

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 动态磁滞回线测量实验

指导教师: 厉位阳

专业: 竺可桢学院混合班

班级: 混合 1903 班

姓名: 徐圣泽

学号: 3190102721

实验日期: 6 月 3 日 星期 三 下午

一、实验目的

- 1、了解铁磁材料的磁滞性质；
- 2、掌握示波器测量磁滞回线的原理；
- 3、测量磁化曲线的相关量和标定的方法；
- 4、探究实验数据处理过程中绘制的相关曲线。

二、实验内容

- 1、测饱和磁滞回线
- 2、测量基本磁化曲线相关物理量；
- 3、标定磁场强度和磁感应强度；
- 4、计算磁化曲线相关物理量，绘制磁化曲线和 $\mu_\alpha - H_m$ 曲线。

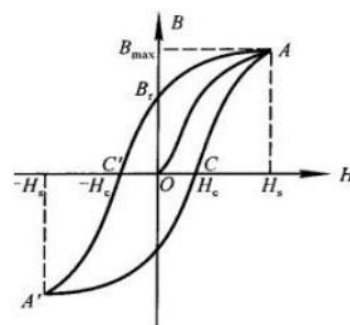
三、实验原理

（一）铁磁材料的磁滞性质

铁磁材料有一个重要的特点——磁滞。当材料磁化时，磁感应强度 B 不仅与当时的磁场强度 H 有关，而且决定于磁化的历史情况。

曲线 OA 表示铁磁材料从没有磁化开始磁化， B 随 H 的增加而增加，称为磁化曲线。当 H 增加到某一值 H_s 时，磁化达到饱和， B 也几乎不再增加，此时 B_m 称为饱和磁感应强度。

材料磁化后，若使 H 减小， B 将不沿原路返回，而是沿曲线 $A'CA$ 下降，当 H 从 $-H_s$ 开始增加时， B 又将沿着另一个曲线 $A'C'A$ 上升。这样形成的一个闭合曲线称之为“磁滞回线”，如右上图所示。

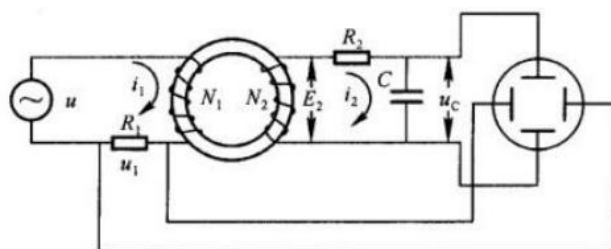


在如图所示的曲线中， B_r 是在 $H = 0$ 时的磁感应强度，称之为剩余磁感应强度； H_c 是在 $B = 0$ 时的磁场强度，称之为矫顽力。

由于铁磁材料的磁滞特性，为了使样品的磁特性反复出现，需要在每次测量前进行退磁，消除样品中的剩余磁性，使每次测得的基本磁化曲线由 $H = 0, B = 0$ 的原始状态开始。

（二）示波器测量磁滞回线原理图

如图是示波器测动态磁滞回线的原理电路。样品制成闭合环形后均匀绕以磁化线圈 N_1 和副线圈 N_2 ，即所谓的罗兰环。取样电阻两端的电压 u_1 加到示波器 x 轴输入端，电容 C 两端的电压 u_2 加到 y 输入端上。



