

ПАРАДОКСЫ МАГНЕТИЗМА

Проскоряков Д.А.

г. Пенза, МБОУ «СОШ № 11 с УИП гуманитарно-правового профиля», 9 класс

Руководитель: Абросимова М.А., г. Пенза,

МБОУ «СОШ № 11 с УИП гуманитарно-правового профиля», учитель физики

Все что нас окружает – это материя. Существует два вида материи: вещество и поле. Если вещество мы еще можем представить, как оно выглядит и его свойства, то поля нет, так как они невидимы и не осязаемые. В этой работе я попытался лучше изучить этот вид материи и рассмотреть парадоксы магнитного поля или парадоксы магнетизма.

Парадокс (от гр. paradoxes неожиданный, странный) – мнение, суждение, резко расходящееся с общепринятым, противоречащее (иногда только на первый взгляд) здравому смыслу; формально-логическое противоречие, которое возникает в содержании теории множеств и формальной логике при сохранении логической правильности хода рассуждений; неожиданное явление, не соответствующее обычным явлениям.

Актуальность работы заключается в том, что при изучении магнитного поля очень часто нет возможности показать проявление пондеромоторных сил в неоднородном магнитном поле, а также иных проявлений неоднородного магнитного поля.

Цель работы: показать некоторые эффекты неоднородных и однородных магнитных полей в занимательной форме.

Задачи:

1. Рассмотреть теоретическое описание магнитного поля;
2. Рассмотреть природу пондеромоторных сил;
3. Показать на опыте проявление пондеромоторных сил.

Объект исследования: магнитное поле.

Предмет исследования: проявление неоднородности магнитного поля.

Магнитное поле и его характеристики

1. История открытия

Магнитные явления были известны еще в древнем мире: компас был изобретен более 4000 лет назад, и к XII веку он стал известен в Европе. Однако только в XIX веке была обнаружена связь между электричеством и магнетизмом, и возникло представление о магнитном поле. Первыми экспериментами, показавшими, что между электрическими и магнитными явлениями

имеется связь, были опыты датского физика Х.Эрстеда (1777 – 1851) (рис. 1). В своем знаменитом опыте, описываемом ныне во всех школьных учебниках физики и проведенном в 1820 году, он обнаружил, что провод, по которому идет ток, действует на магнитную стрелку (то есть подвижный магнит) (рис. 2).



Рис. 1. Эрстед

Опыт Эрстеда

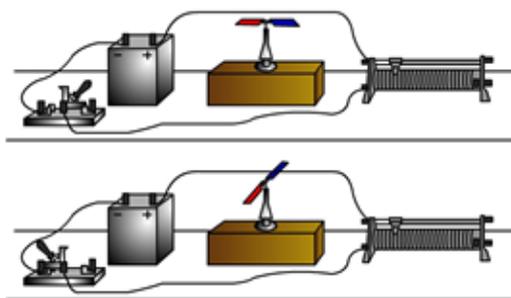


Рис. 2. Опыт Эрстеда

2. Магнитное поле

Магнитное поле – силовое поле в пространстве, окружающем электрические токи и постоянные магниты. Существуют как однородные магнитные поля, так и неоднородные. Однородное магнитное поле:

в любой точке поля сила действия на магнитную стрелку одинакова по модулю и направлению (линии поля параллельны друг другу; одинаково густы) (рис. 3).



Рис. 3. Однородное магнитное поле

Неоднородное магнитное поле: сила действия на магнитную стрелку в разных точках различна как по модулю, так и по направлению (линии поля искривлены; густота не одинакова в различных точках) (рис. 4).



Рис. 4. Неоднородное магнитное поле

3. Гипотеза Ампера

Магнитные свойства тела определяются микроскопическими электрическими токами (орбитальное движение электронов в атоме) – токами Ампера. Если направление токов неупорядочены, то порождаемые ими магнитные поля компенсируют друг друга, т.е. тело не намагничено. (Рис 5)

Во внешнем магнитном поле токи упорядочиваются, вследствие чего в веществе возникает собственное магнитное поле – намагниченность.



