

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

## Петля гистерезиса (статический метод)

выполнила студентка 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2017 г.

# 1 Цель работы

Исследование кривых намагничивания ферромагнетиков с помощью баллистического гальванометра

## 2 В работе используются:

- генератор тока с блоком питания
- тороид
- соленоид
- баллистический гальванометр с осветителем и шкалой
- амперметры
- магазин сопротивлений
- лабораторный автотрансформатор
- разделительный трансформатор

## 3 Теоретические положения

Магнитная индукция **B** и напряжённость магнитного поля **H** в ферромагнетике неоднозначно связаны между собой: индукция зависит не только от напряжённости, но и от предыстории образца. В эксперименте будет исследоваться *основная кривая намагничивания OACD* и *предельная петля гистерезиса DEFD'E'F'D* (см. рис. 1).

С помощью баллистического гальванометра и амперметра будем косвенно измерять зависимость индукции магнитного поля от его напряжённости. Напряжённость магнитного поля  $H$  в тороиде зависит от тока, текущего в намагничивающей обмотке:

$$H = \frac{N_{T0}}{\pi D} I, \quad (1)$$

где  $D$  - средний диаметр тора,  $N_{T0}$  - количество витков.

Изменение поля приводит к изменению потока магнитной индукции  $\Phi$  в сердечнике, в измерительной обмотке возникает ЭДС индукции, через гальванометр, в свою очередь, протекает импульс тока, изменяется положение рамки и, следовательно, зайчика. Окончательно (определив также баллистическую постоянную гальванометра, проведя измерения с соленоидом) для изменения магнитной индукции в сердечнике тороида получаем:

$$\Delta B = \mu_0 \left( \frac{d_C}{d_T} \right)^2 \frac{R}{R_1} \frac{N_{C0}}{N_{T1}} \frac{N_{C1}}{l_C} \Delta I_1 \frac{\Delta x}{\Delta x_1}, \quad (2)$$

где  $R$  - полное сопротивление измерительной цепи тороида,  $d_C, d_T$  - диаметр поперечного сечения соленоида и тороида соответственно,  $N_{C0}$  - число витков пустотелого соленоида,  $N_{C1}$  - число витков короткой измерительной катушки  $l_C$  - длина соленоида,  $\Delta x_1$  - отклонение зайчика при работе с соленоидом,  $\Delta x$  - отклонение зайчика в эксперименте.

## 4 Экспериментальная установка

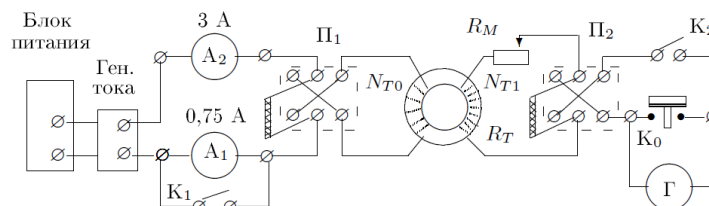


Рис. 2: Схема установки для исследования петли гистерезиса

После снятия петли гистерезиса необходимо размагнитить сердечник, подключив его к цепи переменного тока, постепенно снижая его амплитуду. Только затем следует приступить к снятию основной кривой намагничивания.

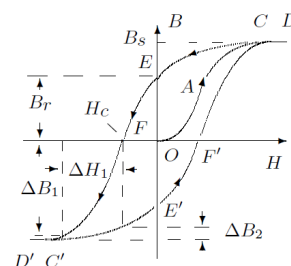


Рис. 1: Петля гистерезиса ферромагнетика

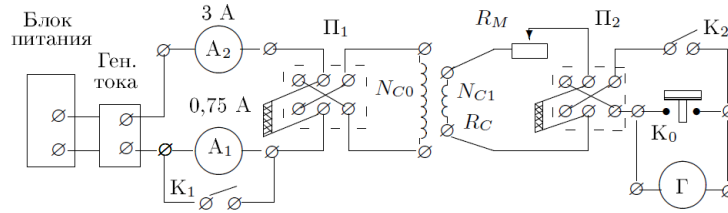


Рис. 3: Схема установки для калибровки гальванометра

## 5 Ход работы

1. Подготовив к работе экспериментальную установку, снимем зависимость величины скачка  $\Delta x$  от величины силы тока в цепи  $I$ . Пройдём по всей петле гистерезиса, результаты занесём в таблицу 1.

