

**I Международная конференция учащихся
«НАУЧНО-ТВОРЧЕСКИЙ ФОРУМ»**

Научно-исследовательская работа

Предмет: физика

МАГНИТНЫЙ НАГРЕВАТЕЛЬ

Выполнила:

Бабушкина Дарья Александровна

учащаяся 6В класса

МБОУ «Гимназия № 127»,

Россия, г. Снежинск Челябинской области

Капралов Александр Иванович

Научный руководитель

канд. пед. наук, зав. физ. лаб.

МБОУ «Гимназия № 127»,

Россия, г. Снежинск Челябинской области

Москва, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Основная часть	4
1 Токи Фуко	4
2 Изготовление магнитного нагревателя	6
2.1 Конструкция нагревателя	6
2.2 Определение полюса магнитов	7
3 Экспериментальная часть	8
3.1 Зависимость эффективности работы нагревателя от количества и размеров магнитов	8
3.2 Зависимость температуры нагревания от скорости вращения нагревательного элемента	12
3.3 Определение времени нагрева пластин из различных металлов	15
3.4 Сравнение времени нагрева самодельным магнитным нагревателем и бытовой индукционной панелью	17
4 Достоинства и недостатки индукционного нагрева	19
5 Области применения	19
5.1 Применение в промышленности	19
5.2 Применение в быту	20
Выводы	20
Заключение	21
Список использованных источников и литературы	21

ВВЕДЕНИЕ

Каждый год в сфере инновационных модных детских игрушек появляются новые изобретения: неокуб, спиннер, фиджет куб, стрессбол, пружинка Слинки, жвачка для рук и многие другие. Самые популярные игрушки-антистресс: спиннер и неокуб. Спиннер – это вертушка, внешне напоминающая мини-вентилятор, обычно содержит три лопасти, а в середине подшипник. Неокуб – это куб, состоящий из маленьких, обработанных никелем, магнитных шариков. Название неокуба таково из-за того, что изначально магниты обычно соединены именно кубом, эта конструкция держится только за счёт магнитного поля, и её легко разрушить, приведя тем самым шарики в хаотическое положение, а восстановить затем эту форму куба и есть основная задача игрушки как головоломки, решаемая различными способами.



Рисунок 1. Спиннер и неокуб

Меня заинтересовало, что будет если в вертушку поместить магниты и вращать их? От своего научного руководителя я узнала, что вращение постоянных магнитов приводит к возникновению переменного магнитного поля и если в это магнитное поле поместить какой-нибудь проводник, то на его поверхности возникнут вихревые электрические токи – токи Фуко.

Эти токи используются в различных индукционных нагревателях, с эффектом нагревания от этих токов борются при создании трансформаторов и других электромагнитных приборов.

Но можно ли это нагревание обнаружить, если создать вращающийся магнит?

Цель работы:

Изготовить и исследовать магнитный нагреватель.

Для достижения цели, были поставлены задачи:

- изучить механизм возникновения токов Фуко;
- изготовить и собрать модель магнитного нагревателя;
- исследовать эффективность работы магнитного нагревателя от: количества и типа постоянных магнитов; скорости вращения диска нагревателя и расстояния от плоскости вращения диска.
- предложить способы применения созданного магнитного нагревателя.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Токи Фуко

Магнит в разных странах называется по-разному: китайцы называли его чу-ши, греки – адамас и каламита, геркулесов камень; французы – айман; индусы – тхумбака; египтяне – кость Ора; немцы – магнесс [4].

Постоянный магнит – это тело, обладающее магнитным полем. Из учебника физики я узнала, что магнитное поле порождается электрическим током. Оно существует, например, вокруг металлического проводника с током. Поскольку электрический ток – это направленное движение заряженных частиц, то можно сказать, что магнитное поле создаётся движущимися заряженными частицами, как положительными, так и отрицательными [3].

Давайте разберёмся, что такое вихревые токи Фуко и как они возникают.

Вихревые токи – это такие токи, которые начинают протекать в проводнике по причине воздействия на него переменного магнитного поля. При этом может изменяться не только само поле, а также положение проводника в нём. Но почему же эти токи называются токами Фуко? Потому что, именно французский физик Жан Бернар Леон Фуко в середине 19 века подробно исследовал явление вихревых токов.

В ходе своих исследований он установил, что металлические тела, вращающиеся в магнитном поле, под воздействием вихревых токов нагреваются.

Изначально вихревые токи были зафиксированы в 1824 году французским учёным Франсуа Доминика Араго во время проведения следующего опыта (рисунок 2).

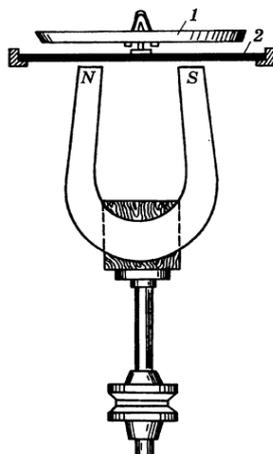


Рисунок 2. Опыт Араго

На вертикальной оси установки, друг над другом, были смонтированы алюминиевый (или медный) диск и подковообразный магнит. В состоянии покоя никаких взаимодействий между диском и магнитом не наблюдалось. Но стоило начать вращать магнит, как диск устремлялся вслед за ним. Чтобы исключить возможность увлечения диска потоками воздуха, магнит и диск были разделены стеклом [2].

Наблюдаемый эффект получил название – явление Араго, а сам учёный назвал его «магнетизмом вращения».

Спустя пару лет Майкл Фарадей, открывший закон электромагнитной индукции, пояснял это тем, что меняющееся магнитное поле наводит в диске электрический ток, и ток формирует в диске магнитное поле, которое в свою очередь и взаимодействует с полем магнита.

