

Государственное высшее учебное заведение  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра физики

ОТЧЁТ  
по лабораторной работе №57

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО  
ПОЛЯ ТОРОИДА ОТ НАПРЯЖЁННОСТИ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ПОЛЯ

Выполнил студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Преподаватель кафедры физики

\_\_\_\_\_

Отметка о защите \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа № 57

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТОРОИДА ОТ НАПРЯЖЁННОСТИ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ПОЛЯ

Цель работы – исследовать зависимость индукции магнитного поля тороида и магнитной проницаемости сердечника тороида от напряжённости внешнего намагничивающего поля.

Приборы и принадлежности: тороид с железным сердечником, регулируемый источник питания ВС-24М, измеритель магнитной индукции, амперметр.

## Общие положения

Совокупность тел, по которым проходит поток магнитной индукции, называется магнитной цепью. Если поток переходит из одной среды в другую среду целиком, то говорят о последовательном соединении сред. Примером неразветвленной магнитной цепи может служить система, представляющая собой

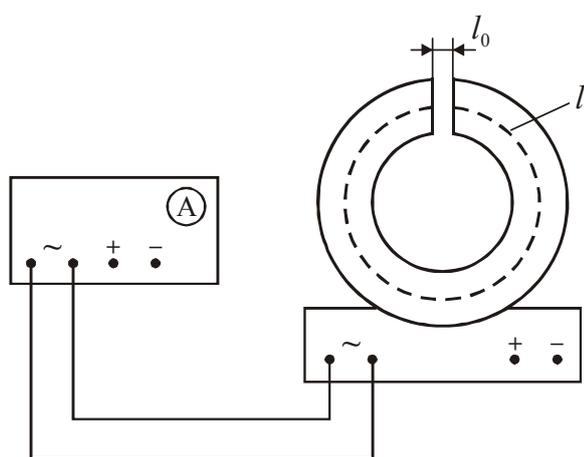


Рисунок 1

электромагнит в виде тороида длиной  $l$  (длина средней линии) с воздушным зазором шириной  $l_0$  (рис.1).

Наличие зазора существенно меняет величину напряжённости  $H$  магнитного поля тороида, поэтому для ее расчёта нельзя применять формулу для расчёта напряжённости поля сплошного тороида:

$$H = \frac{NI}{2\pi r}, \quad (1)$$

где  $N$  – число витков тороида;  $I$  –

сила тока в обмотке тороида,  $r$  – расстояние от центра тороида до точки, в которой ищется  $H$ .

Для определения напряжённости магнитного поля тороида воспользуемся законом полного тока:

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum_{k=1}^N I_k = NI \quad (2)$$

В формуле (2) циркуляция вектора  $\vec{H}$  считается по контуру  $L$ , образованному средней линией тороида и воздушным зазором.

Обозначив  $H$  – напряжённость магнитного поля внутри тороида,  $H_0$  – напряжённость поля в воздушном зазоре, получим

$$Hl + H_0l_0 = NI \quad (3)$$

Так как магнитная проницаемость воздуха  $\mu \approx 1$ , то индукция  $B_0$  магнитного поля в зазоре связана с напряжённостью  $H_0$  магнитного поля соотношением  $B_0 = \mu_0 H_0$ . Сделав замену в уравнении (3), найдем

$$H = \frac{NI - \frac{B_0 l_0}{\mu_0}}{l} \quad (4)$$

Поскольку ширина  $l_0$  зазора значительно меньше  $l$ , то рассеяние магнитного поля невелико, и можно считать, что индукция  $B_0$  магнитного поля в зазоре равна индукции  $B$  поля в тороиде, т.е.  $B_0 = B$ . Таким образом, для определения напряжённости  $H$  магнитного поля внутри тороида надо знать индукцию поля  $B$ , силу тока  $I$ , длину  $l$  железного сердечника и длину  $l_0$  воздушного зазора.

Магнитную проницаемость материала тороида можно рассчитать по формуле

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (5)$$

Отметим, что магнитная проницаемость ферромагнетиков зависит от напряжённости внешнего поля. Начальной магнитной проницаемостью называется величина, измеренная при небольших значениях  $H$ .

### Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка состоит из электромагнита в виде тороида

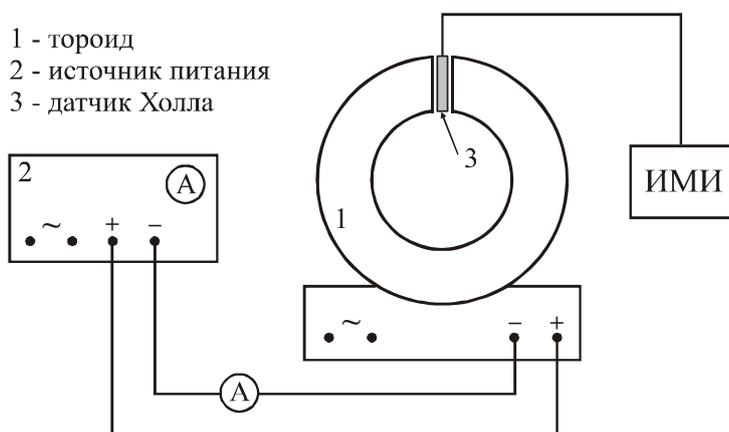


Рисунок 2

1, источника тока 2, измерителя магнитной индукции ИМИ с датчиком Холла 3 (рис.2). Обмотку тороида можно подключать к источнику постоянного или переменного тока. Величина тока плавно меняется при помощи регулятора на передней панели прибора. Переменный ток используется для размагничивания железного сердечника электромагнита. Известно, что в убывающем пере-

ременном магнитном поле ферромагнетик размагничивается, поэтому уменьшение переменного тока в обмотке тороида от некоторого значения до 0 приведёт к размагничиванию сердечника.

