

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшекласников
по политехническим, естественнонаучным, математическим дисциплинам
для учащихся 9-11 классов

физика

**Исследование взаимодействия токов Фуко
с переменным магнитным полем**

Черников Максим

9 класс

МБОУ «Лицей № 1» г. Перми

Саввина Марина Витальевна

ПЕРМЬ, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Из общей теории электромагнитного поля (раздел теоретической физики) известно, что переменное магнитное поле порождает вихревое электрическое поле (эксперименты Максвелла). Если в переменном магнитном поле находится замкнутый проводник, то вихревое электрическое поле приводит в движение заряженные частицы этого проводника — так возникает индукционный ток, наблюдаемый в эксперименте. С этой теорией связано появление особых токов – вихревых индукционных токов, названных в честь французского физика Жана Фуко.

Определение. **Вихревые токи** или — вихревые индукционные токи, возникающие в проводниках при изменении пронизывающего их магнитного поля.

Фуко открыл явление нагревания металлических тел, вращаемых в магнитном поле, вихревыми токами. Токи Фуко возникают под воздействием переменного электромагнитного поля по физической природе, ничем не отличаются от индукционных токов, возникающих в линейных проводах. Они вихревые, то есть, замкнуты в кольце. Это принципиальное их отличие от индукционных токов.

Электрическое сопротивление массивного проводника мало, поэтому токи Фуко достигают очень большой силы. В соответствии с правилом Ленца (правило левой руки) они выбирают внутри проводника такое направление и путь, чтобы противиться причине, вызывающей их. Поэтому движущиеся в сильном магнитном поле хорошие проводники испытывают сильное торможение, обусловленное взаимодействием токов Фуко с магнитным полем. Это свойство используется для демпфирования подвижных частей гальванометров, сейсмографов и т. п., а также в некоторых конструкциях поездов для торможения.

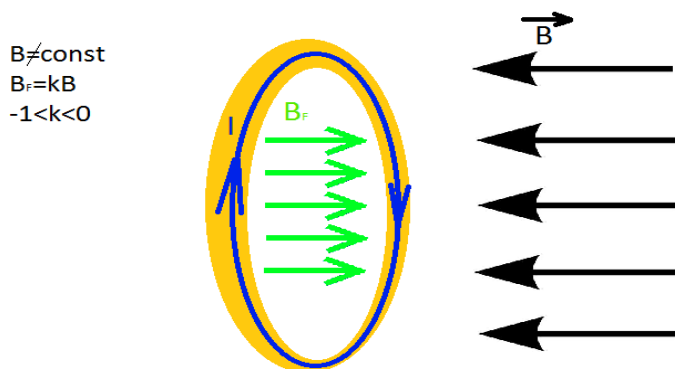


Рисунок №1

Рассмотрим пример происхождения токов Фуко. Пусть в переменном магнитном поле находится массивный проводник. В нем возникает вихревое электрическое поле, которое действует на носители тока и вызывает индукционный ток (вихревой), рисунок №1.

Эффект от действия вихревых токов используется повсеместно в промышленности и машиностроении. Поезда на магнитной подвеске используют токи Фуко для торможения, высокоточные приборы имеют систему демпфирования указывающей стрелки, основанной на действии вихревых токов. В металлургии широко распространены индукционные печи, имеющие целый комплекс преимуществ перед аналогичными установками. В индукционной печи нагреваемый металл можно поместить в безвоздушное пространство, добиваясь его полной дегазации. Индукционная плавка черных металлов также получила широкое распространение в металлургии ввиду высокой экономичности установок.

Цель исследования – подтвердить экспериментальным путем существование токов Фуко в переменном магнитном поле и измерить силу взаимодействия с полем магнита, вызвавшего их.