Кроме этого, возникающий ток, по закону Джоуля-Ленца, нагревает проводник, по которому идёт ток

$$Q = I^2 R \Delta t = \left(\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right)^2 \cdot \frac{\Delta t}{R},$$

где Q – полное количество теплоты, выделенное за промежуток времени Δt ; I – сила индуцированного тока; R – электрическое сопротивление проводника; $\Delta \Phi / \Delta t$ – скорость изменения магнитного потока.

Эти токи и были названы токами Фуко.

2 Изготовление магнитного нагревателя

Нагреватель на постоянных магнитах – устройство, вырабатывающее тепло за счёт токов Фуко, порождаемых переменным магнитным полем, создаваемым вращающимся диском с магнитами.

К моему удивлению, информации о нагревателе на постоянных магнитах почти нет. Оказалось, что такие нагреватели мало изучены и исследованы, тем интереснее было заняться этой работой. Вместе с дедушкой в мастерской мы попытались изготовить нагреватель из подручных средств. На закупку, изготовление составных частей и сборку нагревателя ушло порядка 3 месяцев.

2.1 Конструкция нагревателя

Основными элементами нагревателя являются электродвигатель (1) и нагревательный элемент – диск (2) с установленными в нём постоянными магнитами (3) (рисунок 3).

В качестве двигателя была использована старая ударная электродрель мощностью 650 Вт с функцией электронной регулировки частоты вращения. Заявленное производителем максимальное число оборотов холостого хода дрели составляет 2900 об/мин.

Для удобства и придания устойчивости электродвигатель закреплён на основании (4) с помощью скоб (6) и (7). С целью уменьшения нежелательных вибраций при работе двигателя между основанием (4) и дрелью (1) расположен демпфер (8) и упор (9).

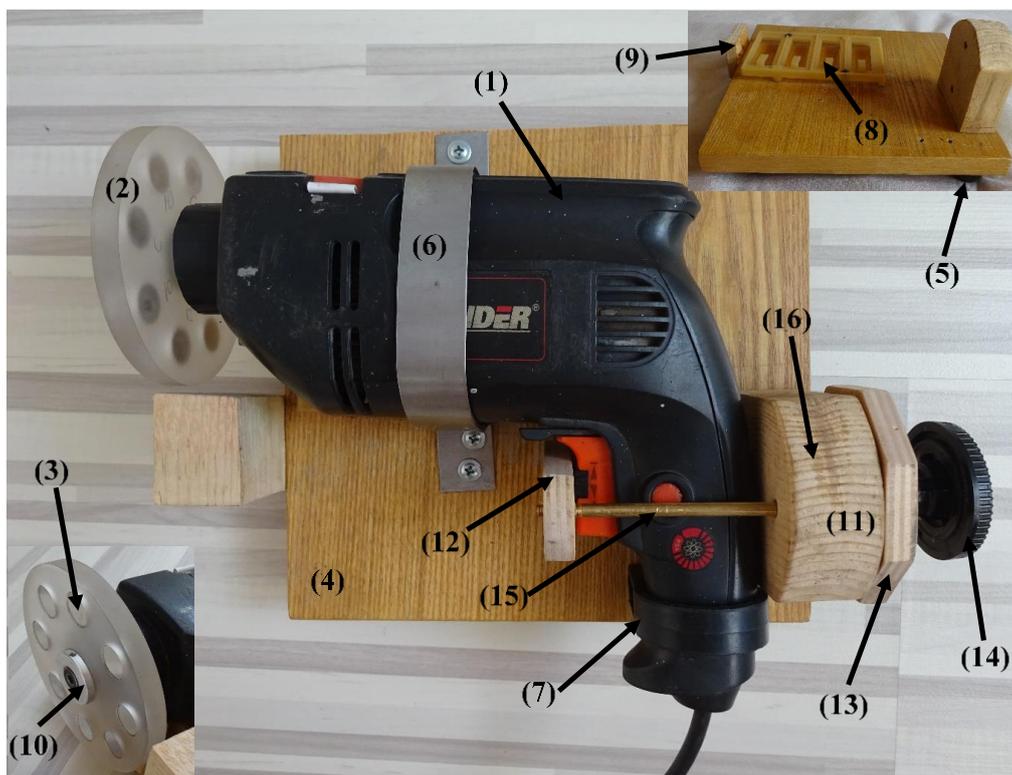


Рисунок 3. Магнитный нагреватель

На валу двигателя с помощью гайки (10) закреплён диск (2) из оргстекла, в пазах которого установлены восемь неодимовых магнитов с чередующейся полярностью (3).

Для обеспечения различной частоты вращения диска (2) в конструкции нагревателя предусмотрено механическое устройство регулировки скорости вращения (11). Скорость вращения нагревательного элемента меняется поворотом ручки (14). Подробная инструкция по сборке и настройке изложена в буклете.

2.2 Определение полюса магнитов

Известно, что визуально определить полюс магнита невозможно. Однако есть несколько простых методов, которые могут быть использованы для определения северного (N) и южных (S) полюсов магнитов. Самый простой способ заключается в использовании компаса. Если магнит поднести к компасу, то стрелка компаса, которая указывает на север Земли, будет притягиваться к южному (S) полюсу магнита (рисунок 4, а).

а)



б)

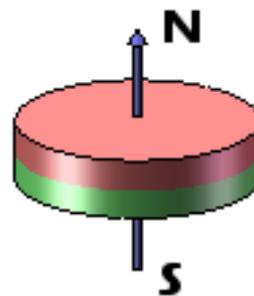


Рисунок 4. а) определение полюса магнита с помощью компаса; б) направление намагниченности и расположение полюсов цилиндрического магнита

В нашем устройстве нагревателя применяются постоянные магниты цилиндрической формы. Известно, что дисковые, цилиндрические и кольцевые магниты являются наиболее часто намагниченными вдоль их геометрической оси.