Рис. 5. Гипотеза Ампера

4. Постоянный магнит

Постоянным магнитом называют тело, которое способно в течении длительного времени сохранять намагниченность (рис. 6). Намагниченность тела определяется по его способности притягивать к себе железные предметы. Если окружить магнит мелкими железными опилками, то можно заметить, что разные участки поверхности магнита по-разному притягивают опилки. Те участки поверхности, которые оказывают на частицы железа наибольшее действие, принято называть полюсами магнита. У любого магнита есть два полюса: северный и южный. Одноименные магнитные полюса отталкиваются, а разноименные притягиваются.



Рис. 6. Постоянные магниты

5. Характеристики магнитного поля

Вектор магнитной индукции \vec{B} (Тл) – векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля. Направление вектора магнитной индукции в данной точке поля совпадает с направлением, которое показывает северный полюс магнитной стрелки в этой точке. Картину магнитного поля постоянного магнита можно наблюдать, если накрыть магнит листом картона или плотной бумаги, а сверху насыпать железные опилки (рис. 7).

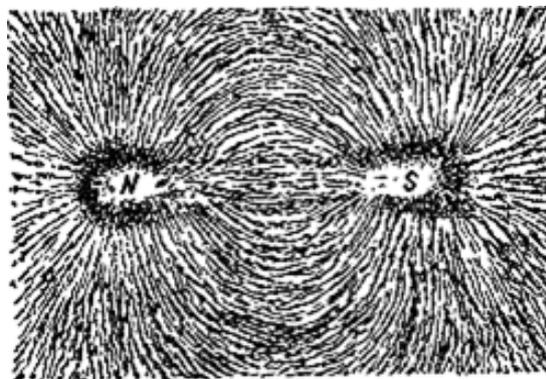


Рис. 7. Магнитное поле постоянного магнита

Модуль вектора магнитной индукции равен отношению модуля силы F , с которой магнитное поле действует на расположенный перпендикулярно магнитным линиям проводник с током, к произведению силы тока I в проводнике и его длины l :

$$B = \frac{F_a}{Il}; [1 \text{ Тл}] = \left[\frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ А} \cdot 1 \text{ м}} \right]$$

Единицей магнитной индукции в системе СИ является тесла (1 Тл).

Вектор напряженности магнитного поля \vec{H} (А/м).

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0}$$

Где μ – магнитная проницаемость среды (у воздуха $\mu = 1$); $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ А} \cdot \text{м} / \text{Вб}$ – магнитная постоянная. Направление напряженности совпадает с направлением вектора магнитной индукции, т.е. $\vec{H} \uparrow \vec{B}$.

6. Способы определения направления вектора магнитной индукции (или напряженности)

1. Направление вектора магнитной индукции \vec{B} совпадает с направлением на север магнитной стрелки.

2. В пространстве между полюсами постоянного магнита вектор магнитной индукции \vec{B} выходит из северного полюса.

3. При определении вектора магнитной индукции с помощью витка с током следует применять правило буравчика.

Линии магнитной индукции – линии, касательные к которым в любой точке пространства совпадает с направлением вектора магнитной индукции, тем сильнее поле. Направление вектора магнитной индукции определяется правилом буравчика.

Эксперименты

1. Зависание тел около кольцевого магнита

Теория: ферромагнитные тела притягиваются не к полюсам магнита, а к месту наибольшего скопления силовых линий этого магнита.

Цель работы: убедиться, что на опущенное в магнитное поле ферромагнитное тело будет действовать пандеромоторная сила, которая втягивает это тело в область наибольшего скопления силовых линий этого поля.

Оборудование: кольцевой магнит, пробирка, несколько колец из ферромагнетика.

