

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет
Кафедра общей физики
Даниличев Денис Евгеньевич

КУРСОВАЯ РАБОТА


Измерение магнитной индукции редкоземельного магнита

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19306

Научный руководитель:

д.ф.-м.н. Фомичёв В. П.

Оценка научного руководителя

Отлично 

« 14 » декабря 2020 г.

Преподаватель практикума

д.ф.-м.н. О. Е. Терещенко

Оценка преподавателя практикума

« _____ » _____ 20 ____ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

« _____ » _____ 20 ____ г.

Новосибирск 2020

Аннотация

Целью работы является косвенное измерение магнитной индукции неодимового магнита. Для определения предельной силы отталкивания двух магнитов была создана установка, предотвращающая их переворачивание. Из выражения энергии магнитного поля получена формула связи индукции и силы отталкивания. Проведен эксперимент по измерению зазора между магнитами и соответствующей этому зазору силе. На основании полученных данных получен график зависимости силы отталкивания магнитов от расстояния между магнитами. Определено предельное значение выдерживаемого магнитами веса. Получено значение магнитной индукции исследуемого магнита. Проведена оценка погрешностей.

Ключевые слова: магнитное поле, магнитная индукция, сила отталкивания.

Содержание

Введение.....	4
Глава 1. Теоретическая часть.....	5
Глава 2. Экспериментальная часть.....	6
2.1 Экспериментальная установка.....	6
2.2 Методика измерений.....	7
2.3 Результаты измерений	7
Погрешности измерений	9
Вывод.....	10
Список литературы	10

Введение

Постоянный магнит — изделие из магнитотвёрдого материала, сохраняющее состояние намагниченности в течение длительного времени. В данной работе используется магнит из сплава редкоземельного элемента неодима, бора и железа. Постоянный магнит является источником магнитного поля без подвода электроэнергии. Магнитное поле изменяет состояние среды, и это состояние характеризуется магнитной индукцией (рис. 1).

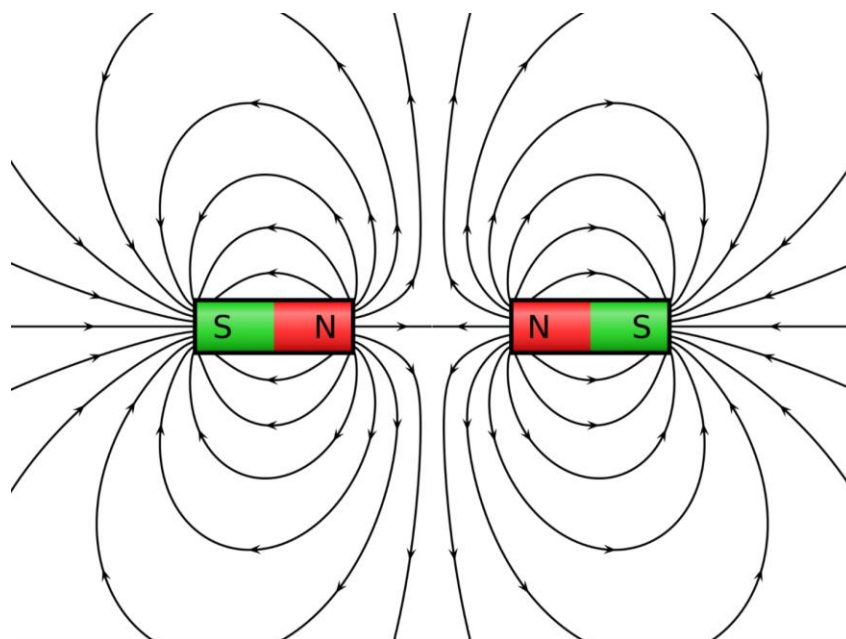


Рис. 1. Картина силовых линий магнитного поля отталкивающихся магнитов

Известно, что одноименные полюса магнитов отталкиваются, а разноименные полюса притягиваются. Сила отталкивания (или притяжения) двух магнитов зависит от следующих характеристик: площади поверхности магнитов, расстояния между магнитами и значения магнитной индукции на поверхности магнита. Измерить площадь, расстояние и силу взаимодействия прямым образом возможно. Магнитную индукцию, в свою очередь, невозможно измерить без помощи специальных приборов. Целью данной работы является косвенное измерение индукции магнитного поля кольцевого магнита.

