

# 天津大学物理实验报告

机械学院 2016 年级 工科学 专业 一班 姓名 解怡康 成绩 92

实验日期: 2018.5.31 学号 301620008 同组实验者

## 实验题目: 铁磁材料的磁滞回线

### 一. 实验目的

1. 通过本实验认识什么是铁磁回线, 了解铁磁材料具有哪些磁特性。

### 二. 实验仪器

磁滞回线实验组合仪、双踪示波器

### 三. 实验原理

#### 1. 铁磁材料的磁化及磁导率

铁磁物质的磁化过程很复杂, 这主要是由于它具有磁滞的特性, 一般都是通过测量磁化场的磁场强度  $H$  和磁感应强度  $B$  之间的关系来研究其磁性规律的。

当铁磁物质中不存在磁化场时,  $H$  和  $B$  均为 0, 即图中  $B-H$  曲线的坐标原点  $O$ , 随着磁化场  $H$  的增加,  $B$  也随之增加, 但两者之间不是线性关系, 当  $H$  增加到一定值时,  $B$  不再增加, 这说明该物质的磁化已达到饱和状态,  $H_m$  和  $B_m$  分别为饱和时的磁场强度和磁感应强度, 如果再使  $H$  逐渐降为 0, 则与此同时  $B$  也逐渐减少, 然而  $H$  和  $B$  对应的曲线轨迹并不沿原曲线轨迹  $OA$  返回, 而是另一曲线  $ab$  下降到  $B_r$ , 这说明当  $H$  下降为 0 时, 铁磁物质中仍保留一定的磁性, 这种现象称之为磁滞,  $B_r$  称为剩磁, 将磁化反向, 再逐渐增强其强度, 直到  $H = -H_c$ , 磁感应强度消失, 这说明要消除剩磁, 必须施加反向磁场  $H_c$ 。  $H_c$  称为矫顽力, 它的大小反映磁材料保持剩磁状态