Ход работы:

- 1) поместить кольца в пробирку с магнитом;
- 2) проверить наличия зависание тела;
- 3) выявить от чего зависит результат;
- 4) сделать вывод.

Из курса физики мы знаем, что магнит может притягивать к себе другие магниты (если магниты расположены разными полюсами друг к другу) и отталкивать магниты (если они расположены одинаковыми полюсами друг к другу). Ферромагнетики магнит только притягивает. Но наш опыт показывает, что в магнитном поле железные предметы могут зависать в воздухе.

Действительно, кольца под действием магнита зависают в пробирке, а это значит, что на кольца либо не действуют силы или действие сил скомпенсировано (по первому закону Ньютона). Но на кольцо в любом случае действует сила тяжести, значит, на кольцо действуют силы, которые компенсируют друг друга. Из серии опытов выясняется, что у магнита 3 “точки равновесия” (рис. 8).

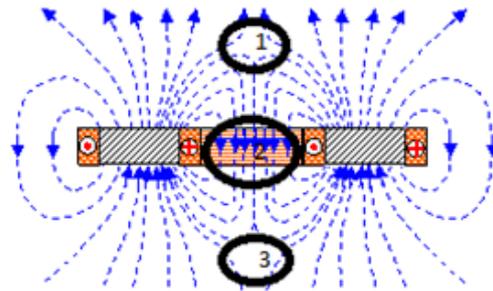


Рис. 8. Три точки равновесия

Расположим пробирку горизонтально. Стальное кольцо будет находиться на каком-то расстоянии от магнита. При попытке переместить кольцо, оно будет возвращаться в точку равновесия. Значит, в магнитном поле возникает какая-то сила, которая пытается вернуть это кольцо в точку равновесия.

Расположим пробирку вертикально. В этом случае на кольцо действует сила тяжести, которая в этом случае не компенсируется силой реакции опоры. Но все же кольцо висит (рис. 9).

Дело в том, что на кольцо действуют пандеромоторные силы. Пандеромоторные силы – это силы, которые действуют на тела, находящиеся в электромагнитном поле. Если ферромагнетик находится в магнитном поле и если оно неоднородное, то это тело втягивается в область более сильного поля, то есть в область, где силовые линии более густые. Пандеромоторные силы – это механические силы, испытываемые магнетиками в магнитном поле, и эти

силы сводятся к силам, испытываемым молекулярными токами.



Рис. 9. Зависание тела в поле кольцевого магнита

В экспериментах на осевой линии в силу симметрии можно считать, что линии магнитного поля направлены вдоль одной прямой. Как видно на рисунке (Рис.10) в центре магнита силовые линии направлены вверх, а чуть выше силовые линии направлены вверх. Получается в магнитном поле кольцевого магнита, силовые линии магнитного поля меняют свое направление, т. е. поле неоднородно.

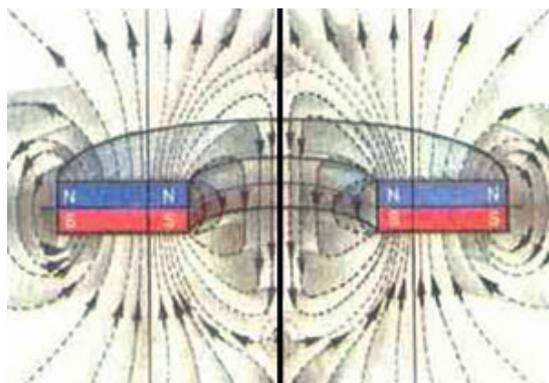


Рис. 10. Магнитное поле кольцевого магнита

Значит, существует точка, в которой $\vec{B} = 0$. То есть, если выше этой “нулевой” точки попадает ферромагнетик, он начинает испытывать пандеромоторные силы, которые втягивают ферромагнитное тело в область наибольшего скопления силовых линий.