Если попытаться расположить отталкивающиеся магниты вертикально, чтобы один магнит парил над другим (магнитная левитация), то такое положение будет нестабильным. Магниты будут переворачиваться, стремясь соединиться разноименными полюсами. Чтобы добиться устойчивой левитации, магниты необходимо закрепить на одной оси. Главной задачей данной исследовательской работы является изготовление устройства для проведения измерений магнитной индукции редкоземельного постоянного магнита.

Глава 1. Теоретическая часть

Два магнита создают магнитное поле между ними.

Энергия магнитного поля в объеме V с индукцией B определяется величиной:

$$W = \frac{B^2}{2\mu} \cdot V$$

Объем можно представить как $V = S \cdot x$, где S – площадь поверхности магнита, а x – расстояние между магнитами. Если расстояние между магнитами очень маленькое ($x \ll \sqrt{S}$), то поле, создаваемое магнитами в этом зазоре однородно. Узкий зазор позволяет пренебречь краевыми эффектами и считать, что поле в зазоре между кольцевыми магнитами совпадает с полем магнитов.

Найдем силу отталкивания магнитов:

$$F_{\text{от}} = \text{grad}(W) = \frac{\partial W}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{B^2}{2\mu} \cdot S \cdot x \right) = \frac{B^2}{2\mu} \cdot S$$

Здесь $\frac{B^2}{2\mu}$ проявляется как магнитное давление.

В эксперименте два кольцевых магнита сводились до величины x так, чтобы они отталкивались. Сила отталкивания магнитов уравновешивалась действием силы тяжести грузов:

$$F_{\text{от}} - F_{\text{тяж}} = 0, F_{\text{тяж}} = mg$$

Таким образом, определив предельный выдерживаемый вес, при котором магниты почти касаются друг друга ($x \ll \sqrt{S}$), можно вычислить значение магнитной индукции исследуемого магнита:

$$B = \sqrt{\frac{2\mu mg}{S}}$$

Глава 2. Экспериментальная часть

2.1 Экспериментальная установка

Детали экспериментальной установки были спроектированы мной в среде Компас-3D и изготовлены на токарном станке токарем из немагнитных материалов.