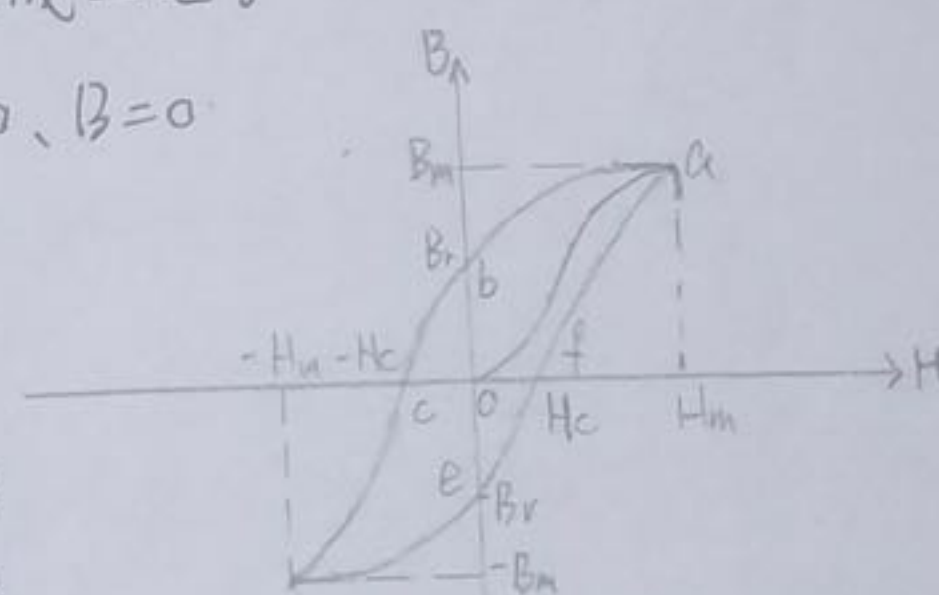
# 天津大学物理实验报告

附页

的能力, 由图表明, 当磁化按  $H_m \rightarrow 0 \rightarrow H_c \rightarrow -H_m \rightarrow 0 \rightarrow H_c \rightarrow H_m$  次序变化时,  $B$  所经历的相应变化为,  $B_m \rightarrow B_r \rightarrow 0 \rightarrow -B_m \rightarrow -B_r \rightarrow 0 \rightarrow B_m$ , 于是得到一条闭合的  $B-H$  曲线, 称为磁滞回线, 所以, 当铁磁材料处于交变磁场中时, 它将沿磁滞回线反复“磁化  $\rightarrow$  去磁化  $\rightarrow$  磁化  $\rightarrow$  反向去磁化”的过程, 在此过程中要消耗额外的能量, 并以热的形式从铁磁材料中释放, 这种损耗称为磁滞损耗, 可以证明, 磁滞损耗与磁滞回线所围面积成正比。

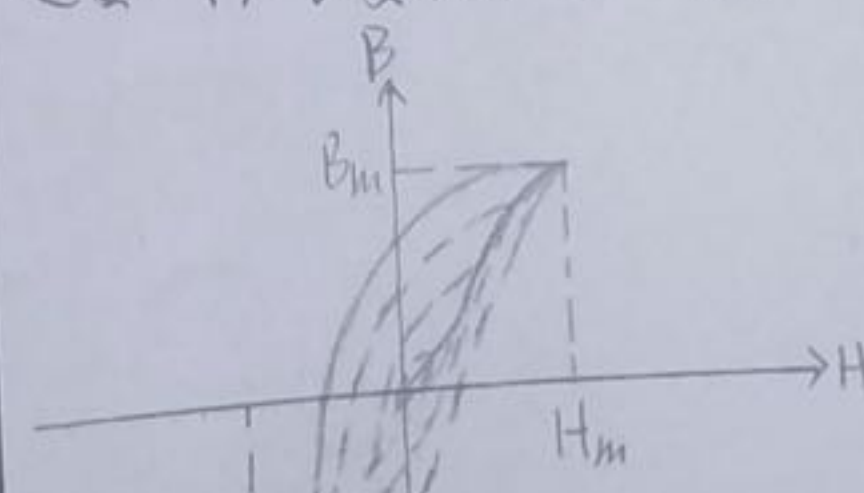
应该说明, 对于初始态为  $H=0, B=0$

的铁磁材料, 在交变磁场强度由弱变强依次进行磁化的过程中, 可以得到面积由小到大的向外扩张的一系列磁滞回线, 如图所示, 这些磁滞

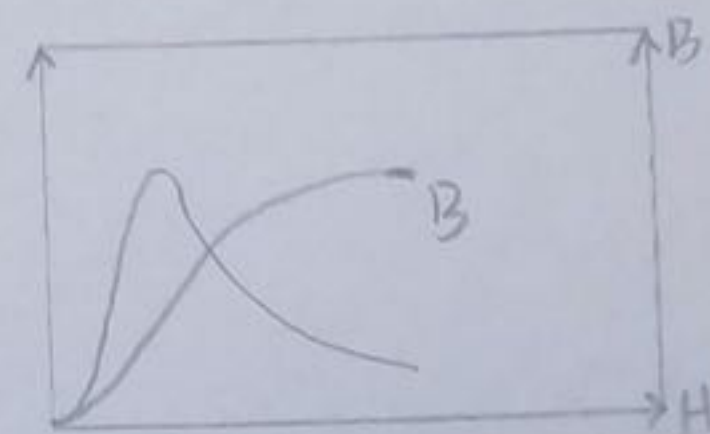


磁滞回线

回线顶点的连线称为铁磁材料的基本磁化曲线, 由此可近似确定其磁导率  $\mu = \frac{B}{H}$ , 因  $B$  与  $H$  非线性, 故铁磁材料的  $\mu$  不是常量, 而是随  $H$  而变化, 如图, 在实际应用中, 常使用相对磁导率,  $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$ ,  $\mu_0$  为真空中的磁导率, 铁磁材料的相对磁导率可高达数千甚至数万, 这一特点是它用途广泛的主要原因之一。