То есть северный (N) и южный (S) полюса находятся на плоских, круглых поверхностях. Это называется аксиальная (осевая) намагниченность, так как направление намагниченности вдоль оси магнита (см. рисунок 4, б).

3 Экспериментальная часть

Суть проведённых в работе экспериментов заключалась в оценке эффективности работы магнитного нагревателя в зависимости от:

- количества и размеров магнитов;
- скорости вращения нагревательного элемента (диска с магнитами), а также анализе практической ценности исследуемого устройства.

3.1 Зависимость эффективности работы нагревателя от количества и размеров магнитов

Для анализа зависимости эффективности работы нагревателя от количества и размеров магнитов были приобретены два типа неодимовых магнитов цилиндрической формы (рисунок 5): а) размером 10×2 мм (вес: 1,22

грамм; сила на отрыв: 1,00 кг; далее по тексту – магнит №1); б) размером 15×5 мм (вес: 6,85 грамм; сила на отрыв: 4,57 кг; далее по тексту – магнит №2) и изготовлены два диска нагревателя с пазами под вышеперечисленные магниты (далее по тексту – соответственно диск №1 и диск №2).

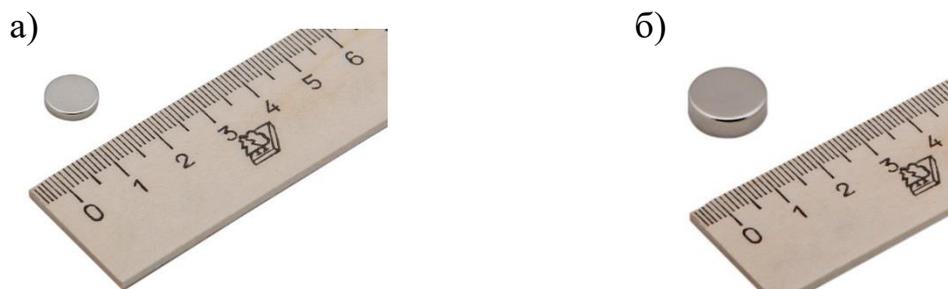


Рисунок 5. Неодимовые магниты: а) магнит №1; б) магнит №2

Для контроля нагрева были использованы (см. рисунок б):

- а) мультиметр с функцией измерения температуры на основе термопары;
- б) электронный секундомер.
- в) медная пластина (размером (Д×Ш×В) 75×20×1,6 мм).

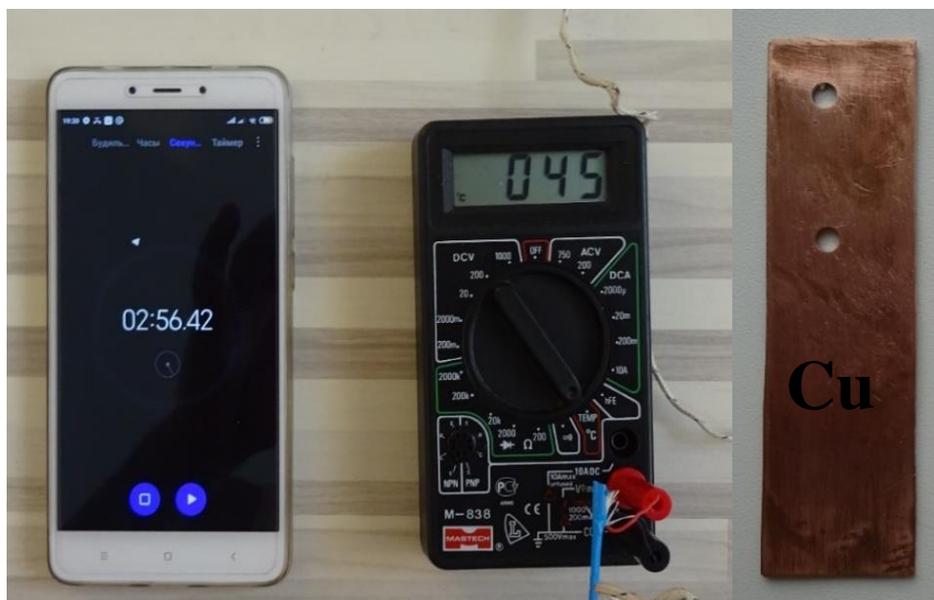


Рисунок 6. Оборудование для контроля нагрева

Сначала мы вставили в пазы и приклеили в диск №1 нагревателя четыре неодимовых магнита размером 10×2 мм в соответствии со схемой, представленной на рисунке 7, а.

