

Исследование влияния магнитного поля провода на компас

Абстрактный

Этот прибор имеет 2 основных применения. Первое заключается в обучении понятиям резонанса в контексте магнетизма, которые могут быть применены к обучению и пониманию магнитно-резонансной визуализации. Вторым исследует направление поля вокруг проводки тока и суперпозицию магнитных полей. Угол отклонения компаса можно измерить как функцию расстояния от провода и сравнить с теорией.

Конструкция аппарата:

Этот аппарат состоит из 30 см. квадратного куска оргстекла, прикрепленный к коротким ногам. Одной из желаемых особенностей этого аппарата была возможность видеть компас ниже провода, а также один выше. Поэтому Плексиглас был выбран, потому что прозрачный. Однако, мы также сделали этот прибор из пены и обнаружили, что он был с недостатком и нельзя было видеть через него. (Версия сердечника цепи маленькая для легкой сборки.)

Паз в форме правого треугольника был отрезан в плексигласе так, что провод можно поместить под поверхность, позволяя компасу, размещенному над проводом быть плоским. В нашем аппарате сторона треугольника составляет примерно 25 см. В одном углу треугольника размещается переключатель. Один из других углов имеет два разъема для крепления аккумулятора. Провод помещается в канавку и крепится к выключателю и аккумулятору таким образом, чтобы при закрытии выключателя цепь была завершена. Провод можно держать в канавке с помощью прозрачного клея или небольшого кусочка ленты.

Исследована потребность в резисторе, в цепи и установлено, что любое сопротивление, в дополнение к внутреннему сопротивлению батареи 6В, негативно влияет на работу аппарата. С батареей 6 V и только своим внутренним сопротивлением, течение вокруг 2.5 а давая магнитное поле около провода сравнимого к земле.

Использование аппарата:

Многие физические явления могут быть исследованы с помощью этого простого аппарата. Мы использовали его для двух основных целей:

1. Внедрение резонансных явлений в контексте магнетизма как средства исследования физических принципов, связанных с магнитно-резонансной визуализацией.

2. Исследовать свойства магнитного поля вокруг проводника тока и суперпозицию этого поля с магнитным полем Земли, в том числе прочность общего магнитного поля в зависимости от расстояния от провода.

Резонансные явления

Изначально этот аппарат был разработан для того, чтобы помочь изучить физику, которая формирует основы ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и, таким образом, магнитно-резонансной томографии (МРТ). В этих явлениях ядра в организме человека резонируют на частоте, зависящей от типа атома и силы прикладного магнитного поля. Кроме того, существует электромагнитная волна, которая “пинает” ядра на их резонансной частоте. Эти три вещи (ядра, поле и электромагнитная волна) аналогичны трем частям этого аппарата (компас, поле и поле из-за нажатия переключателя).

Более конкретно, как показано на рис. 1, резонансная частота не затухает. Компас размещен выше провода и на нем наблюдается сила внешнего поля земли или стержневого магнита, размещенных на аппарате. Когда переключатель нажат на резонансной частоте, игла компаса закрутится. Таким образом, этот аппарат может стать основой практической деятельности по обучению МРТ. (Такая деятельность находится в разработке в Канзасском университете в рамках проекта современное чудо медицинской машины.)



Рисунок 1 Рисунок, показывающий экспериментальную настройку для изменения резонансной частоты компаса, размещенного над аппаратом.

Математически, это можно увидеть, глядя на крутящий момент на магнитный диполь, m , из-за внешнего магнитного поля (B_0):

$$\tau = I\alpha = -m \cdot B_0$$

$$f = \frac{mB}{2I}$$

Хотя может показаться возможным использовать эту формулу для расчета частоты колебаний, где магнитный дипольный момент, как правило, неизвестен. Однако, при помощи прибора можно измерить частоту (обычно около Гц), а затем вычислить дипольный момент.

Как видно из уравнения выше, частота колебаний компаса зависит от силы внешнего магнитного поля, ответственного за восстановление силы и типа компаса (как дипольного момента, так и физических характеристик), но не от поля, обусловленного проводом. Поле провода дает начальную амплитуду (как тянуть назад за маятник) и может быть использован, чтобы войти компасу в резонанс, нажав на переключатель на частоте естественного колебания компаса. Зависимость частоты колебаний от внешнего поля может быть исследована путем регулировки расстояния между магнитом бара, размещенным на аппарате, и компасом, как показано на рисунке 1.

Магнитные поля и суперпозиция

Одним из наиболее очевидных видов применения является исследование магнитных полей, их направления и суперпозиции. Поскольку магнитное поле Земли всегда будет влиять на компас, направление магнитного поля, указанное компасом при замыкании цепи, является суперпозицией поля из-за Земли и поля из-за провода. Тем не менее, многое о магнитном поле из-за провода можно определить, наблюдая, как компасы ведут себя, когда цепь закрыта. Например, если провод ориентирован на север/юг таким образом, что компас параллелен проводу, когда цепь разомкнута, то наблюдаемое отклонение компаса ниже провода находится в противоположном направлении компаса выше провода, как показано на рис.2

