

Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Работа 3.4.4
Петля гистерезиса (статический метод)

Содержание

1	Цель работы	2
2	В работе используются:	2
3	Теоретические сведения:	2
4	Экспериментальная установка	3
4.1	Схемы	3
4.2	Размагничивание образца	3
4.3	Исследование петли	4
5	Ход работы	4
6	Вывод	6

1 Цель работы

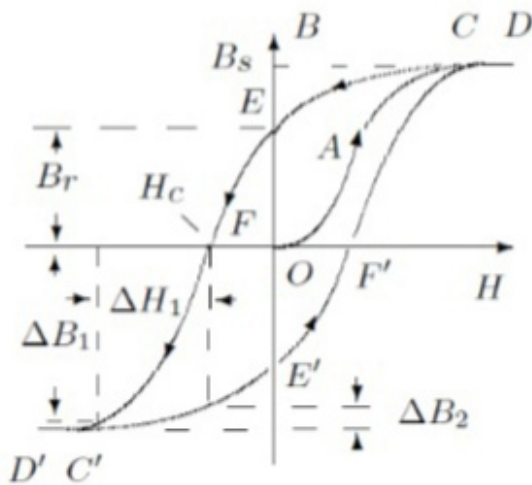
Наблюдение начальной кривой намагничивания ферромагнетиков и предельной петли гистерезиса

2 В работе используются:

Источник питания, тороид, соленоид, баллистический гальванометр с осветителем и шкалой, амперметр, магазин сопротивлений, лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), разделительный трансформатор.

3 Теоретические сведения:

Магнитная индукция \mathbf{B} и напряжённость магнитного поля \mathbf{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* $DEFD'E'F'D$.



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:

$$H = \frac{N_{T_0}}{\pi D} I$$

, где D - средний диаметр тора, N_{T_0} - количество витков.

Изменение поля приводит к изменению потока магнитной индукции Φ 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:

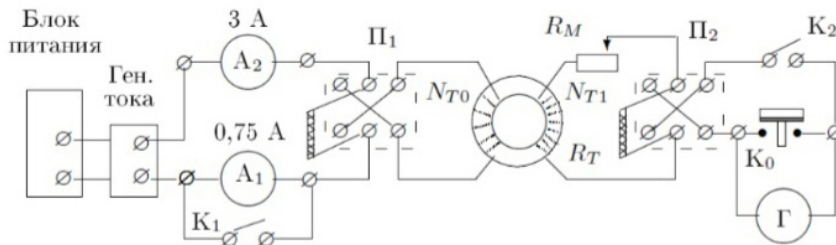
$$\Delta B = \mu_0 N_c \frac{N'_c R d_c^2 \Delta I_c \Delta x}{N' R_c d^2 l_c \Delta x_c}$$

где R - полное сопротивление измерительной цепи тороида, d_C, d - диаметр поперечного сечения соленоида и тороида соответственно, N_c - число витков пустотелого соленоида, N'_c - число витков короткой измерительной катушки l_C - длина соленоида, Δx_c - отклонение зайчика при работе с соленоидом, Δx - отклонение зайчика в эксперименте.

4 Экспериментальная установка

4.1 Схемы

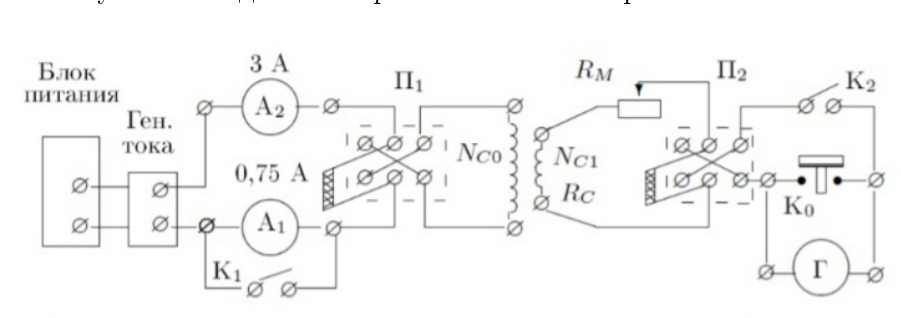
Детальная схема измерений петли гистерезиса представлена на рисунке ниже:



К блоку питания подключен специальный генератор, позволяющий скачками менять токи в намагничивающей обмотке.