(三) 电压与磁场强度、磁感应强度的关系

① u_1 (x 轴输入) 与磁场强度 H 成正比

设样品的平均周长为 l ，磁化线圈匝数为 N_1 ，磁化电流瞬时值为 i_1 ，根据安培环路定理，有公式

$H \cdot l = N_1 \cdot i_1$ 成立，因此有：

$$u_1 = R_1 i_1 = \frac{R_1 \cdot l}{N_1} H$$

从上式中可以发现，除 u_1 和 H 外，其余物理量均为已知常量，且二者满足正比关系，因此电子束水平偏转大小 u_1 与磁场强度 H 成正比。

② u_c (y 轴输入) 与磁感应强度 B 成正比

设样品截面积为 S ，则根据电磁感应定律，副线圈匝数为 N_2 时，感应电动势为： $E_2 = -N_2 S \frac{dB}{dt}$ 。

当回路电流为 i_2 并且电容 C 上的电量为 q 时，有关系式 $E_2 = R_2 i_2 + \frac{q}{C}$ 。

忽略自感应电动势的影响（因为 N_2 很小），并且当 R_2 、 C 足够大时可以使得 $\frac{q}{C}$ 相较于 $R_2 \cdot i_2$ 可以忽略，故将上式改写为 $E_2 = R_2 i_2$ ，又因为 $i_2 = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$ ，故 $E_2 = R_2 C \frac{du_c}{dt}$ 。

因此 $N_2 S \frac{dB}{dt} = R_2 C \frac{du_c}{dt}$ （忽略正负号），将两边同时积分，得到了此式：

$$u_c = \frac{N_2 S}{R_2 C} B$$

因此可以发现，示波器的荧光屏上竖直方向的偏转大小 u_c 与磁感应强度 B 成正比。

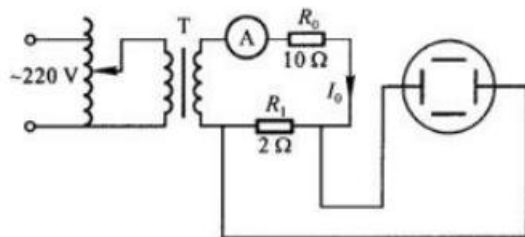
(四) 测量标定

① x 轴标定

对 x 轴进行标定的目的是为了确定示波器荧光屏 x 轴的每一格实际代表多少磁场强度。

调节 I_0 使荧光屏水平线长度为 M_x 格，对应 u_1 且为峰值，即 $2\sqrt{2}R_1 I_0$ ，因此每一小格代表的电压值为 $2\sqrt{2}R_1 I_0 / M_x$ ，因此每一小格代表的磁场强度为

$$H_0 = \frac{2\sqrt{2}N_1 I_0}{M_x l}。$$



②y 轴标定

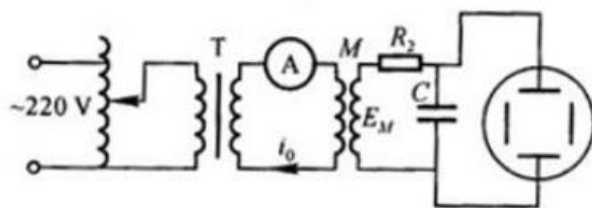
对 y 轴进行标定的目的是确定 y 轴的每一小格实际代表多少磁感应强度。

M 为一个标准互感器，流经其原边的瞬时电流为

i_0 ，副边的感应电动势 $E_0 = -M \frac{di_0}{dt}$ 。

因此与之前式子联立，得到 $M \frac{di_0}{dt} = R_2 C \frac{du_c}{dt}$ ，

对两边积分，得到 $u_c = \frac{Mi_0}{R_2 C}$ 。



A 测得的为 i_0 的有效值 I_0 ，因此 u_c 也是有效值，相应的峰值为 $\frac{2\sqrt{2}MI_0}{R_2 C}$ ，若此时对应的垂直线长度