Если попытаться сместить кольцо с точки равновесия, то на кольцо начнет действовать сила, которая будет пытаться вернуть его в точку равновесия, в место с наибольшей плотностью магнитных линий, т.е. возникает устойчивое равновесие. Из этого можно утверждать, что в этом случае пандеромоторные силы больше силы тяжести, действующей на это тело.

Вывод

На уроках нам говорят, что у полюса магнита наибольшая сила притяжения, но на этом опыте мы убедились, что ферромагнетик притягивается не к полюсам, а к месту наибольшего скопления силовых линий. Получается, сила притяжения ферромагнитного предмета к любому виду магниту обусловлена не полюсами, а пандеромоторными силами, действующими на предмет.

Опыт не противоречит утверждению о том, что наибольшая сила притяжения находится на полюсах, так как у полюса наибольшее скопление силовых линий.

2. Термопара и магнитная стрелка

Теория: принято считать, что при нагревании спая термопары создается слабое ЭДС, которое создает слабый ток. При этом этот ток создает очень слабое магнитное поле, которое может отклонить на небольшой угол стрелку, только очень чувствительного гальванометра, а для создания магнитного поля заметной величины, необходимо создать значительный ток.

Цель работы: попытаться при помощи термопары создать ток, который создает в свою очередь заметное магнитное поле.

Оборудование: термопара, таблетка сухого горючего или зажигалка, компас или магнитная стрелка.

Ход работы:

- 1) Нагреть термопару.
- 2) Поднести к термопаре компас или магнитную стрелку.
- 3) Выявить от чего зависит результат.
- 4) Сделать вывод.

Расположим термопару параллельно магнитному полю Земли. При нагревании в термопаре возникает ЭДС, так как контур замкнут по термопаре начинает течь ток такой величины, что он вокруг проводника создает магнитное поле, которое в соответствии с законом Био – Савара – Лапласа создает магнитное поле, которое в зоне близко расположенного компаса создает магнитное поле перпендикулярное магнитному полю Земли. В следствии суперпозиции полей, результирующее поле (как векторная сумма) будет иметь иное направление, не совпадающее, естественно, с Земным. Это и доказывает, что даже очень малое ЭДС может создать заметный ток, способный в свою очередь создать заметное магнитное поле.

Действие термопары основано на эффекте Зеебека. Если контакты (обычно спаи) проводящих элементов, образующих термопару, находятся при разных температурах, то в цепи термопары возникает ЭДС, величина которой однозначно определяется температурами горячего и холодного контактов и природы материалов, примененных в качестве термоэлектродов.

При нагревании термопары до 300-400°C в термопаре возникает ЭДС, но числовое значение ЭДС этого тока очень мало (оно составляет около пяти тысячных долей одного Вольта). Если взять очень толстый провод, то за счет малого сопротивления можно добиться большого тока по закону Ома.

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R}$$

Тогда показания компаса будут намного лучше, чем при малом токе.

Вывод

Магнитное поле может возникнуть даже при очень маленьких значениях ЭДС. Главное, чтобы в цепи была большая сила тока. Увеличить ток можно при помощи изменения сопротивления. Если уменьшить сопротивление, то сила тока увеличится (можно взять толстый провод: при толстом проводе сопротивление уменьшится). Если в цепи сильный ток, то и магнитное поле будет тоже сильным, так как при сильном токе заряды движутся быстрее.

3. Действие магнитного поля на движущиеся ионы

Теория: мы видим много примеров силы Лоренца, когда она действует на проводник с током. Этой силой обусловлено вращение проволочной рамки в магнитном поле в электродвигателе, когда вращающаяся часть состоит из многих рамок. Но роль таких проводников может играть любая электропроводная среда, т.е. сила Лоренца может действовать на частицу в любой электропроводной среде.

Цель работы: на простом примере показать действие силы Лоренца на ионы, движущиеся в электролите.