基本磁化曲线



铁磁材料  $\mu$  与  $H$  关系曲线



天津大学物理实验报告

学院\_\_\_\_\_ 年级\_\_\_\_\_ 专业\_\_\_\_\_ 班 姓名\_\_\_\_\_ 成绩\_\_\_\_\_

实验题目:

### 又. B-H 曲线的测量方法

实验线路如图,待测样品为Z1型硅刚片,励磁线圈匝数 $N_1=50$ ;用于测量磁感应强度 $B$ 而设置的探测线圈匝数 $N_2=150$ ;  $R_1$ 为励磁电流取样电阻,为 $0.5 \sim 5.0 \Omega$ ,设通过励磁线圈的交流励磁电流为 $I_1$ ,根据安培环路电流定理,样品的磁化场强为

$$H = \frac{N_1 L_1}{L}$$

式中,  $L$  为样品的平均磁路, 本实验中  $L = 60.0 \text{ mm}$ , 设  $R_1$  的端电压为  $U_1$ , 则可得:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

因此

$$H = \frac{N_1 U_1}{L R_1}$$

式中的  $N, L, R$ , 均为已知常量, 所以由  $U_i$  可确定  $H$

## 天津大学物理实验报告

附 页

样品的磁感应强度 $B$ 的测量是通过探测线圈和 $R_2$ 、 $C_2$ 组成的电路来实现的,根据法拉第电磁感应定律,在交变磁场下由于样品中磁通量 $\Phi$ 的变化,在探测线圈中产生的感应电动势 $E$ 的大小为

$$\mathcal{E} = N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

由式可推导出

$$\phi = \frac{1}{N_2} \int \epsilon dt$$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1}{N_2 S} \int E dt$$

$S$ 为样品的截面积

如果忽略自感电动势和电路损耗, 则回路方程为

$$\mathcal{E} = I_2 R_2 + U_2$$

式中,  $I_s$  为感生电流,  $U_s$  为  $C_1$  的两端电压, 设在  $\Delta t$  时间内,  $I_s$  向电容  $C_1$  的充电电荷量  $Q$ , 则

$$U_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$\mathcal{E} = I_2 R_2 + \frac{Q}{C}$$

因此

如果选取足够大的  $R_2$  和  $C_2$ , 使  $I_{B2} R_2 \gg \frac{Q}{C_2}$ , 则  $E = I_{B2} R_2$ , 所以

$$I_2 = \frac{dQ}{dt} = C_2 \frac{dV_2}{dt}$$

$$E = C_2 R_2 \frac{dU_2}{dt}$$

$$B = \frac{C_r R_2}{N_2 S} U_2$$

式中,  $C, R, N$  和  $S$  均为已知常量, 所以测量  $U_2$  可确定  $B$ 。



# 天津大学物理实验报告

学院 \_\_\_\_\_ 年级 \_\_\_\_\_ 专业 \_\_\_\_\_ 班 姓名 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

实验日期: \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 同组实验者 \_\_\_\_\_

实验题目:

## 四. 实验步骤

1. 用示波器观察铁磁材料的磁滞回线

(1) 电路连接: 选样品1, 按实验仪上所给的电路图连接线路, 并令  $R_i = 2.5 \Omega$ ; "U选择" 置于零位,  $U_H$  和  $U_B$  分别接示波器的 "X输入" 和 "Y输入", 插孔 "1" 为公共端。

(2) 观察磁滞回线: 开启示波器电源, 令光点位于坐标网格中心, 从  $U=0$  开始, 逐步提高励磁电压至  $3.0V$ , 将在显示屏上得到面积由小到大的一个个闭合线圈即为磁滞回线, 这些磁滞回线的最大值点 ( $H_m, B_m$ ) 的连线便是基本磁化曲线, 如图所示。

## 2. 测 $\mu-H$ 曲线

(1) 样品退磁: 逆时针方向转动旋钮使  $U$  从最大值降为  $0V$ , 其目的是消除剩磁, 即退磁过程, 确保样品处于磁中性状态, 即  $H=B=0$ 。