为 M_y ，故 y 轴每一小格代表的磁感应强度为 $B_0 = \frac{2\sqrt{2}MI_0}{N_2 SM_y}$ 。

四、 实验仪器

GY-4 可调隔离变压器、示波器、螺线环、交流电流表、电阻 R_1 、 R_2 ，电容 C 、标定电阻 R_0 、BH-2 标准互感器

五、 实验原始数据记录

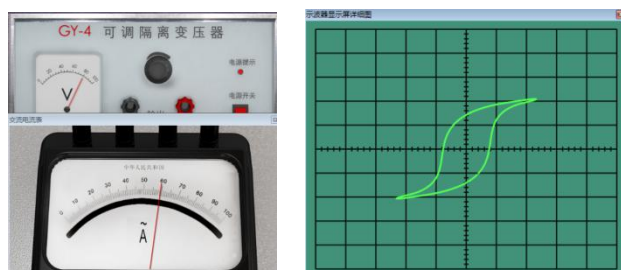
（一）测饱和磁滞回线

80V 时的电流 (A) = 0.59

测量量	Hm	Bm	Hc	Br	-Hc	-Br	-Hm	-Bm
示波器对应格数	11.9	10.5	3.9	7.1	3.9	7.1	11.8	10.5

表 1 各测量量与示波器对应格数

实验截图：



（二）测量基本磁化曲线

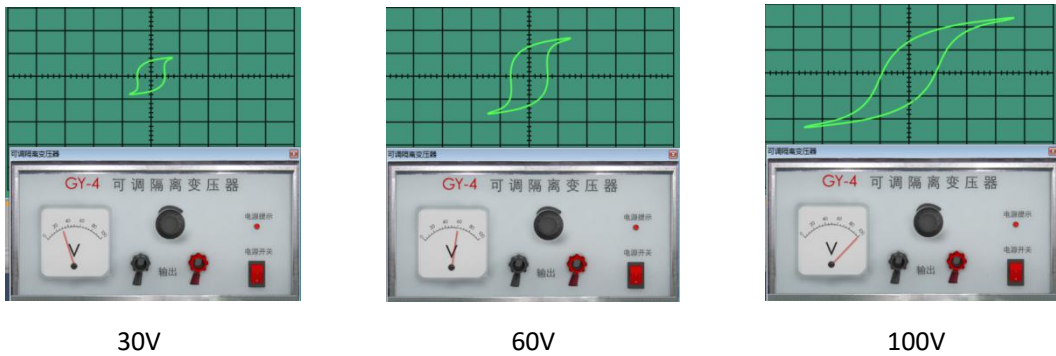
保持示波器增益不变，依次调节电压为 10V、20V、30V、40V、50V、60V、70V、80V、90V、100V，记录各个磁滞回线波形顶点坐标：

电压	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ux (格)	2.7	3.4	3.9	4.5	5.6	7.2	9.1	11.6	14.0	18.0

U_y (格)	1.1	2.7	4.0	5.4	7.0	8.0	9.5	10.5	11.2	12.0
-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

表 2 各电压下的波形顶点坐标

实验截图：



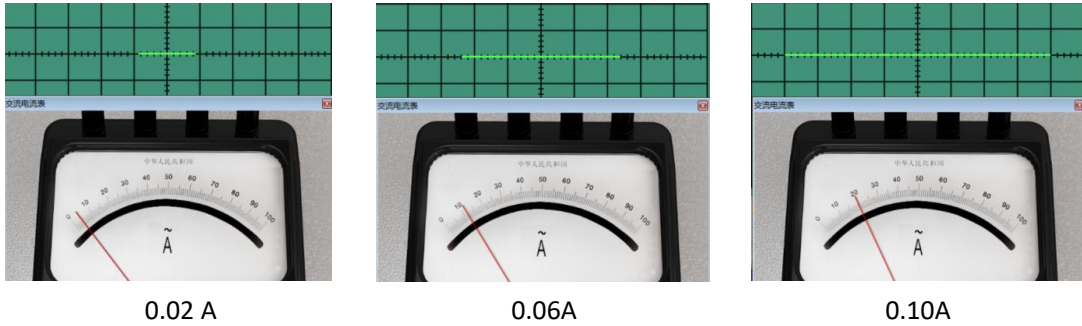
(三) 标定磁场强度 H

调节电源电压调节电流值为相应值，记录示波器上显示的波形总长度：

电流值(A)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
M_x (小格)	8.2	15.8	24.0	32.4	40.0	48.0