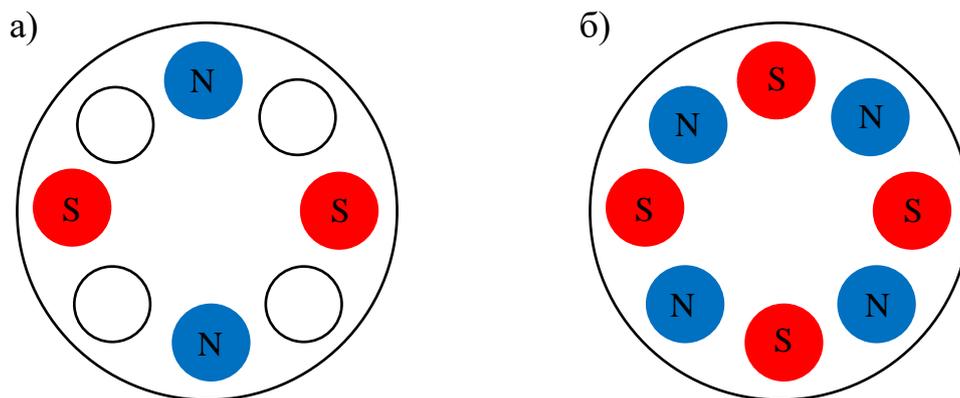


Рисунок 7. Схема размещения магнитов: а) четырёх; б) восьми

ОПЫТ 1: Закрепив медную пластину на расстоянии 3 мм от плоскости вращения диска и переведя с помощью устройства регулировки скорости вращения (11) электродрель в режим максимальных оборотов контролировали с помощью термопары и электронного секундомера процесс и время нагрева пластины от установившейся на момент проведения экспериментов комнатной температуры (30°C) до температуры 45°C.

Примечание: Время непрерывной работы электродрели было установлено равным 180 секунд, исходя из её технических возможностей. Дальнейшее увеличение времени работы электродрели могло привести к перегреву мотора и выходу его из строя.

В ходе проведения первого опыта, нагрев пластины до температуры 45°C наблюдался в течение 88 секунд.

ОПЫТ 2: Исследовав эффективность работы нагревателя на четырёх магнитах, мы вклеили оставшиеся магниты и провели аналогичные замеры. Опыт показал почти двукратное уменьшение времени нагрева пластины до назначенной температуры – 51 секунда.

ОПЫТ 3: Следующим шагом было исследование работы нагревателя на более мощных магнитах. Закрепив на валу дрели диск №2 с двумя магнитами №2 и проделав работы предыдущих опытов, мы обнаружили, что эффективность работы нагревателя на двух магнитах размером 15×5 мм оказалась практически равной работе нагревателя на основе восьми магнитов №1.

Это можно объяснить исходя из следующих простых соображений и расчётов.

Объём использованных вначале магнитов размером 10×2 мм составляет

$$V_1 = \pi R_1^2 h_1 = 157 \text{ мм}^3,$$

где $R_1 = 5$ мм; $h_1 = 2$ мм – соответственно радиус и высота магнита №1,

а магнита размером 15×5 мм –

$$V_2 = \pi R_2^2 h_2 = 883,125 \text{ мм}^3,$$

где $R_2 = 7,5$ мм; $h_2 = 5$ мм – соответственно радиус и высота магнита №2,

Отношения объёмов магнитов составляет

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{883,125}{157} \approx 5,625.$$

Отсюда следует, что в одном магните №2 в среднем содержится 5-6 магнитов размером 10×2 мм, что и объясняет данный результат.

ОПЫТ 4: Вклеив в диск нагревателя восемь магнитов в соответствии со схемой рисунка 7, б, мы уже через три секунды зафиксировали нагрев медной пластины.

Время нагрева пластины до 45°C от начальной температуры проведения эксперимента 30°C составило 19 секунд. Результаты экспериментов сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Время нагрева медной пластины до температуры 45°C в зависимости от типа и количества магнитов в нагревателе

Тип магнитов и количество	Магнит №1		Магнит №2	
	четыре	восемь	два	восемь
Время нагрева пластины до температуры 45°C , сек	88	51	60	19

По результатам проведённых опытов можно сделать следующие выводы:

1. Опыты показали, что вращение диска с постоянными магнитами создаёт переменное магнитное поле, обуславливающее возникновение в медной пластине токов Фуко. Наличие данных токов проявлялось в нагреве медной пластины.

2. Эффективность работы нагревателя зависит от количества и размеров магнитов – чем больше магнитов и выше их мощность, тем выше коэффициент полезного действия (КПД) нагревателя.

3. Время нагрева медной пластины от температуры 30°C до 45°C нагревателем на восьми магнитах размером 15×5 мм составляет всего 19 секунд.

3.2 Зависимость температуры нагревания от скорости вращения нагревательного элемента

Для определения зависимости скорости и степени нагрева от частоты вращения нагревательного элемента исследуемого устройства, был поставлен эксперимент, предусматривающий выполнение двух этапов:

1. Измерение частоты вращения (количество оборотов в минуту) нагревательного элемента при различных положениях ручки устройства регулировки скорости вращения (рисунок 3, поз.14).

2. Измерение скорости нагрева – время нагрева медной пластины до температуры 45°C – при различной частоте вращения нагревательного элемента.

Для измерения частоты вращения был приобретён бесконтактный тахометр¹ DT2234C+ (рисунок 8). Тахометр даёт возможность проводить измерения в диапазоне от 2,5 до 99999 об/мин на удалении до 1,5 м с относительной погрешностью $\pm 0,05\%$. Особенности данного тахометра являются цифровое измерение, методика лазерного измерения (исследование отражённого сигнала лазера) и оснащение встроенной памятью проводимых измерений.

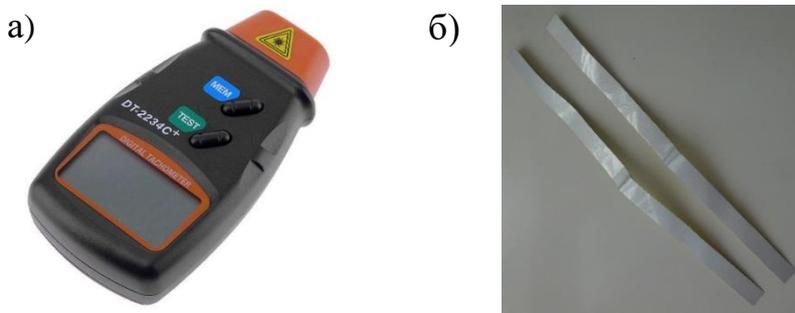


Рисунок 8. а) бесконтактный тахометр DT2234C+; б) световозвращающая плёнка

¹ Тахометром является устройство, предназначенное для выполнения непрерывных измерений частоты вращения механических частей приборов

Возвращаясь к конструкции нагревателя, отметим, что количество полных оборотов ручки устройства регулировки вращения равно четырём.