Задачи исследования:

- 1) изучить основы теории электромагнитного поля;

- 2) проверить опытным путем действие переменного магнитного поля на проводники, не обладающие ферромагнитными свойствами (не намагничиваются в статическом магнитном поле);
- 3) провести эксперименты с металлическими предметами (разного химического состава) по возникновению в переменном магнитном поле токов Фуко;
- 4) рассчитать силу взаимодействия токов Фуко в переменном магнитном поле для разных металлов.

Методы исследования: анализ научной литературы, проведение опытов и постановка эксперимента.

Практическая значимость работы: исследование динамической магнитной системы; выяснение «плохих» и «хороших» проводников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Для проведения опытов были взяты разные материалы (проводники), не обладающие ферромагнитными свойствами.

Опыты с токами Фуко проводились по следующей схеме.

1. Сильным неодимовым магнитом воздействовали на неподвижные металлические тела. В качестве объектов металлических тел брали: алюминиевую полую цилиндрическую емкость (банку из-под Соса-Сола), плотную алюминиевую фольгу (по форме в виде пластинки), ювелирные украшения из серебра, золота различных сплавов (плоский серебряный кулон, серебряное кольцо, 2 кольца из разных видов золота). При воздействии на предмет магнитом последний приходил в незначительное движение в сторону от магнита.
2. Для более эффективного наблюдения воздействия токов Фуко был сконструирован прибор – полегенератор, который состоял из моторчика от компьютерного вентилятора с присоединенным

сильным неодимовым магнитом. Полегенератор работал от аккумулятора (12V; 3,3 Ah).

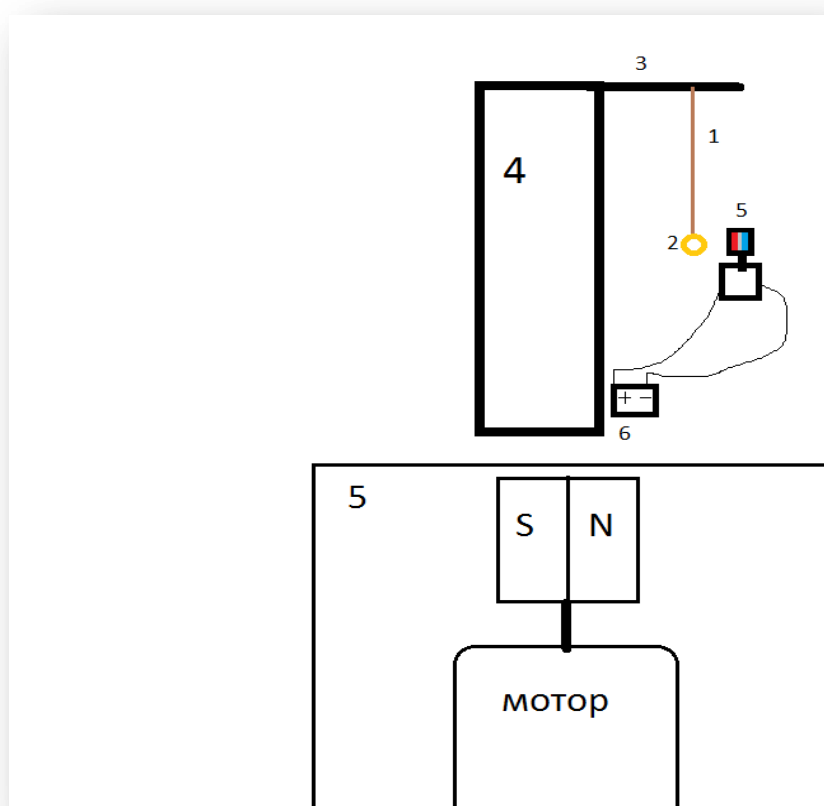
3. Были проведены опыты по возникновению токов Фуко в переменном магнитном поле, при этом все металлические предметы приводились в движение после 1-2 секунд и двигались в сторону от магнита.

