

ОТЧЁТ

по лабораторной работе №58

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЖЕЛЕЗЕ  
ПО ПОДЪЁМНОЙ СИЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТА

Выполнил студент группы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Преподаватель кафедры физики

\_\_\_\_\_

Отметка о защите \_\_\_\_\_

## Лабораторная работа №58

ИЗМЕРЕНИЕ ИНДУКЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЖЕЛЕЗЕ  
ПО ПОДЪЁМНОЙ СИЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТА

Цель работы – произвести расчёт индукции магнитного поля в железе по подъёмной силе электромагнита, исследовать зависимость индукции магнитного поля в железе и магнитной проницаемости от напряжённости намагничивающего поля.

Приборы и принадлежности: подковообразный электромагнит на подставке, якорь с набором грузов, амперметр постоянного тока, реостат, лабораторный автотрансформатор.

## Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Установка состоит из электрических цепей постоянного и переменного токов. Переменный ток используется для размагничивания сердечника электромагнита 1. Сила тока в этой цепи регистрируется амперметром  $A_1$  и регулируется лабораторным автотрансформатором (ЛАТР). Цепь постоянного тока состоит из источника тока, реостата и амперметра  $A_2$ . Эта цепь используется для намагничивания электромагнита. Сила тока в ней изменяется реостатом. С помощью переключателя  $K$  электромагнит можно включать в цепь постоянного или переменного тока. Установка снабжена якорем 2 и пятью грузами, масса которых известна.

## Общие положения

Подъёмной силой электромагнита называется сила притяжения якоря 2 электромагнита к сердечнику 1 (рис. 1). В данной работе подъёмная сила  $F$  электромагнита равна весу грузов, которые удерживает электромагнит:

$$F = mg, \quad (1)$$

где  $m$  – масса удерживаемых грузов.

Способность удерживать грузы электромагнит приобретает за счёт внешнего намагничивающего поля. Напряжённость  $H$  этого поля найдём, используя закон полного тока. Величина  $x$  зазора между сердечником и якорем практически равна нулю, поэтому можно записать:

$$Hl = Ni,$$

где  $l$  – длина сердечника,  $N$  – число витков в обмотке,  $I$  – сила тока в обмотке.

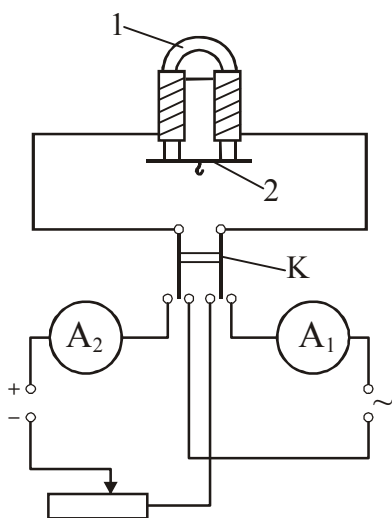


Рисунок 1

Отсюда

$$H = \frac{Ni}{l}. \quad (2)$$

Если под действием подъёмной силы якорь смещается на величину  $dx$ , то полный магнитный поток, пронизывающий сердечник, изменится на величину  $d\Psi$ . Это приведет к возникновению в обмотке индукционного тока. В свою очередь индукционный ток изменит энергию, выделяемую источником тока, энергию магнитного поля сердечника и количество тепла, выделяющегося в обмотке. По закону сохранения энергии

$$\delta A = dW + dW_M + dQ, \quad (3)$$

где  $\delta A = Fdx$  – элементарная работа, совершаемая при смещении якоря;  
 $dW$  – изменение энергии источника;  
 $dW_M$  – изменение энергии магнитного поля;  
 $dQ$  – величина, на которую изменится количество тепла, выделившегося в обмотке.

Можно показать, что

$$dW = -id\Psi; \quad dW_M = -\frac{id\Psi}{2}; \quad dQ = 2id\Psi.$$

Сделав замену в (3), получим:

$$Fdx = -id\Psi - \frac{id\Psi}{2} + 2id\Psi. \quad (4)$$

Отсюда

$$F = \frac{i}{2} \cdot \frac{d\Psi}{dx}. \quad (5)$$

Полный магнитный поток

$$\Psi = NBS, \quad (6)$$

где  $B$  – индукция магнитного поля в сердечнике;  
 $S$  – площадь сечения сердечника.

$$S = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (7)$$

где  $d$  – диаметр сердечника.