Данное количество обеспечивает перевод электродрели из выключенного состояния (режим «выкл») в режим, соответствующий максимальным оборотам (режим «макс»). Таким образом, мы можем выделить четыре основных режима работы дрели (в зависимости от положения ручки) с соответствующими им количествами оборотов в минуту. Обозначим данные режимы 1, 2, 3 и 4, где последний режим будет соответствовать режиму «макс».

ОПЫТ 5: Наклеив на внешнюю сторону диска нагревателя кусок световозвращающей плёнки в соответствии с приложенной к лазерному тахометру инструкцией, мы определили частоту вращения диска при четырёх положениях ручки устройства регулировки вращения. Схема измерения частоты вращения диска нагревателя и результаты замеров представлены соответственно на рисунке 9 и в таблице 2.

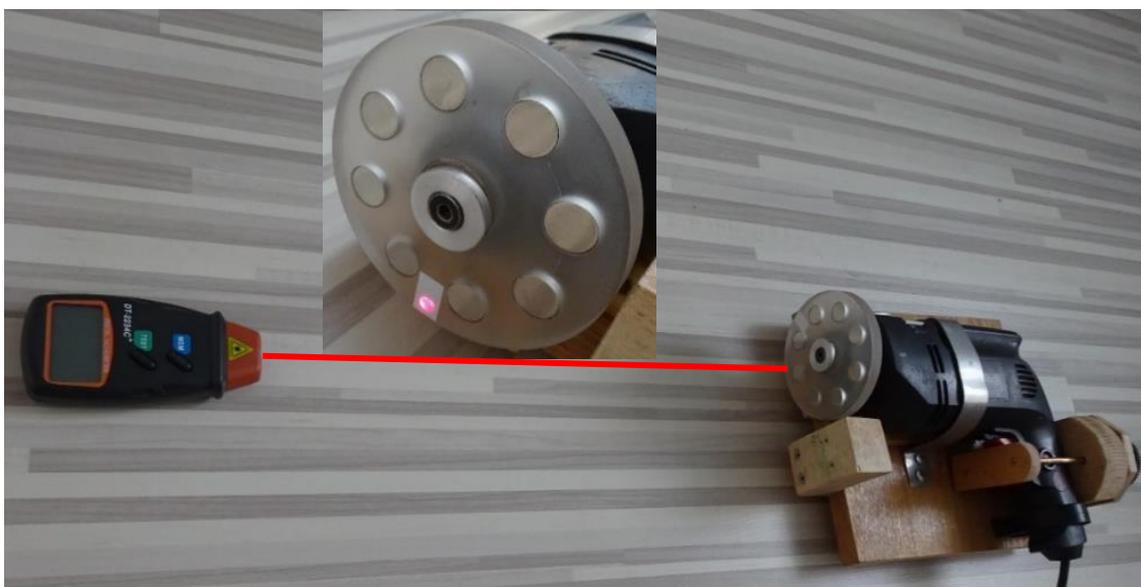


Рисунок 9. Схема измерения частоты вращения диска нагревателя

Таблица 2. Частота вращения диска нагревателя при различных режимах работы двигателя (в зависимости от положения ручки устройства регулировки вращения)

Режим работы	1	2	3	4
Частота вращения, об/мин	1100	1380	2100	2940

ОПЫТ 6: Следующий этап эксперимента предусматривал измерение времени нагрева медной пластины от комнатной температуры до температуры 45°C при различных режимах работы электродвигателя.

Для этого на станине нагревателя со стороны плоскости вращения диска был установлен брусок для крепления медной пластины и термопары (рисунок 10).

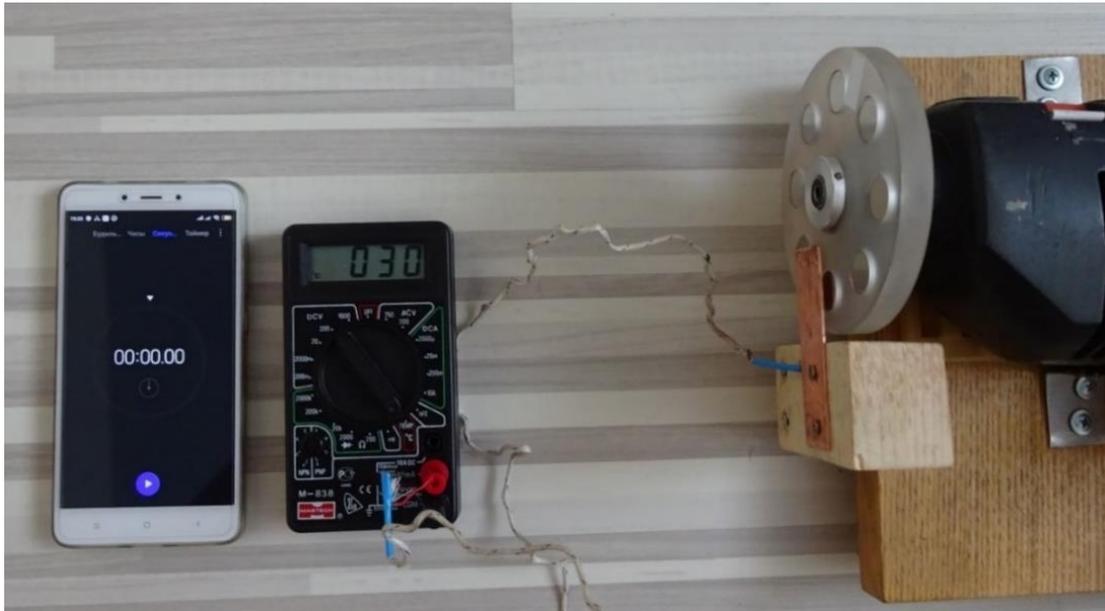


Рисунок 10. Схема измерения скорости нагрева в зависимости от частоты вращения диска нагревателя