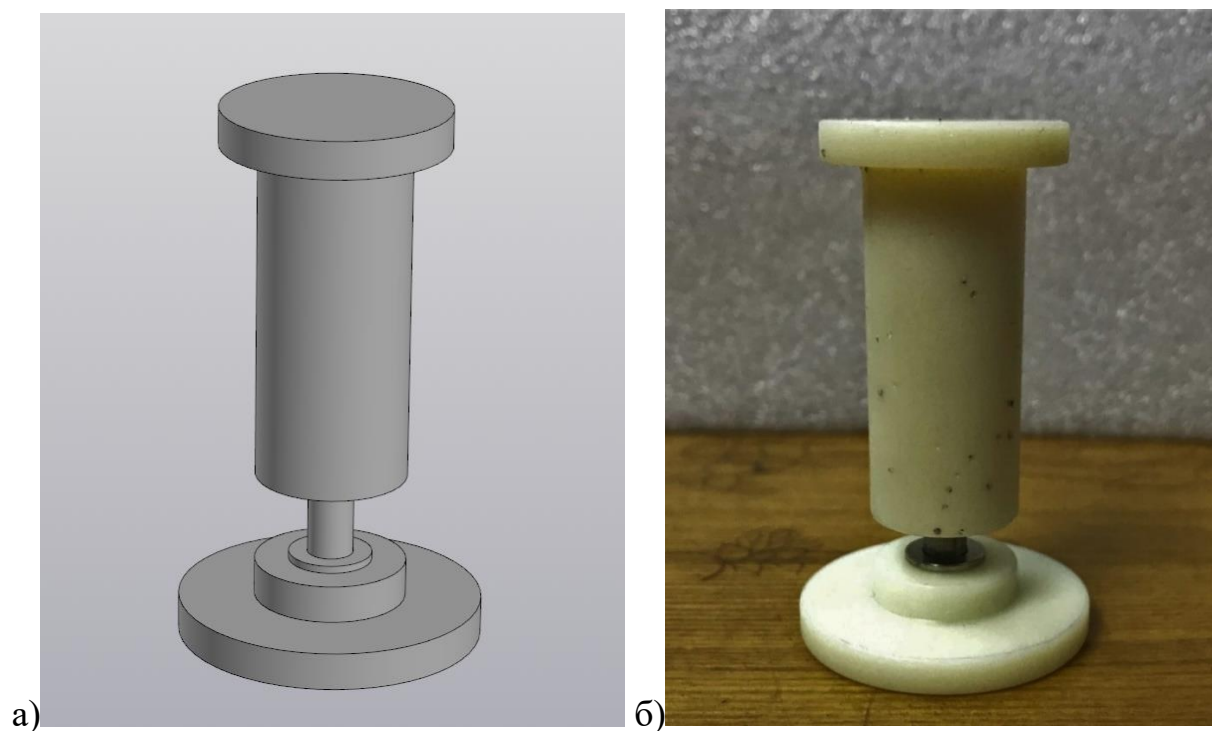


Рис. 2. Экспериментальная установка: а) 3D модель; б) Готовая установка

Установка представляет из себя основание с закрепленным перпендикулярно штофом. На штоф насаживаются два одинаковых кольцевых неодимовых магнита, обращенных друг к другу одноименными полюсами. Сверху на штоф надевается «стакан» с площадкой для грузов (рис. 2).

2.2 Методика измерений

Магниты обращены друг к другу одноименными полюсами, вследствие чего отталкиваются и приподнимают стакан с площадкой (рис. 3, б). На площадку устанавливаются гири, при этом расстояние между ними уменьшается (рис. 3, в, г). Расстояние между магнитами измеряется при помощи штангенциркуля и заносится в таблицу напротив соответствующей этому расстоянию массе грузов.