Для выяснения вихревых токов, расчёта силы взаимодействия была сконструирована установка по следующей схеме:

Испытательная установка состоит из нити(1), на которую крепится испытательный объект(2). Нить крепится к раме(3), которая крепится на держатель(4).

Испытательный объект разгоняется полегенератором(5), подключённым к аккумулятору(6). Установка представлена на схеме №1.

СХЕМА №1



При проведении эксперимента использовали следующие металлические предметы: денежные монеты, кольца из серебра и золота разного состава. Данные приведены в таблице №1.

Таблица №1

Наблюдаемый объект	Состав сплава
£ 1	Cu-70%, Zn-24,5%,Ni-5,5%
€ 0.50 (2008 г.)	Cu-89%, Al-5%, Zn-5%, Sn-1%
AED 1	Cu-70%, Zn-24,5%,Ni-5,5%
□ 2 (1997 г.)	Cu-70%, Ni-28%, Fe-1%,Mn-1%
Кольцо (серебро)	Ag-92,5%, Cu-7,5%
Кольцо (3 вида золота)	Au-37,5%, Cu+Ag-62,5%
Кольцо обручальное (золото)	Au-58,3%, Cu-34%, Ag-7,7%

Наблюдаемое явление с помощью собранной установки свидетельствовало о возникновении токов Фуко. При воздействии полегенератором на металлический предмет, висящий на закрепленной нити, он начинал вращение в сторону от магнита, и происходило закручивание на нити предмета.

Были проведены опыты со всеми металлическими предметами и расчеты силы взаимодействия токов Фуко в переменном магнитном поле для разных металлов (см. Таблица №2).

Формулы для расчета

Основной закон: $F=ma$

Движение по окружности:

$$a_{ц} = v^2/r = 2 v^2/d; C = \pi d; v = C/t$$

Общая формула для расчетов

$$F = (2m\pi^2d):t^2$$

Таблица №2

Наблюдаемый объект	t 5-1	t 5-2	t 5-3	t 5-4 (уточняющее)	t 5-среднее	t1	m	d	v	au	F
£ 1	2,28	2,13	2,32	нет	2,24	0,45	9,5	0,023	0,16	2,25	21,40
€ 0.50 (2008)	0,88	1,08	0,94	нет	0,97	0,19	7,8	0,024	0,39	12,66	98,76
AED 1	2,34	2,37	2,33	нет	2,35	0,47	6,5	0,024	0,16	2,15	13,97
□ 2 (1997)	2,52	2,5	2,46	нет	2,49	0,50	5,1	0,024	0,15	1,90	9,71
Кольцо (серебро)	2,74	2,68	2,62	нет	2,68	0,54	3,9	0,022	0,13	1,51	5,89
Кольцо (3 золота)	2,02	1,77	2,03	нет	1,94	0,39	3,6	0,021	0,17	2,75	9,90
Кольцо обручальное (золото)	2,68	2,67	2,92	2,89	2,79	0,56	3,2	0,021	0,12	1,33	4,26
						с	г	м	м/с	м/с ²	мН

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе экспериментов и опытов выяснено, что сила токов Фуко зависит от материала испытуемого объекта, расстояния от магнита до испытуемого объекта, скорости изменения магнитного поля (пропорционально, с положительным коэффициентом).
2. Токи выбирают в проводнике такой путь, чтобы противиться полю, вызвавшему их.
3. Токи Фуко можно использовать для определения материала (металла) испытуемого объекта.
4. 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.). Это довольно трудоемко. Можно попытаться рассчитать или оценить степень нагревания проводника (металлического объекта). В нашем случае такие замеры не возможны, т.к. температурные изменения были слишком слабые. Возможно, это следует проводить (исследовать) для более сильного магнита, большей массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://studopedia.net/2_34015_toki-fuko-skin-effekt-i-ego-ispolzovanie-v-tehnike.html;
2. <http://fizportal.ru/node/4276>;
3. http://femto.com.ua/articles/part_2/4427.html.