Ток в намагничивающей обмотке измеряется амперметром. Переключатель П1 позволяет менять направление тока в первичной обмотке. Чувствительность гальванометра Γ во вторичной цепи можно менять с помощью магазина сопротивлений R_m . Ключ К2 предохраняет гальванометр от перегрузок и замыкается *только на время измерения отклонений зайчика*. Ключ К0 служит для мгновенной остановки зайчика. Переключатель П1 позволяет менять направление тока в первичной обмотке. Переключателем П2 можно изменять направление тока через гальванометр. Ток в намагничивающей обмотке измеряется амперметрами А1 и А2 с разными пределами измерения.

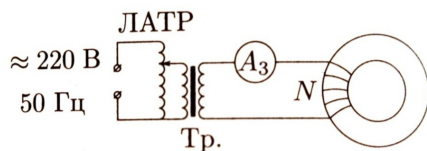
Схема установки для калибровки гальванометра:



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

4.2 Размагничивание образца

Чтобы снять начальную кривую намагничивания, нужно предварительно размагнитить образец. Для этого тороид подключается к цепи переменного тока:



При уменьшении амплитуды тока через намагничивающую обмотку от тока насыщения до нуля характеристики сердечника В и Н «пробегают» за секунду 50 петель всё меньшей площади и в итоге приходят в нулевую точку.

4.3 Исследование петли

Измерения начинаются с максимального тока. Переключая тумблер генератора, следует фиксировать ток, соответствующий каждому положению тумблера, и отклонение зайчика Δx , соответствующее какому щелчку тумблера.

5 Ход работы

1) Занесём все параметры установки в таблицу:

N_{T0}	N'	$N_{\alpha 0}$	N_{c1}	D	d_T	d_c	l_c
1750 витков	300 витков	825 витков	435 витков	0,1 м	0,01 м	0,07 м	0,8 м

2) Подготовив к работе экспериментальную установку, снимем зависимость величины скачка Δx от величины силы тока в цепи I . Пройдём по всей петле гистерезиса, результаты занесём в таблицу. Максимальное значение тока $I_{max} = 1,467$ А, $\sigma_{I_{max}} = 0,001$ А. Тумблер генератора состоит из 13 делений, соответственно, поделив максимальное значение тока на 13, можем найти величину тока для каждой из позиций тумблера.