表 3 不同电流下 x 轴波形长度所占格数

实验截图：



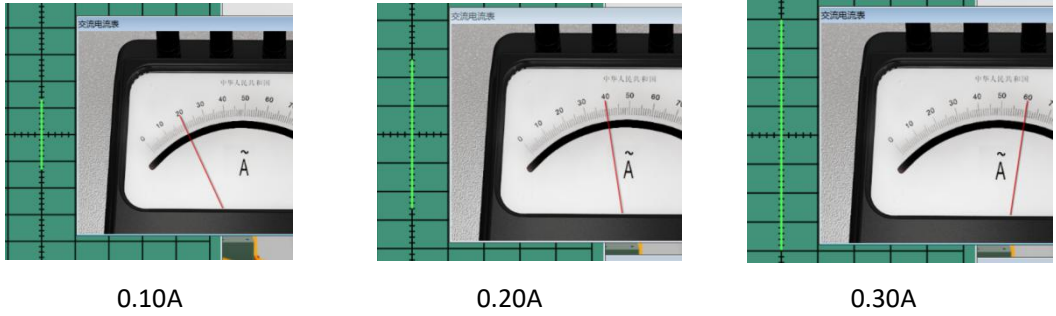
(四) 标定磁感应强度 B

调节电源电压调节电流值为相应值，记录示波器上显示的波形总长度：

电流值(A)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
M_y (小格)	7.0	13.6	20.0	26.4	32.4	40.0

表 4 不同电流下 y 轴波形长度所占格数

实验截图：



六、 实验数据处理和结果分析

(一) H 标定数据处理

利用公式 $H_0 = \frac{2\sqrt{2}N_1I_0}{M_xl}$ ，计算得到各电流下 H_0 的值为（其中 $N_1 = 600$ ， $l = 47.123cm$ ）：

电流值(A)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
Mx(小格)	8.2	15.8	24.0	32.4	40.0	48.0
示波器单位电压值表示的磁场强度 $H_0(A/m)$	8.78	9.12	9.00	8.89	9.00	9.00

表 5 各电流下 H_0 的值

求得 H_0 的平均值为 $8.97A/m$ 。

(二) B 标定数据处理

利用公式 $B_0 = \frac{2\sqrt{2}MI_0}{N_2SM_y}$ ，计算得到各电流下 B_0 的值为（其中 $N_2 = 75$ ， $S = 1.3273cm^2$ ， $M = 0.01H$ ）：

电流值(A)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
My(小格)	7.0	13.6	20.0	26.4	32.4	40.0
示波器单位电压值表示的磁感应强度 $B_0(T)$	0.0203	0.0209	0.0213	0.0215	0.0219	0.0213

表 6 各电流下 B_0 的值

求得 B_0 的平均值为 $0.0212T$

(三) 基本磁化曲线数据

①由实验原理值， $H_m = u_x \cdot H_0$ ， $B_m = u_y \cdot B_0$ ，代入数据得到相应值，记录于下表；

②真空磁导率为 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} H/m$ ，绝对磁导率为 $\mu = \frac{B}{H}$ ，相对磁导率为 $\mu_\alpha = \frac{\mu}{\mu_0}$ ，代入数据计算得

到相对磁导率记录于下表中：

电压	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Ux（格）	2.7	3.4	3.9	4.5	5.6	7.2	9.1	11.6	14.0	18.0
Uy（格）	1.1	2.7	4.0	5.4	7.0	8.0	9.5	10.5	11.2	12.0
Hm(A/m)	24.2	30.5	35.0	40.4	50.2	64.6	81.6	104.1	125.6	161.5
Bm(T)	0.023	0.057	0.085	0.114	0.148	0.170	0.201	0.223	0.237	0.254
相对磁导率 μ_α	766	1494	1929	2257	2351	2090	1963	1702	1505	1254