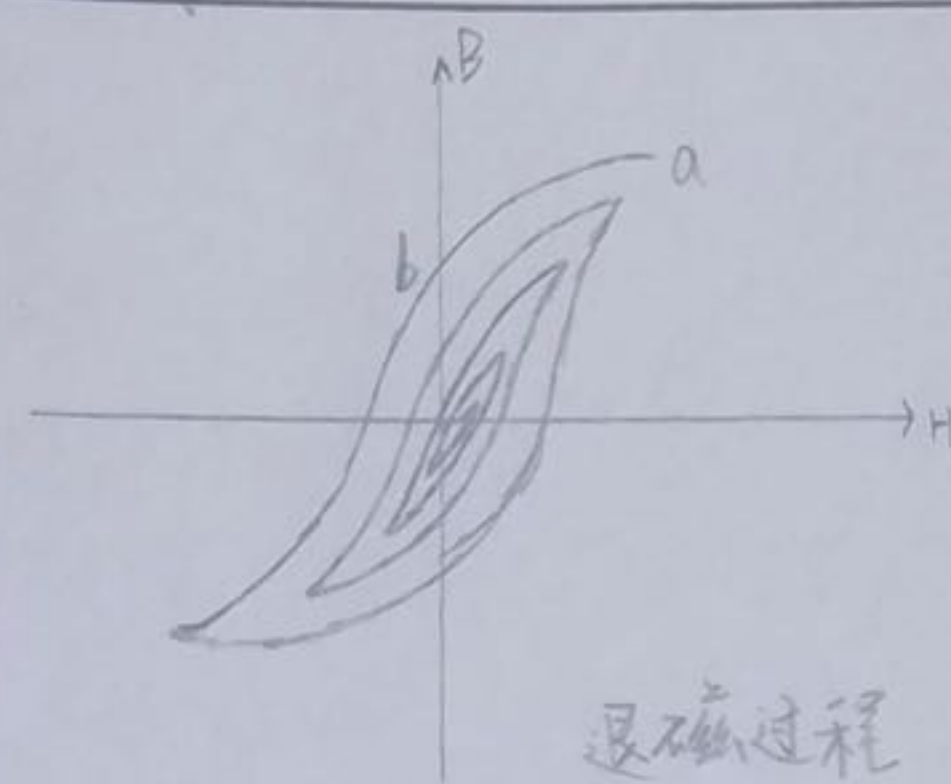
(2) 对样品进行退磁后, 依次测定  $U=0.5, 1.0, \dots, 3.0V$  时的10组  $H_m$  和  $B_m$  值, 根据  $\mu = \frac{B}{H}$  计算  $\mu$  值, 并作  $\mu-H$  曲线。