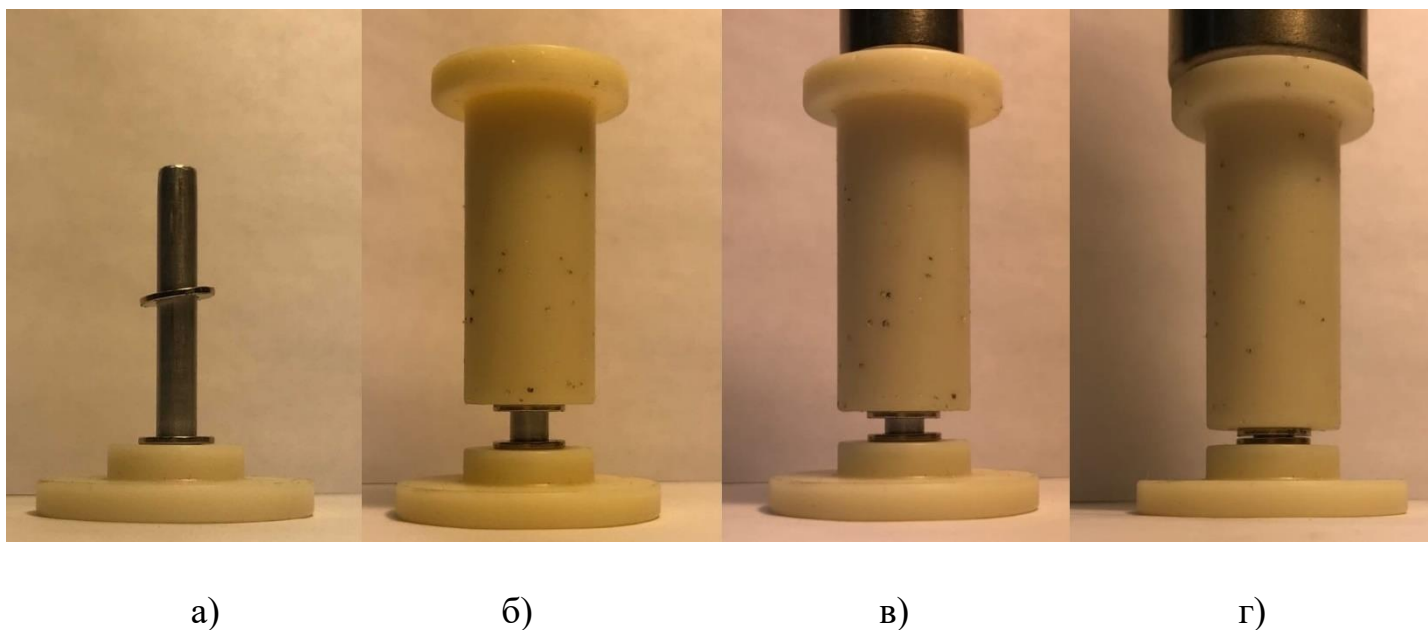


Рис. 3. Установка во время эксперимента: а) без стакана; б) без дополнительного веса; в) с грузом 50 г; г) с грузом 350 г

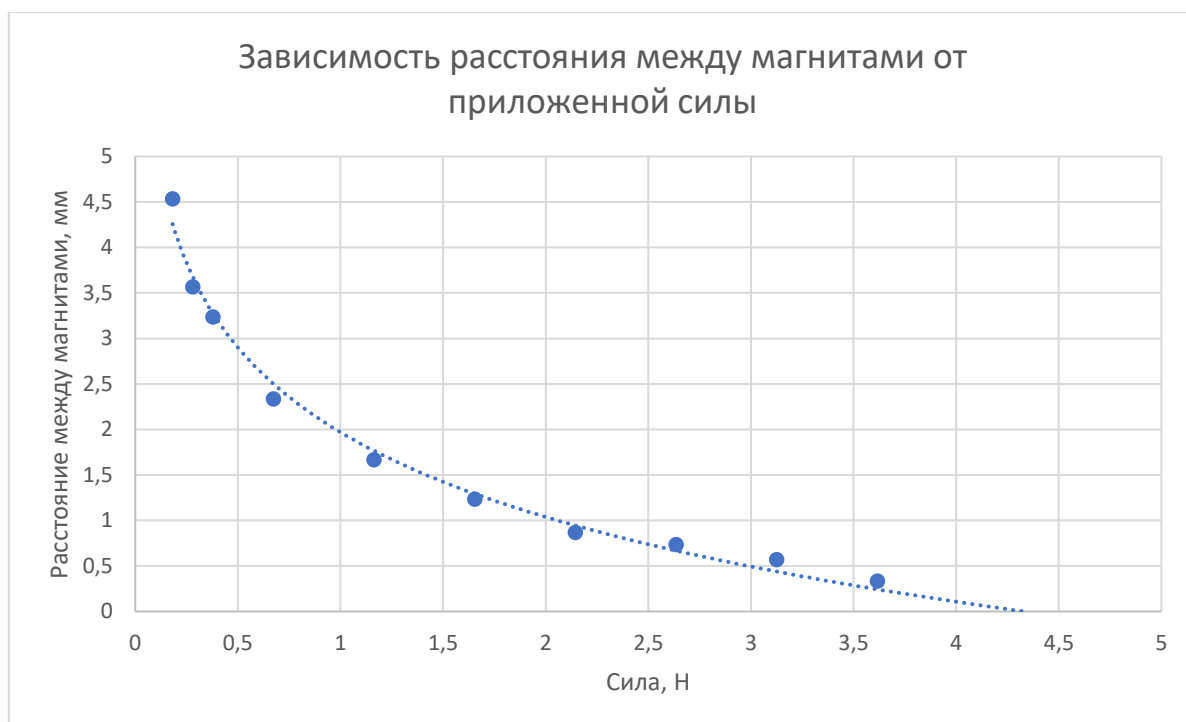
В ходе эксперимента необходимо определить вес, при котором магниты почти касаются друг друга, но все еще отталкиваются. По полученным данным становится возможным вычисление магнитной индукции исследуемых магнитов.