表 7 基本磁化曲线相关数据

为了方便地处理数据，我写了以下代码，算出 Hm、Bm，以及相对磁导率 μ_α ：

```
1. #include <stdio.h>
2.
```

```

3.  int main(){
4.      double ux[10],uy[10];
5.      double hm[10],bm[10];
6.      double ua[10];
7.      double h0=8.97,b0=0.0212,u0;
8.      u0=4*3.14159*0.0000001;
9.      for(int i=0;i<10;i++){
10.         scanf("%lf",&ux[i]);
11.         hm[i]=h0*ux[i];
12.     }
13.     for(int i=0;i<10;i++){
14.         scanf("%lf",&uy[i]);
15.         bm[i]=b0*uy[i];
16.     }
17.     for(int i=0;i<10;i++){
18.         ua[i]=bm[i]/(hm[i]*u0);
19.     }
20.     for(int i=0;i<10;i++){
21.         printf("Hm[%2d] = %5.11f, Bm[%2d] = %4.3lf, ua[%2d] = %5.0lf\n",i+1,hm[i],i+1,bm[i],i+1,ua[i]);
22.     }
23.     return 0;

```

程序运行的结果如下：

```

C:\Users\DELL\Desktop\未命名1.exe
2.7 3.4 3.9 4.5 5.6 7.2 9.1 11.6 14.0 18.0
1.1 2.7 4.0 5.4 7.0 8.0 9.5 10.5 11.2 12.0
Hm[ 1] = 24.2, Bm[ 1] = 0.023, ua[ 1] = 766
Hm[ 2] = 30.5, Bm[ 2] = 0.057, ua[ 2] = 1494
Hm[ 3] = 35.0, Bm[ 3] = 0.085, ua[ 3] = 1929
Hm[ 4] = 40.4, Bm[ 4] = 0.114, ua[ 4] = 2257
Hm[ 5] = 50.2, Bm[ 5] = 0.148, ua[ 5] = 2351
Hm[ 6] = 64.6, Bm[ 6] = 0.170, ua[ 6] = 2090
Hm[ 7] = 81.6, Bm[ 7] = 0.201, ua[ 7] = 1963
Hm[ 8] = 104.1, Bm[ 8] = 0.223, ua[ 8] = 1702
Hm[ 9] = 125.6, Bm[ 9] = 0.237, ua[ 9] = 1505
Hm[10] = 161.5, Bm[10] = 0.254, ua[10] = 1254

-----
Process exited after 29.54 seconds with return value 0
请按任意键继续. . .

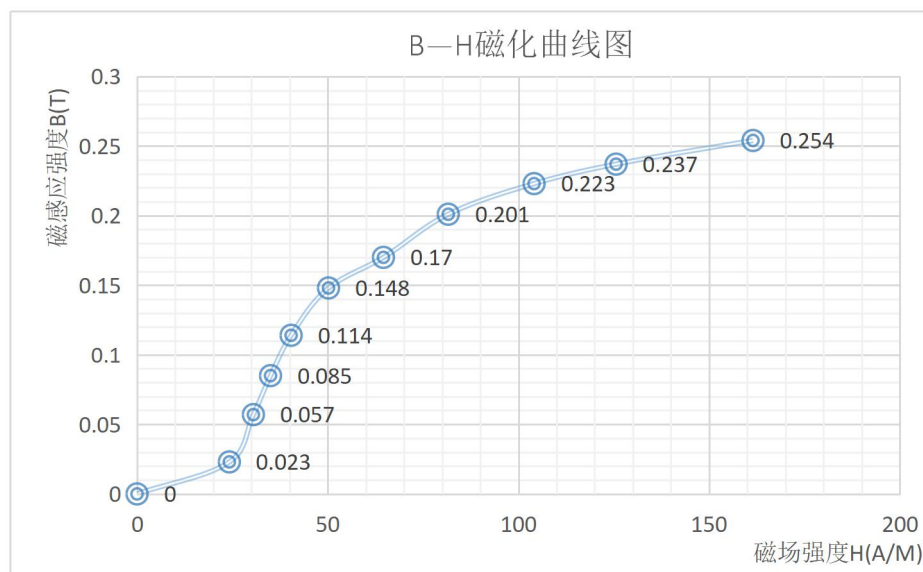
```

