетизм / И.В. Савельев. М.: Наука, 2009. – 442 с.
2. Мякишев Г.Я. Физика. Электродинамика. 10-11классы / Г.Я.Мякишев, А.З.Синяков, Б.А.Слободсков. М.: Дрофа, 2010. – 476 с.
3. Опыт Эрстеда. Магнитное поле тока. Взаимодействие магнитов. Действие магнитного поля на проводник с током. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL:<https://fizi4ka.ru/ogje-2018-po-fizike/opyt-jersteda-magnitnoe-pole-toka-vzaimodejstvie-magnitov-dejstvie-magnitnogo-polja-na-provodnik-s-tokom.html> свободный (Дата обращения 18.11.2019). – яз. рус.
4. Опыты А.-М. Ампера. Магнитное взаимодействие токов. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <http://novmysl.ru/Electrodynamics/Ampere.html> (Дата обращения 20.11.2019). – яз. рус.
5. Явление электромагнитной индукции. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL:<https://fizi4ka.ru/egje-2018-po-fizike/jelektromagnitnaja-indukcija.html> (Дата обращения 09.12.2019). – яз. рус.
6. Вихревое электрическое поле. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: https://bstudy.net/726717/estestvoznание/vihrevoe_elektricheskoe_pole (Дата обращения 12.12.2019). – яз. рус.
7. Электромагнитная теория Максвелла. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL:https://spravochnick.ru/koncepciya_sovremennogo_estestvoznaniya/elektromagnitnaya_teoriya_maksvella/ (Дата обращения 18.12.2019). – яз. рус.
8. Потенциал электрического поля. Разность потенциалов. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://interneturok.ru/lesson/physics/10-klass/osnovy-elektrodinamiki-2/potentsial-elektricheskogo-polya-raznost-potentsialov> (Дата обращения 28.12.2019). – яз. рус.
9. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://interneturok.ru/lesson/physics/11->

klass/belektromagnitnaya-indukciyab/pravilo-lentsa-zakon-elektromagnitnoy-induksii (Дата обращения 05.01.2020). – яз. рус.

10. Закон Кулона. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://calcsbox.com/post/zakon-kulona.html> (дата обращения 08.01.2020). – яз.рус.

11. Самоиндукция. Индуктивность. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://interneturok.ru/lesson/physics/11-klass/belektromagnitnaya-indukciyab/samoinduktsiya-induktivnost> (дата обращения 15.01.2020). – яз.рус.

12. Экспоненциальная функция в переходных процессах. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <http://edu.mieen.ru/moodle/file.php/568/1semestr/42.htm> (дата обращения 23.01.2020). – яз.рус.

13. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Цепи переменного тока: учебное пособие. / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева. Саратов: Изд-во. СРОО «Центр» Просвещение», 2014. с.82.

14. Генератор постоянного тока. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fwww.asutpp.ru%2Fgenerator-postoyannogo-toka.html> (дата обращения 26.01.2020). – яз.рус.

15. Как устроены генераторы постоянного и переменного тока. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/1706-kak-ustroeny-generatory-postojannogo-i.html> (дата обращения 03.02.2020). – яз.рус.

16. Генератор на неодимовых магнитах. Вечный двигатель на неодимовых магнитах. Генератор на постоянных магнитах. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://otradnoeford.ru/generator-on-neodymium-magnets-perpetuum-mobile-on-neodymium-magnets.html> (дата обращения 11.02.2020). – яз.рус.

17. Устройство трансформатора. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL:http://class-fizika.ru/11_34.html (дата обращения 15.02.2020). – яз.рус.

18. Принцип работы индукционных печей. Принцип индукционного нагрева. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://inductor.su/tehnickeskaya-biblioteka/printsip-raboty-induktsionnyh-pechej-printsip-induktsionnogo-nagreva/> (Дата обращения 18.02.2020). – яз.рус

19. ВС-24М выпрямитель селеновый (учебный). [Электронный ресурс]– [сайт]. – URL:<https://pandia.ru/text/80/139/21475.php> (дата обращения 16.02.2020). – яз.рус.

20. Состав набора школьного демонстрационного трансформатора. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://yandex.ru/images/search?text> (дата обращения 21.02.2020). – яз.рус.

21. Гальванометр: описание, принцип работы и разновидности. [Электронный ресурс] – [сайт]. – URL: <https://stroy-podskazka.ru/elektroizmeritelnye-pribory/galvanometr/> (дата обращения 03.03.2020). – яз.рус

22. Начала ЭЛЕКТРОНИКИ.[Электронный ресурс]: электронный конструктор. Алма-Ата, 1998.

23. Гаманюк В.Б. Использование виртуальной лаборатории «Начала электроники» в разработке элективных курсов: учебное пособие / В.Б. Гаманюк, Б.Е. Железовский, Н.Г. Недогреева. Саратов. Издательство Издательский Центр «Наука», 2013. С – 54.

24. Гаманюк В.Б., Недогреева Н.Г. Исследование электрических цепей при помощи электронного конструктора «Начала ЭЛЕКТРОНИКИ»: учебно-методическое пособие. / В.Б.Гаманюк, Н.Г.Недогреева под ред. Б.Н.Железовского. Саратов: Изд-во СРОО «Центр «Просвещение», 2014. – С. 69.

25. Бифилярная катушка и её использование [Электронный ресурс]– [сайт]. –<http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/1787-bifiljarnaja-katushka-i-ee-ispolzovanie.html> (дата обращения 23.01.2020). – яз.рус.



05.06.2020 г.