Установив пластину и термопару в соответствии со схемой рисунка 10 на расстоянии 3 мм от плоскости вращения диска нагревателя мы трижды замерили время нагрева пластины до 45°C при различных режимах работы двигателя дрели. Усреднённые результаты замеров свели в таблицу 3.

Таблица 3. Время нагрева медной пластины до 45°C при различных режимах работы двигателя (в зависимости от частоты вращения диска нагревателя)

Режим работы	1	2	3	4
Время нагрева, сек	176	102	37	19

Зависимость скорости нагрева медной пластины по данным таблицы представлена на графике рисунка 11.

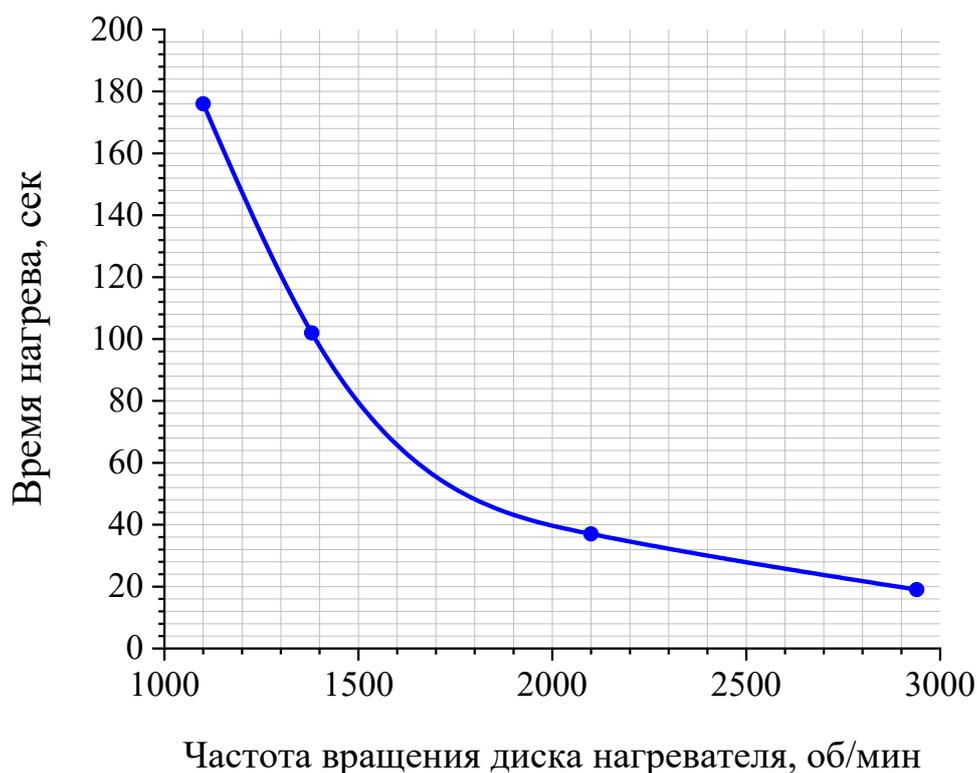


Рисунок 11. Зависимость времени нагрева медной пластины до 45°С от частоты вращения диска нагревателя

Видно, что время нагрева пластины обратно пропорциональна частоте вращения диска нагревателя.

3.3 Определение времени нагрева пластин из различных металлов

Определив основные факторы, влияющие на эффективность работы магнитного нагревателя мы решили проверить «А за какое время нагреются пластины, сделанные из различных металлов, до 100°С?».

Для этого дополнительно к медной пластине была вырезана пластина таких же размеров из листа алюминия (рисунок 12). Выбор данных материалов не случаен – все они немагнитные и обладают довольно высокой удельной электрической проводимостью по сравнению с другими металлами.

Эксперимент проводился по схеме рисунка 10 в следующих условиях:

- 1) начальная температура всех образцов, выдержанных при комнатной температуре, составляет 30°С;
- 2) режим работы двигателя – 4 (максимальный, 2940 об/мин).
- 3) расстояние от пластин до плоскости диска нагревателя – 1,5 мм.

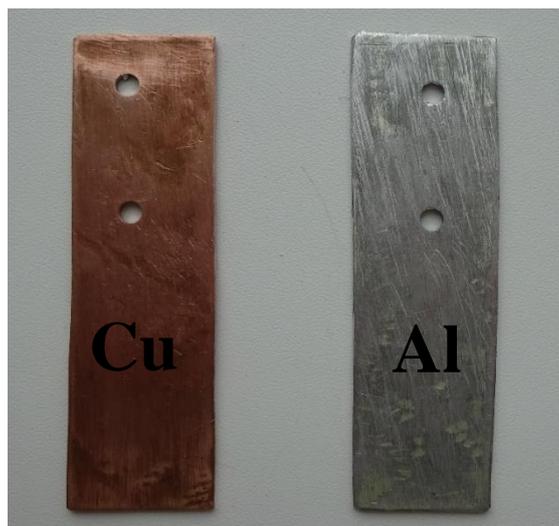


Рисунок 12. Пластины из меди и алюминия

ОПЫТ 7: Сначала мы определили скорость (время) нагрева пластин до 45°C. А затем замерили время, за которое исследуемые материалы прогреются до температуры 100°C. Результаты наблюдений сведены в таблицу 4.