## 3. 测绘磁滞曲线

保持电压  $U=3.0V$  不变, 测试  $H, B$  数值, 要求每条线测出10点, 描绘样品的磁滞回线。

# 天津大学物理实验报告

附 页

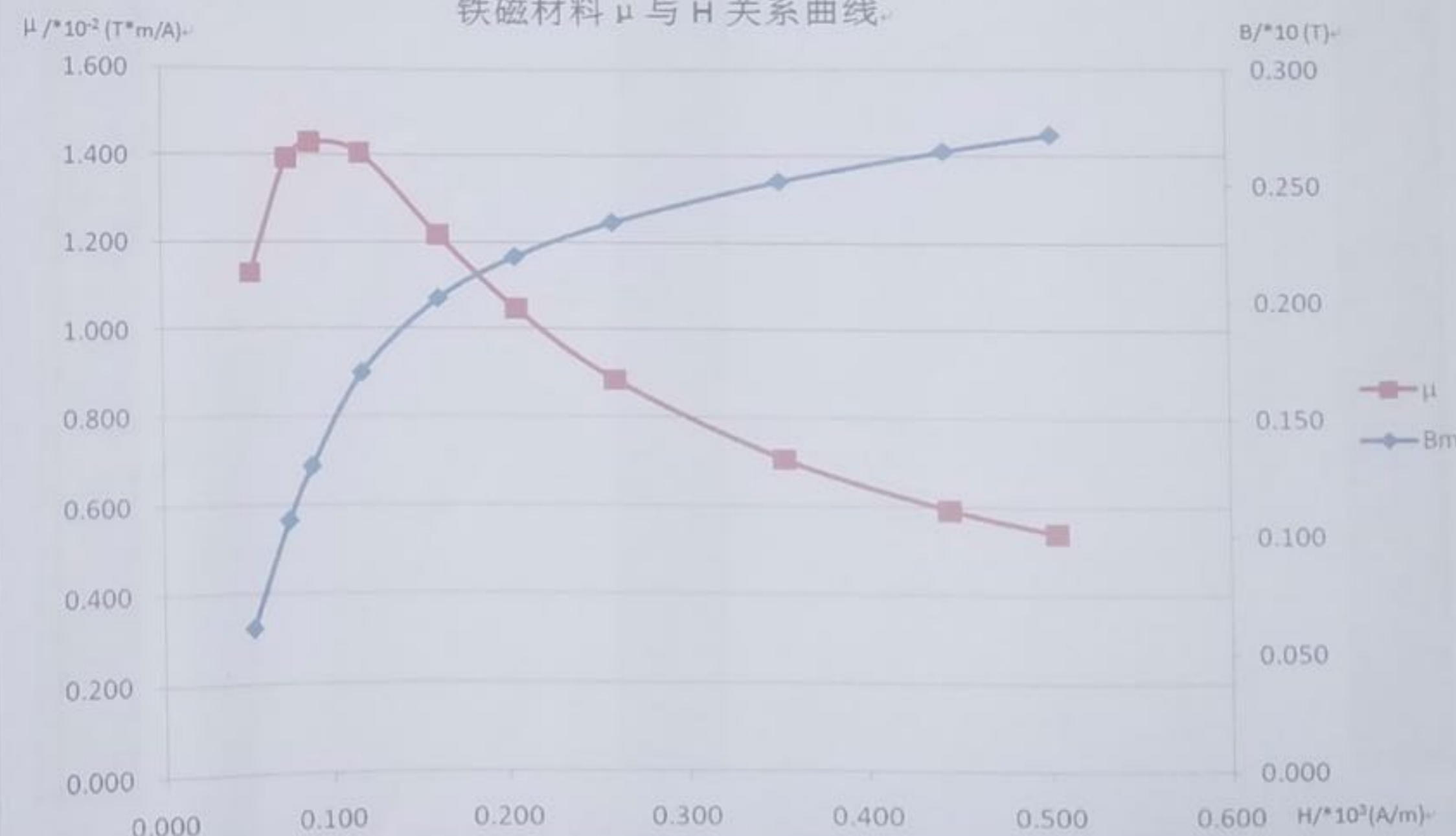


## 五. 实验数据及数据处理

基本磁化曲线数据记录

| 电压 (V) | 0.5   | 1.0   | 1.2   | 1.5   | 1.8   | 2.0   | 2.2   | 2.5   | 2.8   | 3.0   |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $H_m$  | 0.054 | 0.076 | 0.090 | 0.120 | 0.165 | 0.209 | 0.264 | 0.357 | 0.446 | 0.504 |
| $B_m$  | 0.061 | 0.106 | 0.129 | 0.169 | 0.201 | 0.219 | 0.234 | 0.252 | 0.265 | 0.272 |
| $\mu$  | 1.130 | 1.395 | 1.433 | 1.408 | 1.218 | 1.048 | 0.886 | 0.706 | 0.594 | 0.540 |