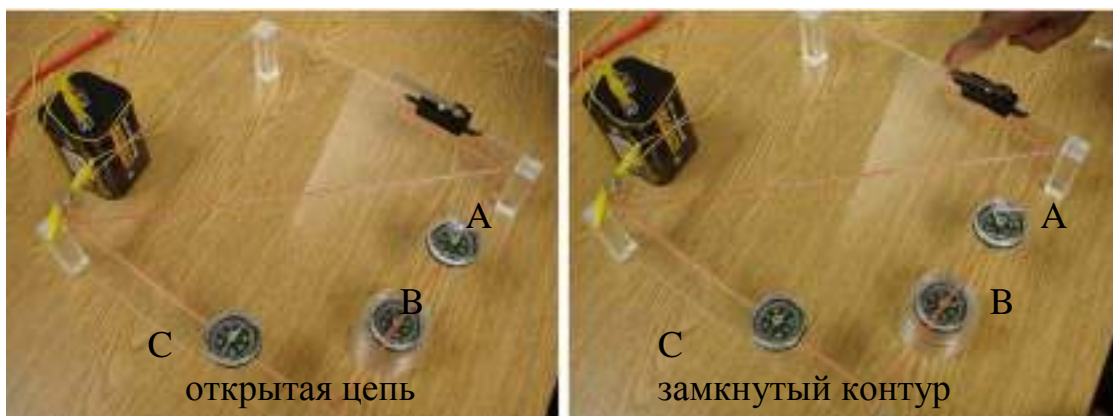


Рис. 2 три циркуля, расположенных выше и ниже прибора и схемы открытия и закрытия.

Поскольку компас выше проводников, он отклоняется в противоположную сторону компаса В, которая находится ниже провода. Компас С не отклоняется, так как крутящий момент на нем равен нулю.

Потому что ток бежит в противофазе, одна сторона ориентирована север/юг, то другая сторона восток/запад. Компас, расположенный выше или ниже провода Восток/Запад, не будет отклоняться при замыкании цепи, как показано на рисунке 2. Знание о том, что крутящий момент равен нулю, когда сила и момент рычага параллельны (или, в этом случае, когда магнитное поле из-за провода и магнитный момент компаса параллельны) и эти два наблюдения могут привести к выводу, что магнитное поле из-за провода перпендикулярно проводу и направлено в противоположные стороны сверху и снизу.

Компас будет отклоняться меньше, так как он поднят над проводом. Если ток в цепи измеряется вместе с отклонением компаса на различных высотах, то измеряемый угол отклонения компаса можно сравнить с теоретически рассчитанным значением. Однако, поскольку магнитное поле направление компаса отклонения, когда цепь замкнута, представляет собой суперпозицию магнитного поля Земли и провода, угол отклонения не так просто, как $1/r$ зависимость поля за счет провода в покое.

Теоретическое значение вычисляется с использованием геометрии, показанной на рисунке 3.

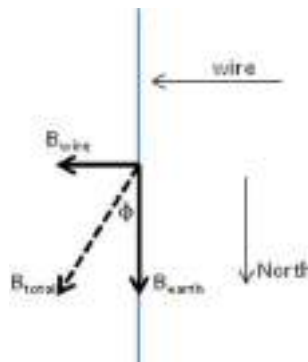


Рис. 3. геометрия для расчета в зависимости от общей магнитного поля на расстоянии от провода

Угол отклонения ϕ как функции расстояния выше проводов, R , для общего магнитного поля определяется

$$\phi(r) = \tan^{-1} \frac{B_{wire}}{B_{earth}}(r) = \tan^{-1} \frac{\propto I}{2\pi r B_{earth}}$$

где B_{wire} -магнитное поле из-за провода, B_{earth} -горизонтальная составляющая поля Земли, μ_0 -проницаемость свободного пространства, а I -ток в проводе.

В этом анализе было сделано предположение, что поле за счет провода на компасе горизонтальное и поэтому общая величина используется при расчете. За исключением самой низкой точки, было достигнуто хорошее согласие между теорией и данными, как показано на рисунке 4. Строки ошибок на измеряемом значении составляют $\pm 2,5$ градуса и представляют точность показаний компаса. Наше самое лучшее предположение на несогласовании для первого момента заключается в том, что показания о направлении магнитного поля из-за тока в проводе отклонился.

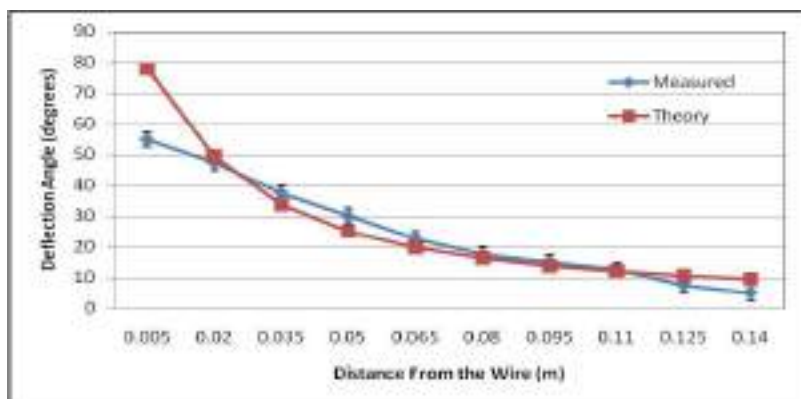


Рис. 4 измеренные и теоретические прогиб угол (измеренный от направления на север) для компас выше ток токонесущего проводника как функцию расстояния от провода. В погрешности измерения составляют $\pm 2,5$ градусов, точность показаний компаса.

Существует два основных приложения для этого устройства. Первое-исследование резонанса в контексте магнетизма. Это приложение хорошо работает, чтобы ввести физические понятия, необходимые для понимания магнитно-резонансной визуализации. Во втором приложении используется аппарат для исследования свойств магнитного поля за счет провода и суперпозиции двух магнитных полей. Зависимость общего магнитного поля от расстояния от провода можно измерить и сравнить с теорией.