Таблица 4. Сравнительная таблица времени нагрева пластин из меди и алюминия

Материал	Время нагрева, сек	
	до 45°C	до 100°C
Медь	14	65
Алюминий	20	180 (до 82°C)

Видно, что пластина из меди в полтора раза быстрее нагревается до температуры 45°C, чем алюминиевая пластина таких же размеров. Медная пластина нагрелась за 65 секунд до 100°C, а алюминиевая только до 82°C за 180 секунд – максимальное время непрерывной работы электродрели.

Данный факт объясняется, во-первых, тем, что удельная электрическая проводимость меди примерно на 80% выше по сравнению с алюминием ($\sigma_{Cu} = 5,96 \times 10^7$ См/м; $\sigma_{Al} = 3,5 \times 10^7$ См/м), а, во-вторых, проводимость алюминия, в отличие от меди, уменьшается при повышении температуры.

3.4 Сравнение времени нагрева самодельным магнитным нагревателем и бытовой индукционной панелью

Что быстрее нагреет медную пластинку: магнитный нагреватель на основе вращающегося диска с постоянными магнитами или бытовая индукционная плита?

ОПЫТ 8: Для того, чтобы ответить на поставленный вопрос, мы взяли медную пластину, которую использовали в предыдущих опытах, и закрепили на её поверхности термопару (см. рисунок 13).

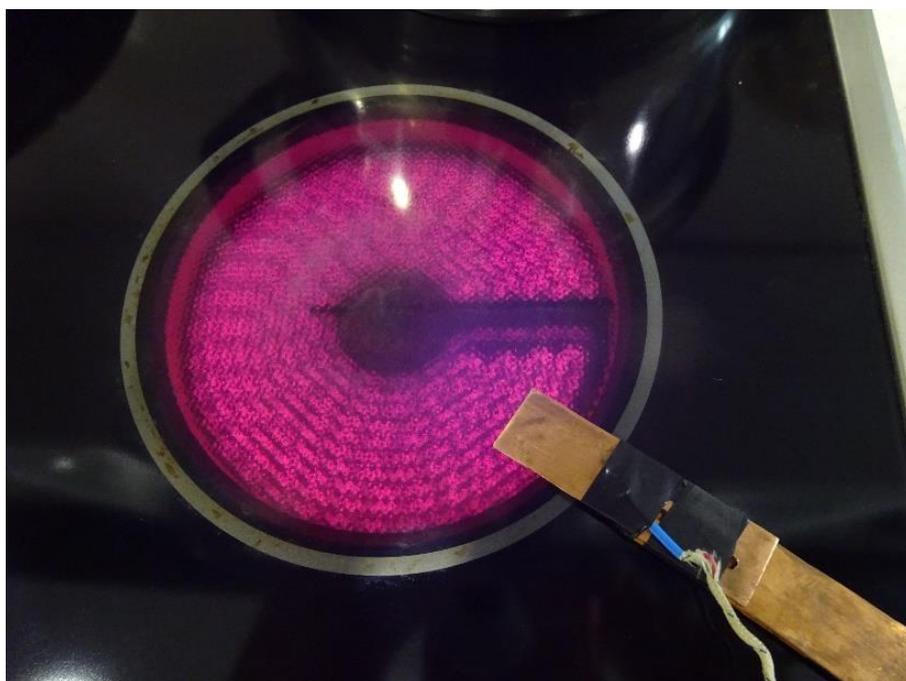


Рисунок 13. Схема нагрева пластины на индукционной панели

Мы установили пластину при комнатной температуре в 30°C на расстоянии 3 мм от варочной поверхности индукционной панели и перевели плиту в режим максимального нагрева.

Опыт показал, что время нагрева исследуемой пластины от 30°C до 45°C составило 41 секунду. Это примерно в 2 раза больше, чем понадобилось бы магнитному нагревателю на восьми неодимовых магнитах размером 15×5 мм (см. таблицу 1). Таким образом, производительность самостоятельно изготовленного нагревателя выше бытовой индукционной плиты.

А можно ли использовать наше устройство в качестве водонагревателя?

ОПЫТ 9: Мы взяли небольшой алюминиевый стаканчик и налили в него 2 мл воды. Расположив ёмкость с водой над плоскостью вращения диска нагревателя мы перевели электродрель в режим максимальных оборотов и стали наблюдать с помощью показаний мультиметра и секундомера за процессом нагрева воды (рисунок 14).

По истечению 180 секунд вода в стаканчике прогрелась до температуры 55°C.