Таблица 1: Зависимость  $\Delta x$  от  $I$  и соответствующие  $H$  и  $\Delta B$ , петля гистерезиса

$I$ , мА	538	244	146.7	96.3	64.7	49.3	39.8	33.9	30.9	27.2	23.6	0.63
$\Delta x$ , см	6.9	6.8	4.95	3.7	2.9	1.7	1.13	0.7	0.4	0.5	0.5	4.1
$H$ , А/м	299.84	135.987	81.760	53.670	36.059	27.476	22.182	18.893	17.221	15.159	13.153	0.351
$\Delta B$ , Тл	0.002	0.211	0.166	0.124	0.097	0.057	0.038	0.023	0.014	0.010	0.007	0.007
$I$ , мА	0.00	0.6	23.7	27.3	31.1	34.1	40.2	49.6	64.8	96.3	146.9	244.2
$\Delta x$ , см	0.1	0.1	6.9	1.6	2.3	2.45	7.5	11.8	11.3	12.2	9.3	8.9
$H$ , А/м	0.00	-0.33	-13.21	-15.22	-17.33	-19.01	-22.40	-27.64	-36.12	-53.67	-81.87	-136.1
$\Delta B$ , Тл	0.003	0.007	0.231	0.054	0.077	0.082	0.251	0.395	0.379	0.409	0.312	0.298
$I$ , мА	537	244.1	146.8	96.3	64.8	49.3	39.8	33.9	31	27.2	23.5	0.62
$\Delta x$ , см	17.7	11	7.85	5.8	4.6	2.6	1.8	1.15	0.6	0.8	0.8	6.4
$H$ , А/м	-299.3	-136.0	-81.82	-53.67	-36.11	-27.48	-22.18	-18.89	-17.28	-15.16	-13.10	-0.35
$\Delta B$ , Тл	0.570	0.369	0.263	0.194	0.154	0.087	0.060	0.039	0.020	0.027	0.027	0.214
$I$ , мА	0.00	0.6	27.3	31.1	34.1	40.1	49.6	64.9	96.4	146.8	244.1	
$\Delta x$ , см	0.2	0.2	2.5	3.6	3.9	6.9	9.2	10.6	10.8	8.0	7.7	7.6
$H$ , А/м	0.000	0.351	15.215	17.333	19.005	22.349	27.643	36.170	53.726	81.815	136.043	299.841
$\Delta B$ , Тл	0.007	0.005	0.084	0.121	0.131	0.231	0.308	0.355	0.362	0.268	0.258	0.255

2. Отсоединим цепь от тороида, подсоединим её к пустотелому соленоиду. Откалибруем гальванометр. Получившиеся необходимые значения:

$$I_{max} = 1.473 \text{ А} \quad \Delta x_1 = 7.9 \text{ см}$$

3. Размагнитим тороид с помощью источника переменного тока и трансформатора. Снимем начальную кривую намагничивания, результаты занесём в таблицу 2.

Таблица 2: Зависимость  $\Delta x$  от  $I$  и соответствующие  $H$  и  $\Delta B$ , начальная кривая намагничивания

$I$ , мА	0.6	27.3	31.1	34.1	40.1	49.6	64.9	96.4	146.8	244.1	537	
$\Delta x$ , см	0.1	5.8	1.8	2.5	2.3	5.4	8.4	11.1	15.8	15.5	18.1	18.1
$H$ , А/м	0.368	13.209	15.271	17.389	19.061	22.404	27.699	36.170	53.726	81.927	136.154	299.283
$\Delta B$ , Тл	0.001	0.100	0.031	0.043	0.039	0.093	0.144	0.191	0.266	0.271	0.294	0.311

4. В координатах  $B(H)$  построим на одном графике петлю гистерезиса и начальную кривую намагничивания (рисунок 4).

По графику определим следующие величины и оценим их погрешности:

- коэрцитивная сила  $H_c$  - значение напряжённости магнитного поля, необходимое для полного размагничивания ферромагнитного вещества равна длине отрезка, отсекаемого петлёй гистерезиса на горизонтальной оси.  $H_c = 55 \pm 3.3 \text{ А/м}$ .

