**實驗名稱：實驗五 磁滯曲線實驗**

實驗日期：2018.04.16 08:10～11:00

實驗施作人員：張宏瑜（學號：E24064151，IRS：1）、

張育維（學號：E24066797，IRS：2）

1. 實驗數據

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 電流I(A) | 偏轉角度θ(∘) | tanθ |
| 0.00 | 0.0 | 0.00 |
| 0.05 | 1.5 | 0.03 |
| 0.10 | 3.1 | 0.05 |
| 0.15 | 5.7 | 0.10 |
| 0.20 | 19.0 | 0.34 |
| 0.25 | 48.2 | 1.12 |
| 0.30 | 62.0 | 1.88 |
| 0.35 | 66.0 | 2.25 |
| 0.40 | 68.0 | 2.48 |
| 0.45 | 69.0 | 2.61 |
| 0.50 | 69.5 | 2.67 |
| 0.56 | 70.4 | 2.81 |
| 0.60 | 71.0 | 2.90 |
| 0.65 | 71.5 | 2.99 |
| 0.70 | 72.0 | 3.08 |
| 0.75 | 72.4 | 3.15 |
| 0.80 | 72.7 | 3.21 |
| 0.85 | 73.0 | 3.27 |
| 0.90 | 73.3 | 3.33 |
| 0.95 | 73.5 | 3.38 |
| 1.00 | 73.7 | 3.42 |
| 1.06 | 74.0 | 3.49 |
| 1.10 | 74.1 | 3.51 |
| 1.15 | 74.1 | 3.51 |
| 1.21 | 74.4 | 3.58 |
| 1.25 | 74.5 | 3.61 |
| 1.30 | 74.5 | 3.61 |
| 1.35 | 74.7 | 3.66 |
| 1.40 | 74.9 | 3.71 |
| 1.46 | 74.9 | 3.71 |
| 1.50 | 75.0 | 3.73 |
| 1.55 | 75.0 | 3.73 |
| 1.60 | 75.1 | 3.76 |
| 1.68 | 75.1 | 3.76 |
| 1.71 | 75.1 | 3.76 |
| 1.75 | 75.3 | 3.81 |
| 1.81 | 75.5 | 3.87 |
| 1.87 | 75.5 | 3.87 |
| 1.90 | 75.5 | 3.87 |
| 1.95 | 75.6 | 3.89 |
| 2.00 | 75.6 | 3.89 |
| 2.05 | 75.7 | 3.92 |
| 2.10 | 75.7 | 3.92 |
| 2.15 | 75.9 | 3.98 |
| 2.20 | 75.9 | 3.98 |
| 2.28 | 76.0 | 4.01 |
| 2.35 | 76.0 | 4.01 |
| 2.40 | 76.1 | 4.04 |
| 2.46 | 76.1 | 4.04 |
| 2.50 | 76.1 | 4.04 |
| 2.55 | 76.3 | 4.10 |
| 2.60 | 76.5 | 4.17 |
| 2.65 | 76.5 | 4.17 |
| 2.70 | 76.7 | 4.23 |
| 2.77 | 76.7 | 4.23 |
| 2.82 | 76.8 | 4.26 |
| 2.85 | 76.8 | 4.26 |
| 2.91 | 76.8 | 4.26 |
| 2.95 | 76.9 | 4.30 |
| 3.00 | 76.9 | 4.30 |
| 2.94 | 76.9 | 4.30 |
| 2.90 | 76.7 | 4.23 |
| 2.85 | 76.7 | 4.23 |
| 2.80 | 76.7 | 4.23 |
| 2.74 | 76.5 | 4.17 |
| 2.70 | 76.5 | 4.17 |
| 2.64 | 76.5 | 4.17 |
| 2.60 | 76.4 | 4.13 |
| 2.55 | 76.4 | 4.13 |
| 2.50 | 76.3 | 4.10 |
| 2.45 | 76.2 | 4.07 |
| 2.36 | 76.2 | 4.07 |
| 2.30 | 76.1 | 4.04 |
| 2.24 | 76.1 | 4.04 |
| 2.20 | 76.0 | 4.01 |
| 2.15 | 76.0 | 4.01 |
| 2.10 | 76.0 | 4.01 |
| 2.07 | 76.0 | 4.01 |
| 2.00 | 75.9 | 3.98 |
| 1.95 | 75.9 | 3.98 |
| 1.90 | 75.8 | 3.95 |
| 1.85 | 75.5 | 3.87 |
| 1.80 | 75.5 | 3.87 |
| 1.72 | 75.4 | 3.84 |
| 1.70 | 75.4 | 3.84 |
| 1.65 | 75.3 | 3.81 |
| 1.60 | 75.3 | 3.81 |
| 1.55 | 75.2 | 3.78 |
| 1.50 | 75.1 | 3.76 |
| 1.45 | 75.0 | 3.73 |
| 1.40 | 75.0 | 3.73 |
| 1.35 | 75.0 | 3.73 |
| 1.30 | 74.9 | 3.71 |
| 1.25 | 74.9 | 3.71 |
| 1.20 | 74.8 | 3.68 |
| 1.15 | 74.7 | 3.66 |
| 1.10 | 74.5 | 3.61 |
| 1.05 | 74.4 | 3.58 |
| 1.00 | 74.4 | 3.58 |