铁磁材料  $\mu$  与  $H$  关系曲线





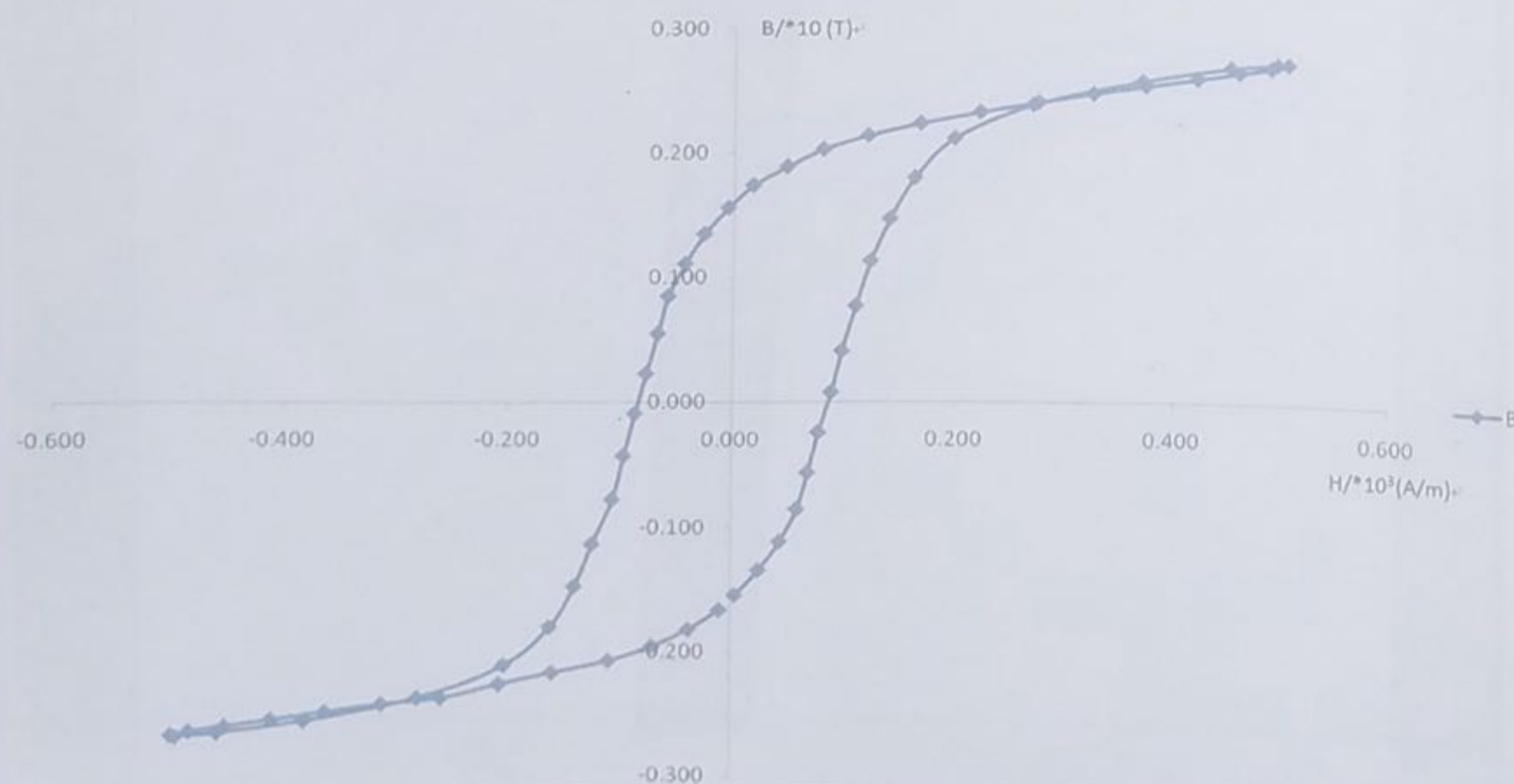
# 天津大学物理实验报告

学院 \_\_\_\_\_ 年级 \_\_\_\_\_ 专业 \_\_\_\_\_ 班 姓名 \_\_\_\_\_ 成绩 \_\_\_\_\_

实验日期: \_\_\_\_\_ 学号 \_\_\_\_\_ 同组实验者 \_\_\_\_\_

| 3V电压下磁滞回线数据记录 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 序号            | 1      | 6      | 11     | 16     | 21     | 26     | 31     | 36     | 41     |
| H             | 0.004  | 0.025  | 0.044  | 0.059  | 0.068  | 0.077  | 0.088  | 0.097  | 0.109  |
| B             | -0.154 | -0.134 | -0.111 | -0.085 | -0.056 | -0.024 | 0.008  | 0.041  | 0.077  |
| 序号            | 46     | 51     | 56     | 61     | 66     | 71     | 76     | 81     | 86     |
| H             | 0.122  | 0.139  | 0.161  | 0.197  | 0.268  | 0.368  | 0.450  | 0.494  | 0.504  |
| B             | 0.113  | 0.147  | 0.180  | 0.212  | 0.239  | 0.258  | 0.269  | 0.272  | 0.272  |
| 序号            | 91     | 96     | 101    | 106    | 111    | 116    | 121    | 126    | 131    |
| H             | 0.488  | 0.458  | 0.419  | 0.371  | 0.323  | 0.273  | 0.220  | 0.166  | 0.119  |
| B             | 0.269  | 0.265  | 0.260  | 0.254  | 0.248  | 0.241  | 0.233  | 0.224  | 0.214  |
| 序号            | 136    | 141    | 146    | 151    | 156    | 161    | 166    | 171    | 176    |