При наличии зазора закон полного тока запишется в виде

$$Hl + H'2x = Ni,$$

где  $H'$  – напряжённость поля в зазоре,  
 $x$  – величина зазора (мы учли, что зазоров два).

Учитывая, что магнитный поток в зазоре и сердечнике одинаков, а также то, что индукция и напряжённость магнитного поля связаны соотношением

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0}, \quad (8)$$

можно получить выражение для определения полного магнитного потока:

$$\Psi = \frac{\mu\mu_0 N^2 i}{(l + 2\mu x)} S. \quad (9)$$

Сделав замену в (5) по формуле (9) и дифференцируя, получим с учётом того, что зазор очень мал:

$$F = \left( \frac{\mu\mu_0 Ni}{l + 2\mu x} \right)^2 \cdot \frac{S}{\mu_0} = \frac{B^2 S}{\mu_0},$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  – Гн/м магнитная постоянная.

Отсюда

$$B = \sqrt{\frac{\mu_0 F}{S}} \quad (10)$$

### 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, по которой Вы будете рассчитывать напряжённость намагничивающего поля. Поясните смысл обозначений.
4. Запишите формулу, по которой Вы будете рассчитывать индукцию магнитного поля. Поясните смысл обозначений.
5. Какие графики необходимо построить по результатам работы? Схематично нарисуйте теоретический вид проверяемых зависимостей.

### Выполнение работы

1. Собрать электрическую цепь по схеме (рис. 1).
2. Определить цену деления амперметра. Записать значения диаметра  $d$  и длины  $l$  сердечника, количества витков  $N$ , которые указаны на установке. Массы  $m$  якоря и грузов указаны на них.
3. Включить электропитание установки.
4. Перед началом опыта необходимо размагнитить сердечник. Для этого замкнуть сердечник электромагнита якорем, включить установку в цепь переменного тока и установить с помощью ЛАТРа ток  $\sim 1,0$  А. Затем плавно уменьшить ток от этого максимального значения до нуля. Разомкнуть цепь переключателем К.
5. Вывести реостат на максимальное сопротивление. Включить установку в цепь постоянного тока. Увеличивая ток малыми ступенями ( $\sim 0,01$  А) с помощью регулятора напряжения, подобрать минимальную силу тока, при которой электромагнит удерживает якорь.
6. Подвесить к якорю платформу без грузов. Подобрать минимальную силу тока, при которой электромагнит удерживает якорь с платформой. Плавную регулировку силы тока можно проводить с помощью реостата. После каждо-

го увеличения тока делать попытку удержать якорь электромагнитом. Если электромагнит не удерживает якорь, то увеличить ток и повторить попытку.

7. Повторить опыт со всеми грузами, последовательно добавляя их на платформу.

### **Примечание**

*При подборе минимального значения силы тока подходить к нему следует со стороны меньшей силы тока. Перемещать регулятор напряжения и ползунок реостата следует осторожно. В случае оплошности необходимо снова размагнитить сердечник (см. пункт 4) и повторить намагничивание с самого начала.*

## **Оформление отчёта**

### **1. Расчёты**

1. Вычислить площадь сечения сердечника электромагнита по формуле (7).
2. Рассчитать подъёмную силу электромагнита по формуле (1).
3. По формуле (2) рассчитать напряжённость намагничивающего поля для каждого опыта.
4. По формуле (10) рассчитать индукцию магнитного поля для каждого значения напряжённости.
5. Рассчитать магнитную проницаемость материала сердечника для каждого значения напряжённости поля по формуле  $\mu = \frac{B}{\mu_0 H}$ .
6. Построить графики зависимостей  $B=f(H)$  и  $\mu=f(H)$ .

### **2. Защита работы**

*(ответы представить в письменном виде)*

1. Запишите формулу, связывающую индукцию и напряжённость магнитного поля.
2. Дайте определение магнитной индукции. Укажите единицы измерения индукции магнитного поля и напряжённости магнитного поля.
3. Перечислите основные свойства ферромагнетиков. Какие из них Вы проверяли 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 №58

Выполнил(а) \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

Число витков катушки  $N =$  \_\_\_\_\_Длина сердечника  $l =$  \_\_\_\_\_Диаметр сердечника  $d =$  \_\_\_\_\_

Определение цены деления приборов

№ п/п	Прибор	Предел подключения с указанием единицы измерения	Число деле- ний на шка- ле прибора	Цена деления с указанием еди- ницы измерения
1	Амперметр			

№ п/п	$m,$ г	$F,$ Н	$i,$ А	$B,$ Тл	$H,$ А/м	$\mu$
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Дата \_\_\_\_\_

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_