| 0.95 | 74.3 | 3.56 |
| 0.90 | 74.2 | 3.53 |
| 0.85 | 74.0 | 3.49 |
| 0.80 | 74.0 | 3.49 |
| 0.75 | 73.9 | 3.46 |
| 0.69 | 73.7 | 3.42 |
| 0.65 | 73.5 | 3.38 |
| 0.60 | 73.4 | 3.35 |
| 0.55 | 73.4 | 3.35 |
| 0.50 | 73.2 | 3.31 |
| 0.45 | 73.1 | 3.29 |
| 0.40 | 73.0 | 3.27 |
| 0.35 | 72.9 | 3.25 |
| 0.30 | 72.8 | 3.23 |
| 0.25 | 72.4 | 3.15 |
| 0.19 | 72.2 | 3.11 |
| 0.15 | 72.0 | 3.08 |
| 0.10 | 71.7 | 3.02 |
| 0.05 | 71.2 | 2.94 |
| 0.00 | 70.9 | 2.89 |
| -0.05 | 70.0 | 2.75 |
| -0.10 | 68.5 | 2.54 |
| -0.15 | 44.0 | 0.97 |
| -0.20 | 26.0 | 0.49 |
| -0.24 | -8.0 | -0.14 |
| -0.30 | -40.0 | -0.84 |
| -0.35 | -54.0 | -1.38 |
| -0.40 | -62.0 | -1.88 |
| -0.45 | -64.7 | -2.12 |
| -0.50 | -66.0 | -2.25 |
| -0.55 | -68.0 | -2.48 |
| -0.60 | -69.0 | -2.61 |
| -0.66 | -70.0 | -2.75 |
| -0.70 | -70.0 | -2.75 |
| -0.75 | -70.0 | -2.75 |
| -0.80 | -70.0 | -2.75 |
| -0.85 | -70.5 | -2.82 |
| -0.90 | -71.0 | -2.90 |
| -0.95 | -71.0 | -2.90 |
| -1.00 | -71.3 | -2.95 |
| -1.05 | -71.8 | -3.04 |
| -1.10 | -71.8 | -3.04 |
| -1.15 | -71.8 | -3.04 |
| -1.20 | -71.8 | -3.04 |
| -1.25 | -71.8 | -3.04 |
| -1.30 | -71.8 | -3.04 |
| -1.35 | -72.0 | -3.08 |
| -1.40 | -72.0 | -3.08 |
| -1.45 | -72.0 | -3.08 |
| -1.49 | -72.0 | -3.08 |
| -1.55 | -72.0 | -3.08 |
| -1.60 | -72.0 | -3.08 |
| -1.65 | -72.0 | -3.08 |
| -1.70 | -72.1 | -3.10 |
| -1.76 | -72.1 | -3.10 |
| -1.80 | -72.1 | -3.10 |
| -1.85 | -72.1 | -3.10 |
| -1.92 | -72.2 | -3.11 |
| -1.97 | -72.5 | -3.17 |
| -2.00 | -72.5 | -3.17 |
| -2.05 | -72.6 | -3.19 |
| -2.11 | -72.6 | -3.19 |
| -2.16 | -72.7 | -3.21 |
| -2.21 | -72.7 | -3.21 |
| -2.25 | -72.8 | -3.23 |
| -2.32 | -72.9 | -3.25 |
| -2.37 | -73.0 | -3.27 |
| -2.40 | -73.0 | -3.27 |
| -2.45 | -73.0 | -3.27 |
| -2.50 | -73.0 | -3.27 |
| -2.55 | -73.0 | -3.27 |
| -2.60 | -73.0 | -3.27 |
| -2.65 | -73.0 | -3.27 |
| -2.70 | -73.0 | -3.27 |
| -2.75 | -73.0 | -3.27 |
| -2.80 | -73.0 | -3.27 |
| -2.85 | -73.0 | -3.27 |
| -2.90 | -73.0 | -3.27 |
| -2.95 | -73.0 | -3.27 |
| -3.00 | -73.0 | -3.27 |
| -2.95 | -73.0 | -3.27 |
| -2.90 | -73.0 | -3.27 |
| -2.85 | -73.0 | -3.27 |
| -2.80 | -73.0 | -3.27 |
| -2.75 | -73.0 | -3.27 |
| -2.70 | -73.0 | -3.27 |
| -2.65 | -73.0 | -3.27 |
| -2.60 | -73.0 | -3.27 |
| -2.55 | -73.0 | -3.27 |
| -2.50 | -73.0 | -3.27 |
| -2.45 | -73.0 | -3.27 |
| -2.40 | -73.0 | -3.27 |
| -2.35 | -73.0 | -3.27 |
| -2.30 | -73.0 | -3.27 |
| -2.25 | -73.0 | -3.27 |
| -2.20 | -72.9 | -3.25 |
| -2.15 | -72.9 | -3.25 |
| -2.10 | -72.8 | -3.23 |