| H             | 0.079  | 0.047  | 0.017  | -0.005 | -0.026 | -0.043 | -0.058 | -0.067 | -0.077 |
| B             | 0.203  | 0.189  | 0.174  | 0.156  | 0.135  | 0.111  | 0.085  | 0.055  | 0.023  |
| 序号            | 181    | 186    | 191    | 196    | 201    | 206    | 211    | 216    | 221    |
| H             | -0.087 | -0.097 | -0.107 | -0.125 | -0.141 | -0.163 | -0.204 | -0.281 | -0.382 |
| B             | -0.009 | -0.043 | -0.078 | -0.114 | -0.148 | -0.181 | -0.212 | -0.238 | -0.256 |
| 序号            | 226    | 231    | 236    | 241    | 246    | 251    | 256    | 261    | 266    |
| H             | -0.459 | -0.496 | -0.500 | -0.484 | -0.452 | -0.411 | -0.363 | -0.313 | -0.260 |
| B             | -0.265 | -0.268 | -0.267 | -0.264 | -0.260 | -0.255 | -0.249 | -0.243 | -0.238 |
| 序号            | 271    | 276    | 281    | 286    | 291    | 296    |        |        |        |
| H             | -0.208 | -0.161 | -0.110 | -0.071 | -0.038 | -0.010 |        |        |        |
| B             | -0.227 | -0.218 | -0.208 | -0.196 | -0.182 | -0.166 |        |        |        |

基本磁化曲线



# 天津大学物理实验报告

附 页

## 六. 讨论与分析

### 1. 误差分析

- (1) 仪器老化会使原有精度降低。
- (2) 实际电压与所标注电压不符
- (3) 仪器长时间使用, 内阻变化, 影响实验。

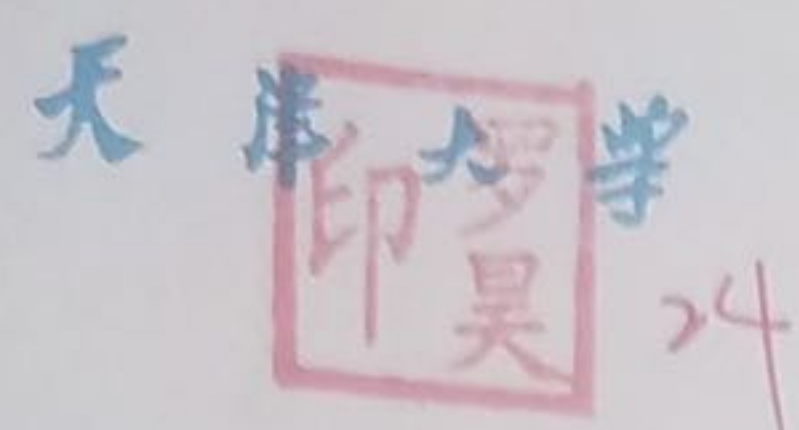
2. 如果不退磁, 实验会有什么影响?

如果实验中不退磁, 将无法消除磁滞现象, 无法得到精确的曲线。

3. 铁磁材料的磁化过程是可逆过程还是不可逆过程?