2.3 Результаты измерений

Измерения расстояния выполнялись по 3 раза для каждого веса. Таблица 1 содержит только средние значения расстояний. График зависимости силы отталкивания магнитов от расстояния между ними построен по средним значениям расстояний, через них проведена аппроксимирующая кривая.

Сила, Н	Расстояние, мм
0,18	4,53
0,28	3,57
0,38	3,23
0,67	2,33
1,16	1,67
1,65	1,23
2,14	0,87
2,63	0,73
3,13	0,57
3,62	0,33

Таблица 1. Зависимость расстояния между магнитами от приложенной силы



Из графика видно, что сила отталкивания магнитов зависит нелинейно от зазора между ними. Продлив аппроксимирующую кривую до минимума, когда расстояние между магнитами ноль, можно найти предельное значение силы, $F = 4,33$ Н. Фактически, это означает что магнит выдерживает вес, примерно в 850 раз больший собственного веса (вес магнита 5 мН).

Следуя выкладкам теоретической части, и учитывая, что площадь торцевой поверхности кольцевых магнитов $S = 65,8 \cdot 10^{-6}$ м², можно вычислить индукцию магнитного поля магнитов:

$$B = \sqrt{\frac{2\mu F_{\text{тяж}}}{S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 4,33}{65,8 \cdot 10^{-6}}} = 0,41 \text{ Тл}$$

Погрешности измерений

Абсолютная погрешность весовых измерений составляет ± 5 мг. Тогда относительная погрешность весовых измерений составляет менее 0,1%. Такую малую погрешность можно не учитывать.

Абсолютная погрешность измерения площади составляет $\Delta S = \pm 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$. Относительная погрешность измерения площади $\delta_S = 4,6\%$.

Аппроксимирующая кривая получена по множеству точек (10), каждая из которых является независимым измерением штангенциркуля с абсолютной погрешностью $\Delta x_1 = \pm 0,05$ мм. Также, каждая средняя точка характеризуется отклонением от среднего. Это дает вклад в виде погрешности $\Delta x_2 = \pm 0,32$ мм. Тогда суммарная погрешность по определению расстояния $\Delta x_1 + \Delta x_2 = \pm 0,37$ мм. Кривая построена по множеству точек (10), поэтому фактическая погрешность по измерению расстояний в 10 раз меньше, то есть $\Delta x = \pm 0,037$ мм. Приращение изменения силы характеризуется производной аппроксимирующей кривой. С помощью значения производной аппроксимирующей кривой в точке нулевого расстояния и значения ошибки измерения расстояний ($\pm 0,037$ мм), была получена погрешность предельного веса, равная $\Delta F = \pm 0,2$ Н. Значит, относительная погрешность определения веса по кривой $\delta_F = 4,7\%$.

Погрешность измерения магнитной индукции складывается из погрешности измерения площади $\delta_S = 4,6\%$ и погрешность определения веса $\delta_F = 4,7\%$.

Найдем относительную и абсолютную погрешности индукции:

$$\delta_B = \sqrt{\delta_S^2 + \delta_F^2} = 6,6\%$$

$$\Delta B = 0,03 \text{ Тл}$$

Вывод

В ходе выполнения работы была выяснено, что отталкивающая сила магнитов увеличивается нелинейно при сближении магнитов. По сравнению с собственным весом и размером магнита, сила магнитного отталкивания огромна. Применяемый в работе магнит выдерживает вес, приблизительно в 850 раз больший собственного.

Удалось получить электромагнитную характеристику магнита, а именно величину магнитной индукции около поверхности, не используя электроизмерительные приборы. Магнитная индукция составила $0,41 \pm 0,03$ Тесла.

Список литературы

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Электричество. Т. 3. М.: Физматлит, 2005.
2. Яковлев В. И. Классическая электродинамика. Новосибирск: НГУ, 2003. Ч. 1.
3. Альтман А. Б., Верниковский Э. Е., Герберг А. Н.; под ред. Пятина Ю. М.. Постоянные магниты: справочник. М.: Энергия, 1980.
4. Яковлев К. П. Математическая обработка результатов измерений. М.: Гостехиздат, 2011.