| -2.05 | -72.8 | -3.23 |
| -2.00 | -72.8 | -3.23 |
| -1.95 | -72.8 | -3.23 |
| -1.90 | -72.8 | -3.23 |
| -1.85 | -72.8 | -3.23 |
| -1.80 | -72.5 | -3.17 |
| -1.75 | -72.5 | -3.17 |
| -1.70 | -72.5 | -3.17 |
| -1.65 | -72.5 | -3.17 |
| -1.60 | -72.5 | -3.17 |
| -1.55 | -72.5 | -3.17 |
| -1.50 | -72.5 | -3.17 |
| -1.45 | -72.4 | -3.15 |
| -1.40 | -72.4 | -3.15 |
| -1.35 | -72.4 | -3.15 |
| -1.30 | -72.4 | -3.15 |
| -1.25 | -72.4 | -3.15 |
| -1.20 | -72.4 | -3.15 |
| -1.15 | -72.3 | -3.13 |
| -1.10 | -72.3 | -3.13 |
| -1.05 | -72.3 | -3.13 |
| -1.00 | -72.3 | -3.13 |
| -0.95 | -72.3 | -3.13 |
| -0.90 | -72.2 | -3.11 |
| -0.85 | -72.0 | -3.08 |
| -0.80 | -72.0 | -3.08 |
| -0.75 | -72.0 | -3.08 |
| -0.70 | -72.0 | -3.08 |
| -0.65 | -72.0 | -3.08 |
| -0.60 | -72.0 | -3.08 |
| -0.55 | -72.0 | -3.08 |
| -0.50 | -71.9 | -3.06 |
| -0.45 | -71.9 | -3.06 |
| -0.40 | -71.9 | -3.06 |
| -0.35 | -71.5 | -2.99 |
| -0.30 | -71.5 | -2.99 |
| -0.25 | -71.3 | -2.95 |
| -0.20 | -71.0 | -2.90 |
| -0.15 | -71.0 | -2.90 |
| -0.10 | -70.5 | -2.82 |
| -0.05 | -70.0 | -2.75 |
| 0.00 | -69.8 | -2.72 |
| 0.05 | -68.0 | -2.48 |
| 0.10 | -64.0 | -2.05 |
| 0.15 | -12.0 | -0.21 |
| 0.20 | -10.5 | -0.19 |
| 0.25 | 21.0 | 0.38 |
| 0.30 | 46.5 | 1.05 |
| 0.35 | 59.0 | 1.66 |
| 0.40 | 65.5 | 2.19 |
| 0.45 | 68.5 | 2.54 |
| 0.50 | 70.0 | 2.75 |
| 0.55 | 70.5 | 2.82 |
| 0.60 | 71.5 | 2.99 |
| 0.65 | 72.0 | 3.08 |
| 0.70 | 73.0 | 3.27 |
| 0.75 | 73.0 | 3.27 |
| 0.80 | 73.0 | 3.27 |
| 0.85 | 73.0 | 3.27 |
| 0.90 | 73.5 | 3.38 |
| 0.95 | 74.0 | 3.49 |
| 1.00 | 74.0 | 3.49 |
| 1.05 | 74.5 | 3.61 |
| 1.10 | 74.5 | 3.61 |
| 1.15 | 74.5 | 3.61 |
| 1.20 | 75.0 | 3.73 |
| 1.25 | 75.0 | 3.73 |
| 1.30 | 75.0 | 3.73 |
| 1.35 | 75.0 | 3.73 |
| 1.40 | 75.1 | 3.76 |
| 1.45 | 75.3 | 3.81 |
| 1.50 | 75.5 | 3.87 |
| 1.55 | 75.5 | 3.87 |
| 1.60 | 75.5 | 3.87 |
| 1.65 | 76.0 | 4.01 |
| 1.70 | 76.0 | 4.01 |
| 1.75 | 76.0 | 4.01 |
| 1.80 | 76.0 | 4.01 |
| 1.85 | 76.0 | 4.01 |
| 1.90 | 76.0 | 4.01 |
| 1.95 | 76.0 | 4.01 |
| 2.00 | 76.0 | 4.01 |
| 2.05 | 76.0 | 4.01 |
| 2.10 | 76.2 | 4.07 |
| 2.15 | 76.2 | 4.07 |
| 2.20 | 76.2 | 4.07 |
| 2.25 | 76.5 | 4.17 |
| 2.30 | 76.5 | 4.17 |
| 2.35 | 76.5 | 4.17 |
| 2.40 | 77.0 | 4.33 |
| 2.45 | 77.0 | 4.33 |
| 2.50 | 77.0 | 4.33 |
| 2.55 | 77.0 | 4.33 |
| 2.60 | 77.0 | 4.33 |
| 2.65 | 77.0 | 4.33 |
| 2.70 | 77.0 | 4.33 |
| 2.75 | 77.0 | 4.33 |
| 2.80 | 77.0 | 4.33 |
| 2.85 | 77.0 | 4.33 |
| 2.90 | 77.0 | 4.33 |
| 2.95 | 77.0 | 4.33 |
| 3.00 | 77.0 | 4.33 |