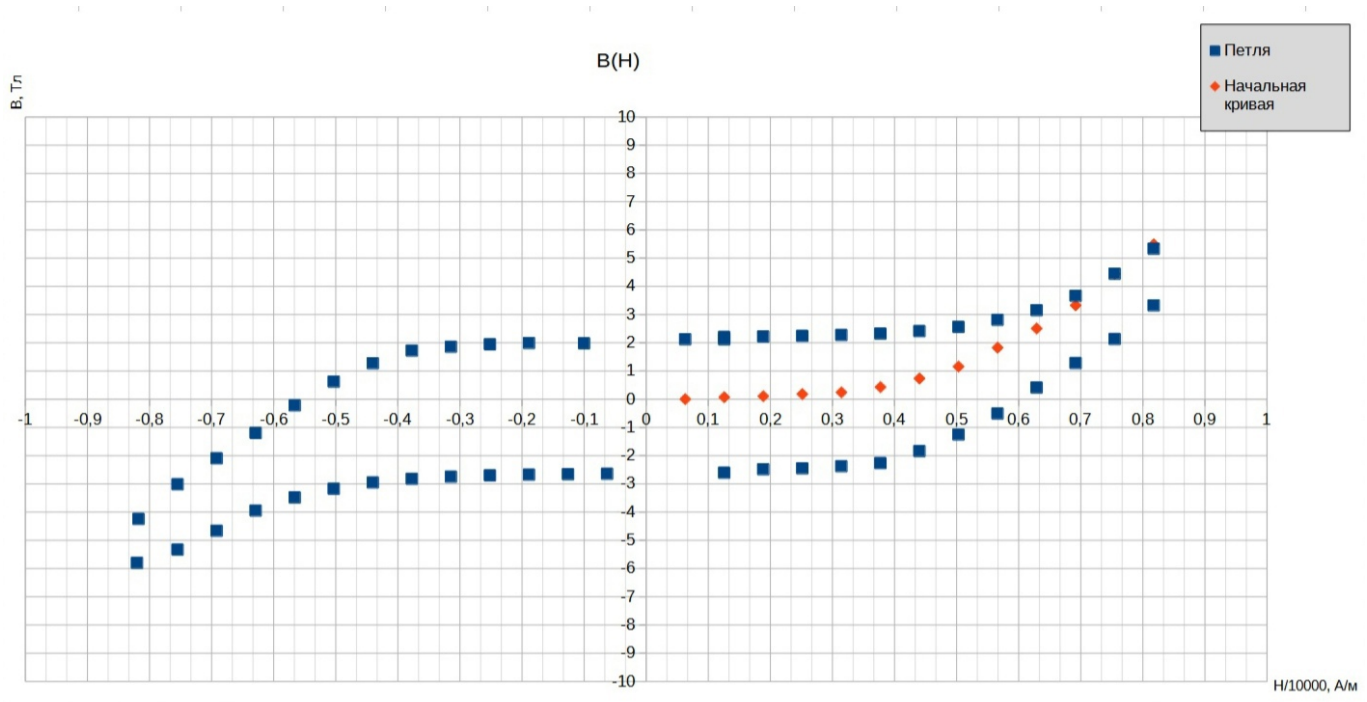
Снимем данные для начальной кривой намагничивания:

I, дел	Δx , см	I, А	H	ΔB , Тл	B, Тл	H/10000
1	0,5	0,112846154	628,9196472	0,0031	0,0031	0,062891965
2	5,5	0,225692308	1257,839294	0,0682	0,0713	0,125783929
3	2	0,338538462	1886,758942	0,0372	0,1085	0,188675894
4	3	0,451384615	2515,678589	0,0744	0,1829	0,251567859
5	2	0,564230769	3144,598236	0,062	0,2449	0,314459824
6	5	0,677076923	3773,517883	0,186	0,4309	0,377351788
7	7	0,789923077	4402,437531	0,3038	0,7347	0,440243753
8	8,5	0,902769231	5031,357178	0,4216	1,1563	0,503135718
9	12	1,015615385	5660,276825	0,6696	1,8259	0,566027683
10	11	1,128461538	6289,196472	0,682	2,5079	0,628919647
11	12	1,241307692	6918,11612	0,8184	3,3263	0,691811612
12	15	1,354153846	7547,035767	1,116	4,4423	0,754703577
13	13	1,467	8175,955414	1,0478	5,4901	0,817595541