Индукция  $B$  магнитного поля измеряется при помощи измерителя магнитной индукции, работа которого основана на эффекте Холла. Датчик Холла помещают в измеряемое магнитное поле и снимают показания со шкалы прибора.

## Подготовка к работе

(ответы представить в письменном виде)

1. В чём состоит цель работы?
2. Какие физические величины измеряются непосредственно (прямые измерения)?
3. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряжённость магнитного поля.
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать напряжённость магнитного поля в зазоре сердечника. Поясните смысл обозначений.
5. Какие графики необходимо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте теоретический вид проверяемых зависимостей.

## Выполнение работы

1. Записать число витков  $N$  тороида, длину  $l$  средней линии сердечника, ширину  $l_0$  воздушного зазора. Данные указаны на рабочем месте.
2. Собрать схему для размагничивания (рис. 1).
3. Размагнитить сердечник электромагнита. Для этого, включив источник питания, ручкой регулировки выходного напряжения медленно увеличить его до максимального значения и так же медленно уменьшить до нуля.
4. Включить измеритель магнитной индукции. Тумблер предела измерений магнитного поля перевести в положение « $\times 2$ » и ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на середину шкалы (показание 0).
5. При помощи измерителя магнитной индукции провести проверку размагничивания. Для этого датчик Холла поместить в зазор сердечника тороида.
6. После размагничивания, отключить электромагнит от источника питания.
7. Собрать схему для намагничивания (рис. 2). Регулятор напряжения установить на нулевую отметку.
8. Определить цену деления амперметра.
9. Ввести датчик измерителя магнитной индукции в зазор сердечника. Увеличивая ток в цепи с шагом, указанным преподавателем, снимать показания измерителя магнитной индукции, умножая их на 2. (**Ни в коем случае не допускать уменьшения тока**). Измерения проводить при каждом значении тока дважды, меняя ориентацию датчика на  $180^\circ$  (стрелка прибора при этом должна отклоняться в противоположную сторону по шкале прибора). По двум измерениям индукции магнитного поля берут среднее значение.
10. При достижении максимального значения индукции на пределе « $\times 2$ », перейти на предел « $\times 5$ ». При переходе на данный предел вынуть датчик из зазора электромагнита и ручкой «Уст. 0» установить стрелку прибора на 0. Датчик магнитометра при этом не должен находиться в сердечнике электромагнита.
11. Продолжить измерения согласно п. 8, умножая показания измерителя на 5.

## Оформление отчёта

### 1. Расчёты

1. Рассчитать напряжённость магнитного поля по формуле (4).
2. Рассчитать магнитную проницаемость по формуле (5).
3. Построить графики зависимостей  $B = f(H)$  и  $\mu = f(H)$ . При построении графика  $\mu = f(H)$ , считать, что начальное значение магнитной проницаемости при  $H=0$  равно  $\mu_a=50$ .

### 2. Защита работы

*(ответы представить в письменном виде)*

1. Дайте определение магнитной индукции.
2. Укажите единицы измерения индукции магнитного поля и напряжённости магнитного поля.
3. Какие свойства ферромагнетиков Вы проверили в данной работе?
4. Сравните полученные экспериментально графики  $B = f(H)$  и  $\mu = f(H)$  с теоретическими зависимостями. Сделайте вывод по результатам работы.

ПРОТОКОЛ  
измерений к лабораторной работе №57

Выполнил(а) \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

Число витков тороида  $N =$  \_\_\_\_\_Длина средней линии сердечника  $l =$  \_\_\_\_\_Ширина воздушного зазора  $l_0 =$  \_\_\_\_\_

Определение цены деления приборов

| №<br>п/п | Прибор    | Предел подключения<br>с указанием единицы<br>измерения | Число делений на шкале<br>прибора | Цена деления<br>с указанием единицы измерения |
|----------|-----------|--|-----------------------------------|---|
| 1        | Амперметр |  |                                   |   |
|          |           |  |                                   |   |

| №<br>п/п | $I,$<br>А | $B_1,$<br>мТл | $B_2,$<br>мТл | $B_{ср},$<br>мТл | $H,$<br>А/м | $\mu$ |
|----------|-----------|---------------|---------------|------------------|-------------|-------|
| 1        |           |               |               |                  |             |       |
| 2        |           |               |               |                  |             |       |
| 3        |           |               |               |                  |             |       |
| 4        |           |               |               |                  |             |       |
| 5        |           |               |               |                  |             |       |
| 6        |           |               |               |                  |             |       |
| 7        |           |               |               |                  |             |       |
| 8        |           |               |               |                  |             |       |
| 9        |           |               |               |                  |             |       |
| 10       |           |               |               |                  |             |       |
| 11       |           |               |               |                  |             |       |
| 12       |           |               |               |                  |             |       |
| 13       |           |               |               |                  |             |       |
| 14       |           |               |               |                  |             |       |
| 15       |           |               |               |                  |             |       |

Дата \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_