Оборудование: несколько кольцевых магнитов, чашка Петри, электролит, два стержневых электрода, источник постоянного напряжения (рис. 11)

Ход работы:

- 1) под чашку Петри положить несколько магнитов;
- 2) налить в чашку Петри электролит;
- 3) установить два стержневых электрода;
- 4) подключить электроды к источнику постоянного напряжения;
- 4) сделать вывод.

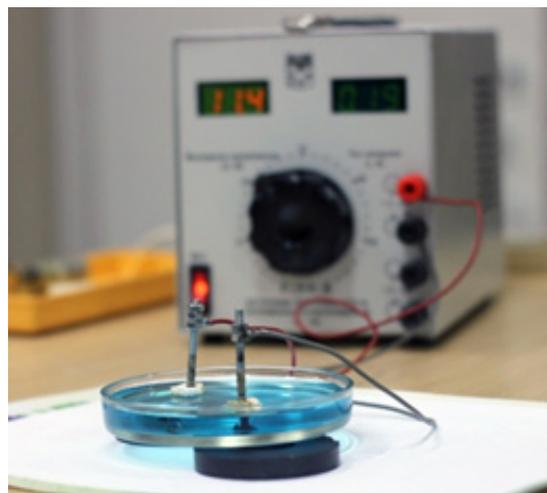


Рис. 11. Сила Лоренца в растворе электролита

Если через электрод, пропустить электрический ток, то можно заметить, как мелкие частички, которые находятся в растворе электролита, начинают двигаться по окружности. Почему это происходит? Дело в том, что при пропуске электрического тока через раствор, частицы в растворе начинают двигаться. Снизу лежат магниты, которые создают магнитное поле. Движущаяся частица обладает скоростью и движется в магнитном поле, частица начинает испытывать силу Лоренца. Эту силу мы и наблюдаем в этом опыте.

Вывод

При упоминании силы Лоренца у многих сразу возникает ассоциация с проводниками. На данном опыте можно убедиться, что частица, находящаяся в магнитном поле, может испытывать силу Лоренца в любой среде. Силу Лоренца испытывают частицы даже в воздухе. Наглядным примером может послужить планета Земля. Частицы солнечного ветра, попадая в магнитное поле Земли, начинают испытывать силу Лоренца, которая закручивает эти частицы вдоль своих силовых линий.

Заключение

В данной работе рассмотрены некоторые эффекты неоднородных и однородных магнитных полей в занимательной форме и теоретическое описание магнитного поля. Также на опыте было показано проявление пондеромоторных сил и рассмотрена их природа.

Список литературы

1. Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Крючков Ю.Ю. Физика. Часть 2. Электричество и магнетизм: учебное пособие для технических университетов. – Томск: Изд-во Томского университета, 2003. – 738 с.

2. Савельев И.В. Курс общей физики: учебное пособие: в 3 т. Т.2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – 7-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2007. – 496 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: учебное пособие для вузов. – 4-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2002. – 718 с.

4. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие для вузов. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Академия, 2004. – 560 с.

5. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. – 5-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 319 с.: ил.

6. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Метью Фейнмановские лекции по физике. Вып. 5. Электричество и магнетизм: пер. с англ. / под ред. Я.А. Смородинского. – 3-е изд., испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 304 с.

7. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Метью Фейнмановские лекции по физике. Вып. 7. Физика сплошных сред: пер. с англ. / под ред. Я.А. Смородинского. – 3-е изд., испр. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.

8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Курс теоретической физики: в 10 т. Т. 3. Электростатика. – М.: Физматлит, 2002. – 224 с.

9. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебное пособие для вузов: в 5 т. Т. III. Электричество. – 3-е изд., стер. – М.: Физматлит, 2006. – 656 с.

10. Кабардин О.Ф. Физика. Справочник для школьников и поступающих в вузы. – М.: АСТ-ПРЕСС, 2015.

11. Горбушкин Ш.А. Азбука физики.

12. Современный словарь иностранных слов: около 2000 слов. – М.: Рус. яз., 1992. – 740 с.