▲圖一 tanθ對電流關係圖

1. 數據分析

以磁化線圈上方為正z軸方向，底座導桿朝輔助線圈方向為正x軸方向，羅盤指針位於x軸上P點，則磁化強度為M的金屬棒在P點造成的磁場x分量為

其中μ0為真空磁導率，A為金屬棒之截面積，為金屬棒至P點的距離，L為金屬棒之長度。

尚未放置金屬棒時，磁針與x軸垂直，放入磁化的金屬棒後，磁針之偏轉角度為

其中BE為地磁的水平分量。

由以上兩式可得金屬棒的磁化強度

其中 為一常數。

當電流I通過長度為L、匝數為N的磁化線圈時，其內部所產生的磁場為

其中H。

若將金屬棒放入磁化線圈中，金屬棒所感應的磁化強度為

其中χm為磁化率。

故金屬棒的感應磁場為

因此由磁化線圈所產生的磁場B0與金屬棒的感應磁場BM所合成的總磁場B為

其中μ=μ0(1+χm)為物質中的磁導率。

實驗中設計了輔助線圈，利用其所產生的磁場抵銷磁化線圈的磁場，因此以電流為橫軸、偏轉角度之正切值為縱軸作圖，其圖形如圖一，即可呈現出金屬棒隨外加H場改變，其感應磁場相應的變化情形，即與磁滯曲線相似之圖形。

在此圖形中，tanθ = 0時I約為0.22及-0.23，取平均值後可得抗磁力HC之量值約為0.23；I = 0時tanθ為2.89及-2.72，取平均值後可得殘磁量Br之量值約為2.81μ0α。

1. 結果與討論

本實驗的誤差來源中，環境因素佔了一定的比例，由於環境中的物質只要是鐵磁性材料便會有磁滯現象，因此實驗結果不可避免的一定會受此影響，我們只能盡量遠離這些物質以將影響降至最低。當然人為的操作亦相當重要，例如實驗前金屬棒之消磁便須確實執行，以免前一組進行實驗所殘留的磁性造成誤差，而金屬棒最下緣亦需切齊磁針的水平面，以避免額外的分力，此外金屬棒趨近磁化飽和時磁場較強，此時須時時注意磁針是否因垂直方向的偏轉而卡住，導致誤判與誤差。在調整電流的過程中，只能緩慢增加，不可中途減少電流，以免產生磁場突然遽增後又維持一段時間不變的情形發生。

透過這次的實驗，我們學習到磁滯現象的理論以及磁滯曲線的特性，由於此現象廣泛發生於生活中之鐵磁性材料，而電腦硬碟的運作原理亦是其應用，因此對於磁滯現象的探討有其必要性。本實驗也讓我們體會到電磁學中電磁感應實驗的設計精神，上一次的實驗是以高斯計量測磁場，然而當我們沒有此等貴重儀器可供量測時，便需透過磁針之偏轉角度間接得知磁場強度，此外，當我們欲觀測的物理量因其他較大物理量的影響，難以觀測其變化情形，此時可設法抵銷較大物理量的效應，如此既方便觀測亦能減小誤差，如本實驗中的輔助線圈便是很好的範例。