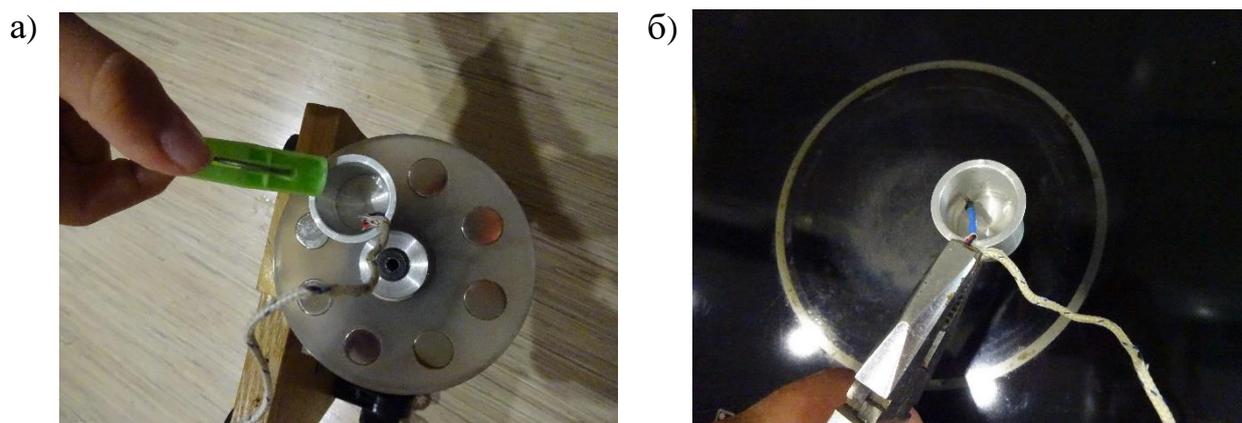


Рисунок 14. Опыты по нагреву воды с помощью:
а) магнитного нагревателя; б) индукционной панели

ОПЫТ 10: Мы решили, как и в предыдущем опыте, проверить как нагреет тот же объём воды бытовая индукционная панель. В этом случае выигрыш был на стороне панели: вода объёмом 2 мл в алюминиевом стаканчике, расположенной на расстоянии 3 мм от варочной поверхности, нагрелась до температуры 55°C ровно за 120 секунд, то есть в 1,5 раза быстрее, чем в случае магнитного нагревателя.

Таким образом, установлено, что магнитный нагреватель нагревает медную пластину быстрее, чем бытовая индукционная панель. Но, при нагреве воды в алюминиевом стакане время, затраченное на нагрев воды до температуры 55°C индукционной панелью в полтора раза меньше, чем магнитным нагревателем.

Получается, что воду магнитным нагревателем лучше греть в медной ёмкости.

4 Достоинства и недостатки индукционного нагрева

Наше устройство построено на принципе индукционного нагрева и имеет ряд достоинств.

Во-первых, это максимальная производительность, поскольку индукция является очень быстрым процессом. Нагрев происходит за малый промежуток времени.

Во-вторых, он по максимуму превращает потребленную энергию в полезную теплоту.

В-третьих, при индукционном нагреве обрабатываемая деталь не вступает в прямой контакт с нагревающим элементом, теплота возникает прямо внутри детали под действием переменного тока.

В-четвертых, системы индукционного нагрева не используют нагрева и помогает защитить окружающую среду. Система индукции улучшает условия труда, т.к. не производит дыма, чрезмерной жары и токсичных выбросов.

К недостаткам магнитного нагревателя можно отнести повышенный шум при работе двигателя.

5 Области применения

5.1 Применение в промышленности

В настоящее время индукционный нагреватель типа «катушка с сердечником – индуктор» используется очень часто. Основные области применения [1]:

- плавка металла, получение новых сплавов, производство металлической проволоки, поверхностная закалка материалов, нагрев металлов для обработки под давлением;
- сушка лакокрасочных покрытий, термическая обработка запчастей для транспортных средств, сушка и склеивание древесины.

А также устройства и техника:

- производство котлов отопления;
- медицинская отрасль (дезинфекция инструментов, врачебного оборудования);

- машиностроение, обогрев автосервиса;
- промышленные печи.

В ядерной энергетике применяют индукционные насосы для перекачивания жидких металлов.

5.2 Применение в быту

В быту индукционные нагревательные устройства распространены как:

- бытовые автономные системы отопления (для дачи, квартиры, частного дома);
- индукционные варочные поверхности и плитки для кухни.

ВЫВОДЫ

В ходе изучения токов Фуко, исследования работающего на их принципах магнитного нагревателя и на основании проведённых опытов показано, что

1. вращение диска с постоянными магнитами приводит к возникновению переменного магнитного поля. Данное явление проявляется в нагреве проводника, находящегося над плоскостью вращения диска. Нагрев обусловлен наличием на поверхности проводника вихревых токов – токов Фуко, возникающих под действием изменяющегося во времени магнитного поля;

2. эффективность работы магнитного нагревателя напрямую зависит от количества и мощности применяемых в его конструкции постоянных магнитов;

3. чем больше скорость вращения диска с магнитами, тем выше эффективность нагревателя;

4. нагрев происходит более интенсивно на минимальных расстояниях к плоскости вращения диска нагревателя, что обусловлено сильным ослаблением магнитного поля с увеличением расстояния;

5. эффективность магнитного нагревателя при нагреве медной пластины выше, чем у индукционной панели. Но, при нагреве воды в алюминиевом стакане время, затраченное на нагрев воды до температуры 55°C индукционной панелью в полтора раза меньше, чем магнитным нагревателем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учение о магнетизме охватывает огромный круг явлений и широко используется в науке, технике и быденной жизни.

В заключении я хочу предложить свои варианты по использованию магнитного нагревателя:

- исследовать как воздействует индукционный нагрев на покоящиеся зародыши семян, споры растений;
- бесконтактный нагрева воды, например, на даче в умывальнике;
- для подогрева нефтепровода. Известно, что нефть вязкая, плохо течёт, а в условиях низких температур создаёт пробки;
- для исследования земных пород.
- также наше устройство может быть использовано для изучения в школьных условиях, в качестве демонстрационного стенда.

Мы много знаем об электричестве и магнетизме и с каждым днем узнаем все больше и больше. Но за одной проблемой встают другие, не менее сложные и интересные. Жизнь всегда будет полна загадок. И наряду с самыми сложными – загадкой жизни и загадкой Вселенной – загадка магнита всегда будет давать пищу для любознательного ума [4].

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.