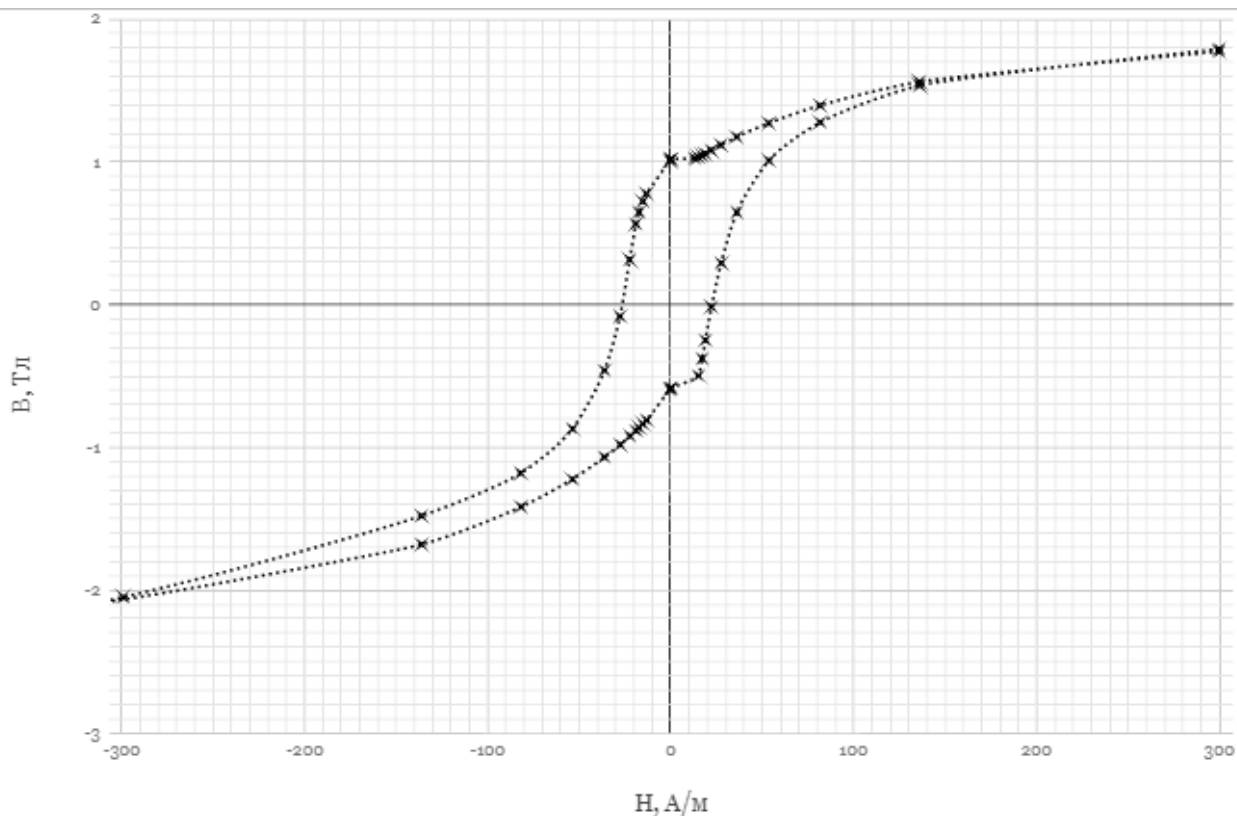


Рис. 4: Петля гистерезиса и начальная кривая намагничивания для исследуемого образца

- индукция насыщения  $B_s$  - максимально достижимое значение внутренней индукции магнитного материала при данной температуре.  $B_s = 1.95 \pm 0.3$  Тл.
- максимальная дифференциальная магнитная проницаемость  $\mu_d = \frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH}$  - характеризующий связь между магнитной индукцией  $B$  и напряжённостью магнитного поля  $H$  в веществе.  $\mu_d = 9715 \pm 270$

Итоговые результаты сведём в таблицу. Теоретические значения возьмём из справочника в пособии к лабораторным работам для технической стали.

Таблица 3: Соответствие теоретических и экспериментальных результатов

	Эксперимент	Справочник
$H_c$ , А/м	$55 \pm 3.3$	80
$B_s$ , Тл	$1.95 \pm 0.3$	2.15
$\mu_0$	$9715 \pm 270$	5000

## 6 Вывод

В ходе работы были исследованы петля гистерезиса магнитомягкого материала, его начальная кривая намагничивания, с хорошей точностью экспериментально определены некоторые магнитные свойства. По кривой гистерезиса видно, что материал является магнитомягким, так как площадь петли мала. Также она симметрична и в целом соответствует теоретическим изображениям подобных кривых. Различие справочных и экспериментальных данных может объясняться тем, что, скорее всего, образец изготовлен не из чисто технического железа, а из сплава его с другим металлом.