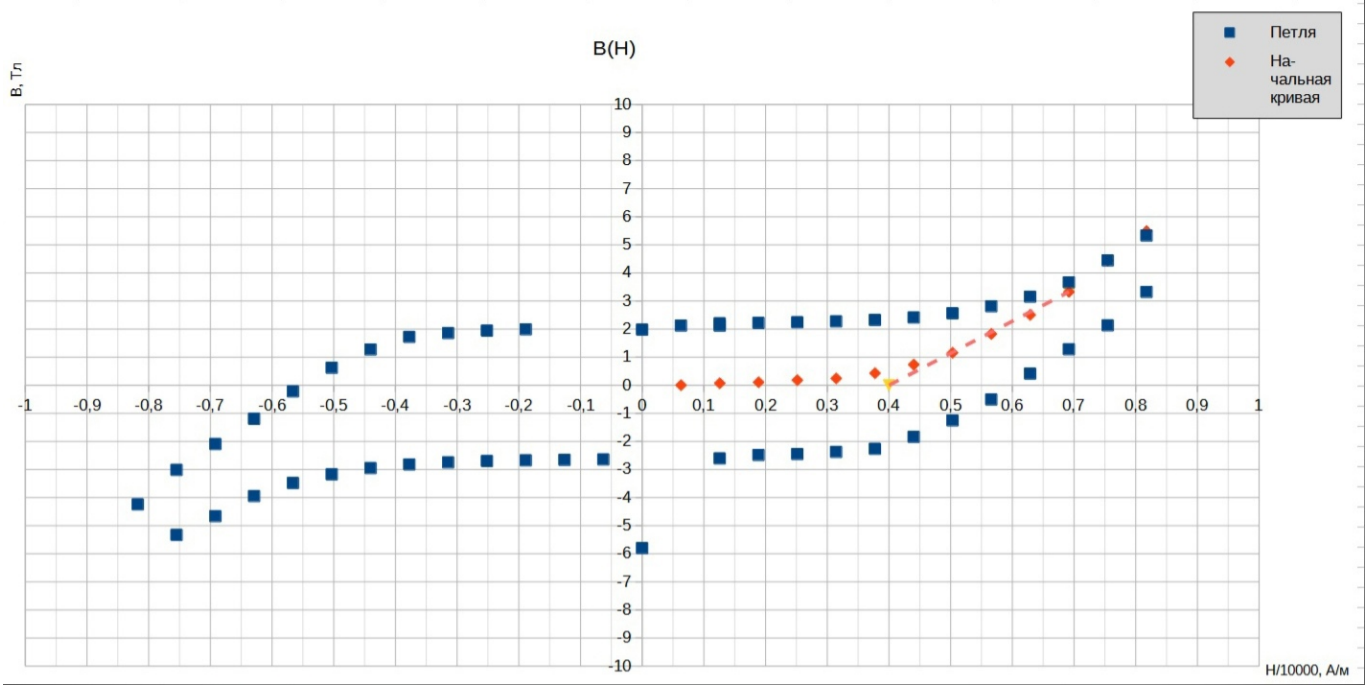
Данные для петли гистерезиса:

l, дел	dx, см	I, А	H	dВ Тл	B, Тл	H/10000	h
13	11	1,467	8175,955414	0,8866	5,332	0,817595541	
12	10,5	1,354153846	7547,035767	0,7812	4,4454	0,754703577	
11	7,5	1,241307692	6918,11612	0,5115	3,6642	0,691811612	
10	5,5	1,128461538	6289,196472	0,341	3,1527	0,628919647	
9	4,5	1,015615385	5660,276825	0,2511	2,8117	0,566027683	
8	3	0,902769231	5031,357178	0,1488	2,5606	0,503135718	
7	2	0,789923077	4402,437531	0,0868	2,4118	0,440243753	
6	1,4	0,677076923	3773,517883	0,05208	2,325	0,377351788	
5	1	0,564230769	3144,598236	0,031	2,27292	0,314459824	
4	0,9	0,451384615	2515,678589	0,02232	2,24192	0,251567859	
3	0,8	0,338538462	1886,758942	0,01488	2,2196	0,188675894	
2	6,5	0,225692308	1257,839294	0,0806	2,20472	0,125783929	
1	0,6	0,112846154	628,9196472	0,00372	2,12412	0,062891965	
2	10,5	0,225692308	1257,839294	0,1302	2,1204	0,125783929	
3	2,5	0,338538462	-1886,75894	0,0465	1,9902	-0,18867589	
4	3,5	0,451384615	-2515,67859	0,0868	1,9437	-0,25156786	
5	4,4	0,564230769	-3144,59824	0,1364	1,8569	-0,31445982	
6	12	0,677076923	-3773,51788	0,4464	1,7205	-0,37735179	
7	15	0,789923077	-4402,43753	0,651	1,2741	-0,44024375	
8	17	0,902769231	-5031,35718	0,8432	0,6231	-0,50313572	
9	17,5	1,015615385	-5660,27683	0,9765	-0,2201	-0,56602768	
10	14,5	1,128461538	-6289,19647	0,899	-1,1966	-0,62891965	
11	13,5	1,241307692	-6918,11612	0,9207	-2,0956	-0,69181161	
12	16,5	1,354153846	-7547,03577	1,2276	-3,0163	-0,75470358	
13	13,5	1,467	-8175,95541	1,0881	-4,2439	-0,81759554	
12	9	1,354153846	-7547,03577	0,6696	-5,332	-0,75470358	
11	10,5	1,241307692	-6918,11612	0,7161	-4,6624	-0,69181161	
10	7,5	1,128461538	-6289,19647	0,465	-3,9463	-0,62891965	
9	5,5	1,015615385	-5660,27683	0,3069	-3,4813	-0,56602768	
8	4,5	0,902769231	-5031,35718	0,2232	-3,1744	-0,50313572	
7	3	0,789923077	-4402,43753	0,1302	-2,9512	-0,44024375	
6	2	0,677076923	-3773,51788	0,0744	-2,821	-0,37735179	
5	1,5	0,564230769	-3144,59824	0,0465	-2,7466	-0,31445982	
4	1	0,451384615	-2515,67859	0,0248	-2,7001	-0,25156786	
3	0,9	0,338538462	-1886,75894	0,01674	-2,6753	-0,18867589	
2	1,2	0,225692308	-1257,83929	0,01488	-2,65856	-0,12578393	
1	6	0,112846154	-628,919647	0,0372	-2,64368	-0,06289196	
2	10	0,225692308	1257,839294	0,124	-2,60648	0,125783929	
3	1,8	0,338538462	1886,758942	0,03348	-2,48248	0,188675894	
4	3	0,451384615	2515,678589	0,0744	-2,449	0,251567859	
5	3,5	0,564230769	3144,598236	0,1085	-2,3746	0,314459824	
6	11,5	0,677076923	3773,517883	0,4278	-2,2661	0,377351788	
7	13,5	0,789923077	4402,437531	0,5859	-1,8383	0,440243753	
8	15	0,902769231	5031,357178	0,744	-1,2524	0,503135718	
9	16,5	1,015615385	5660,276825	0,9207	-0,5084	0,566027683	
10	14	1,128461538	6289,196472	0,868	0,4123	0,628919647	
11	12,5	1,241307692	6918,11612	0,8525	1,2803	0,691811612	
12	16	1,354153846	7547,035767	1,1904	2,1328	0,754703577	
13	12,3	1,467	8175,955414	0,99138	3,3232	0,817595541	

По полученным данным найдем экспериментальную зависимость $B(H)$ и построим график:



По наклону начальной кривой намагничивания определим максимальное значение дифференциальной магнитной проницаемости μ_{diff} . А также некоторые другие величины:



остаточная индукция B_r	коэрцитивное поле H_c	индукция насыщения B_s	дифф. магн. проницаемость μ_{diff}
$2,0 \pm 0,2 \text{ Тл}$	$0,53 \cdot 10000 = 5300 \pm 500 \text{ А/м}$	$5,3 \pm 0,5 \text{ Тл}$	$\frac{1}{\mu_0} \frac{dB}{dH} \approx 881 \pm 22$

6 Вывод

В ходе данной лабораторной работы мы исследовали кривую намагничивания стали с помощью баллистического гальванометра. Построенный график представляет собой симметричную петлю гистерезиса, что соответствует теории ферромагнетизма.

1. Вычислили коэрцитивную силу $H_c = 5300 \pm 500$ А/м;
2. Определили остаточную индукцию: $B_r = 2,0 \pm 0,2$ Тл и индукцию насыщения $B_s = 5,3 \pm 0,5$ Тл;
3. Определили индукцию насыщения: $B_s = 5,3 \pm 0,5$ Тл;
4. Рассчитали максимальную дифференциальную магнитную проницаемость для начальной кривой намагничивания: $\mu = 881 \pm 22$;

Из-за того, что материал ферромагнетика неизвестен, сравнить полученные результаты с табличными не получится. Можно лишь прикинуть, что коэрцитивная сила по порядку совпадает с показаниями магнито жестких ферромагнетиков, а индукция насыщения оказалась завышенной в два раза. Можно предположить, что такие погрешности связаны с неточным определением отклонения зайчика - на глаз, даже в замедленной съемке, определить отклонение было сложно.