将程序运行的结果填入表中，得到了各电压下的磁场强度、磁感应强度和相对磁导率。

（四）曲线拟合部分

①磁化曲线

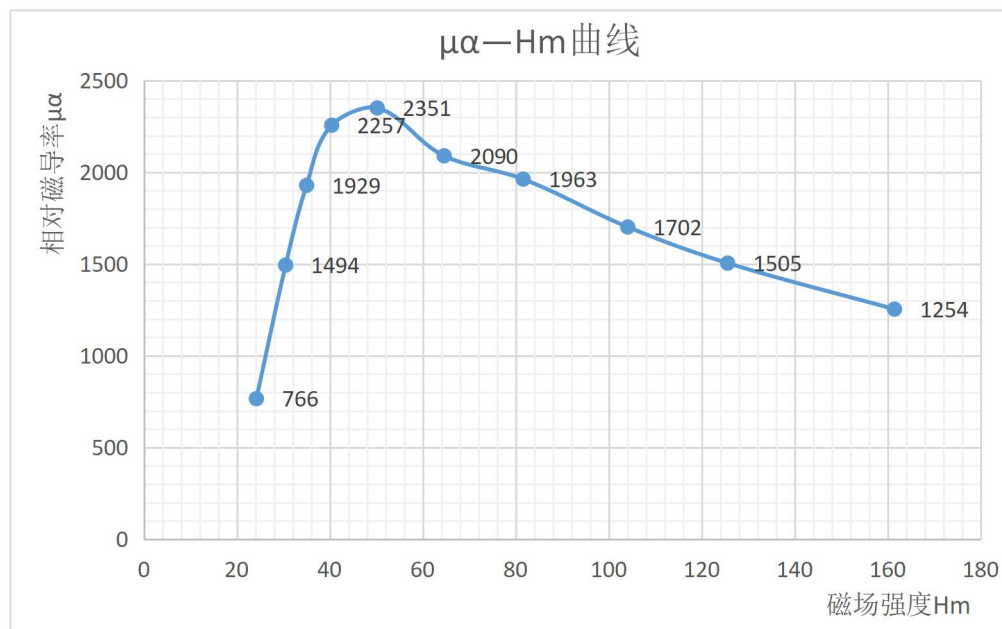
依次在图中作出表格中的磁滞回线的顶点，连接得到如下曲线图：



拟合得到的磁化曲线较为符合实验原理中的磁化曲线图，斜率先增大后减小。

② $\mu_r - H_m$ 曲线

H_m (A/m)	24.2	30.5	35.0	40.4	50.2	64.6	81.6	104.1	125.6	161.5
相对磁导率 μ_r	766	1494	1929	2257	2351	2090	1963	1702	1505	1254



经作图发现， μ_r 和 H_m 符合原理中的描述，相对磁导率随着磁场强度的增大先增大到峰值，再减小。

从图中可以发现，初始磁导率 $\mu_{r_0} = 766$ ，最大磁导率 $\mu_{r_m} = 2351$ 。

七、 实验心得

思考题

1、 R_1 的值为什么不能大？

R_1 如果过大，对应信号较弱，不利于测量。

2、 U_c 对应的是 H 还是 B ？请说明理由？

对应的是 B ，因为感应电动势是由 B 引起的。

3、测量回线要使材料达到磁饱和，退磁也应从磁饱和开始，意义何在？

为了使之形成一条闭合的曲线。

心得体会

在本次实验中，我大致完成了实验内容，达到了实验目的。

本次动态磁滞回线的测量实验是本学期第三个电磁学实验。在我看来，本次实验的重点在于理解实验原理，只要理清了原理，并细致地记录各组数据，便能较好地完成此次实验。本次实验的数据处理部分相对比较常规，并且在多次尝试利用代码后，我发现利用程序处理数据的方法能够带来极大的便利。

在连续三周的电磁学实验后，我已经对电和磁的关系有了进一步的认识，两者总是“相伴而行”，关系密不可分。虚拟实验简化了电磁学实验的复杂程度，也减小了实验的危险程度，但仍然能学到很多，即使中规中矩地按照实验指导书完成实验内容，也能获得很大的收获。