铁磁材料的磁化过程是不可逆过程。由铁磁材料的起始磁化曲线和磁滞回线可以看到, 外加磁场强度  $H$  从  $H_m$  减小到 0 时的退磁曲线与磁场  $H$  从 0 开始增加到  $H_m$  时的起始磁化曲线不重合, 说明退磁过程不能重复起始状态的每一刻, 所以铁磁材料的磁化过程是不可逆过程。





TianJin University

中国 天津 300072

TianJin 300072, China

### 1. 基本磁化曲线数据记录

| 电压(V) | 0.5   | 1.0   | 1.2   | 1.5   | 1.8   | 2.0   | 2.2   | 2.5   | 2.8   | 3.0   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $H_m$ | 0.054 | 0.076 | 0.090 | 0.120 | 0.165 | 0.209 | 0.264 | 0.357 | 0.446 | 0.504 |
| $B_m$ | 0.061 | 0.106 | 0.129 | 0.169 | 0.201 | 0.219 | 0.234 | 0.252 | 0.265 | 0.272 |
| $\mu$ | 1.130 | 1.395 | 1.433 | 1.408 | 1.218 | 1.048 | 0.886 | 0.706 | 0.594 | 0.540 |

### 2. 3V电压下磁滞回线数据记录

| 序号 | 1      | 6      | 11     | 16     | 21     | 26     | 31     | 36     | 41     | 46     | 51     | 56     | 61     | 66     | 71     | 76     | 81     | 86     | 91     | 96     |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| H  | 0.004  | 0.025  | 0.044  | 0.059  | 0.068  | 0.077  | 0.088  | 0.097  | 0.109  | 0.122  | 0.139  | 0.161  | 0.197  | 0.268  | 0.368  | 0.450  | 0.494  | 0.504  | 0.488  | 0.458  |
| B  | -0.154 | -0.134 | -0.111 | -0.085 | -0.056 | -0.024 | 0.008  | 0.041  | 0.077  | 0.113  | 0.147  | 0.181  | 0.212  | 0.239  | 0.258  | 0.269  | 0.272  | 0.272  | 0.269  | 0.265  |
| 序号 | 101    | 106    | 111    | 116    | 121    | 126    | 131    | 136    | 141    | 146    | 151    | 156    | 161    | 166    | 171    | 176    | 181    | 186    | 191    | 196    |
| H  | 0.419  | 0.371  | 0.323  | 0.273  | 0.220  | 0.166  | 0.119  | 0.079  | 0.047  | 0.017  | -0.005 | -0.026 | -0.049 | -0.058 | -0.067 | -0.077 | -0.087 | -0.097 | -0.107 | -0.125 |
| B  | 0.260  | 0.254  | 0.248  | 0.241  | 0.233  | 0.224  | 0.214  | 0.203  | 0.189  | 0.174  | 0.156  | 0.135  | 0.111  | 0.085  | 0.055  | 0.023  | -0.009 | -0.043 | -0.078 | -0.114 |
| 序号 | 201    | 206    | 211    | 216    | 221    | 226    | 231    | 236    | 241    | 246    | 251    | 256    | 261    | 266    | 271    | 276    | 281    | 286    | 291    | 296    |
| H  | -0.161 | -0.163 | -0.204 | -0.281 | -0.382 | -0.459 | -0.496 | -0.500 | -0.486 | -0.452 | -0.411 | -0.363 | -0.313 | -0.260 | -0.208 | -0.161 | -0.110 | -0.071 | -0.038 | -0.010 |
| B  | -0.148 | -0.181 | -0.212 | -0.238 | -0.256 | -0.265 | -0.268 | -0.267 | -0.264 | -0.260 | -0.255 | -0.249 | -0.243 | -0.238 | -0.237 | -0.238 | -0.208 | -0.196 | -0.182 | -0.166 |
| 序号 | 301    | 306    | 311    |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| H  | 无      | 无      | 无      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| B  | 无      | 无      | 无      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

反向磁场  $H_c$ 。  $H_c$  称为矫顽力，它的大小反映磁材料保持剩磁状态