

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(一)科

032804

原來如「磁」-自製高斯計及磁力應用之研究

學校名稱：彰化縣私立文興高級中學(附設國中)

作者：  國三 鄧承珈  國三 陳昫聖  國三 林怡婷	指導老師：  鄭諭徽  胡綺芳
---	-----------------------------

關鍵詞：ARDUINO 霍爾元件、電磁吸附、  
馬達功率磁強

## 摘要

高斯計是一種磁場檢測計，用於檢測磁場強度，像電動機及發電機的磁場強度，影響著功率大小及效率的問題，磁場強度的檢測有助於生產品質精良的馬達。然而一支專業的磁場檢測計的價格相當昂貴，我們希望能探索科學知識並自製高斯計，進而運用在更多的方面。

從改善第一代的擺盪式矽鋼片開始，針對第二代的霍爾元件式的檢測實驗，最後第三代的控制 ARDUINO 結合 LCD 顯示介面，成功檢測出磁鐵的極性與強度數值，達成快速與穩定的效果。

在生活應用方面，以線徑 0.4mm 的漆包線自製電磁閥，實驗測得近 600 公克的磁吸附力，發現磁場強度與磁吸附力的關係，以及磁場強度與馬達功率的關係，成功實現了高斯計的多元應用價值。

A Gauss meter is a magnetic field detector that detects the strength of a magnetic field. Magnetic field strengths like motors and generators affect power size and efficiency. The detection of magnetic field strength helps to produce a good quality motor. However, the price of a professional magnetic field tester is quite expensive. We hope to explore scientific knowledge and make a Gauss meter, and then use it in more aspects.

Starting from the improvement of the first generation of swinging silicon steel sheet, the second generation of Hall element type detection experiment, the third generation of control ARDUINO combined with the LCD display interface, successfully detected the polarity and intensity values of the magnet, achieving a rapid Stable effect.

In terms of life application, the electromagnetic valve was made by an enameled wire with a wire diameter of 0.4 mm, and the magnetic adsorption force of nearly 600 g was experimentally measured. The relationship between the magnetic field strength and the magnetic adsorption force, and the relationship between the magnetic field strength and the motor power were found, and the multi-application value of the Gauss meter was successfully realized.

## 壹、研究動機

延續研究[8] 107 年獨立研究，自然與生活科技「磁」來的消息-靜磁場檢測的研究，我們覺得建立的磁場實驗平台相當簡陋且誤差性極高，於是我們著手研究霍爾元件，希望能以 ARDUINO 微處理器結合 LCD，自製出一台準確度高又穩定的磁場強度監測儀，磁場檢測計又稱為高斯計，其價格相當昂貴且不普及，我們也希望研究出替代方案，不僅造福眾人也能增進砥礪我們的研究精神與能力，締造研究的教學示範教材。圖 1 的各式各樣磁鐵，是我們研究的 6 位主角，盡力以不同外型、大小、磁力強弱來做為實驗的材料。

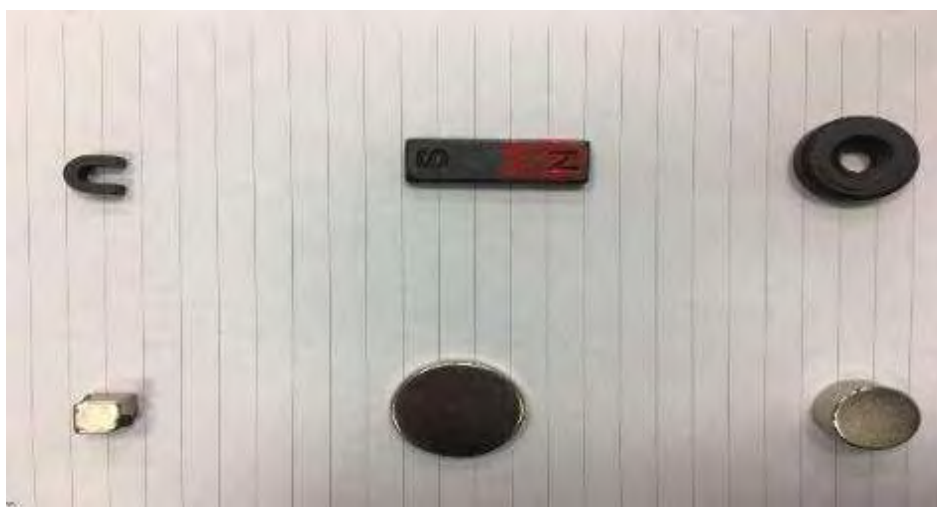


圖 1 各式各樣磁鐵

## 貳、研究目的

本研究之目的在於改善過去研究的人為誤差及不穩定性，運用科技產品來自行設計研究，提高磁場量測的正確性、穩定性和多元實用性，讓使用者可以容易使用、易於辨識磁場強度意義，進一步樂於操作使用。為了印證並改善我們自製高斯計的功效，運用網路研究的知識來擬定來學習自製高斯計的實體物件。據此我們建立了以下幾個具體的研究步驟與實驗實驗的項目作為研究設計的方針：

### 實驗一：自製磁強檢測儀的工作(延續性研究)

- (一)建立一個對磁場反應敏銳的實驗平台
- (二)用自建實驗平台以五種模式來量測六種樣品的數值
- (三)以專業高斯計量測六種樣品的數據以做比對

(四)建立自製高斯計讀值與專業高斯計數值對應表

實驗二：以霍爾元件自製高斯計進行實驗量測(延續性研究起點)

實驗三：以 ARDUINO 及 LCD 進行高斯計數值轉換與顯示程式撰寫

實驗四：探討強力磁鐵與自製電磁閥的磁力應用量測

實驗五：馬達功率與磁場強度的關係研究

## 參、研究方法與過程

### 一、研究步驟流程規劃

#### (一)、制定研究步驟及流程

依據研究設計與規劃訂定研究步驟流程方塊圖如圖 3 所示：

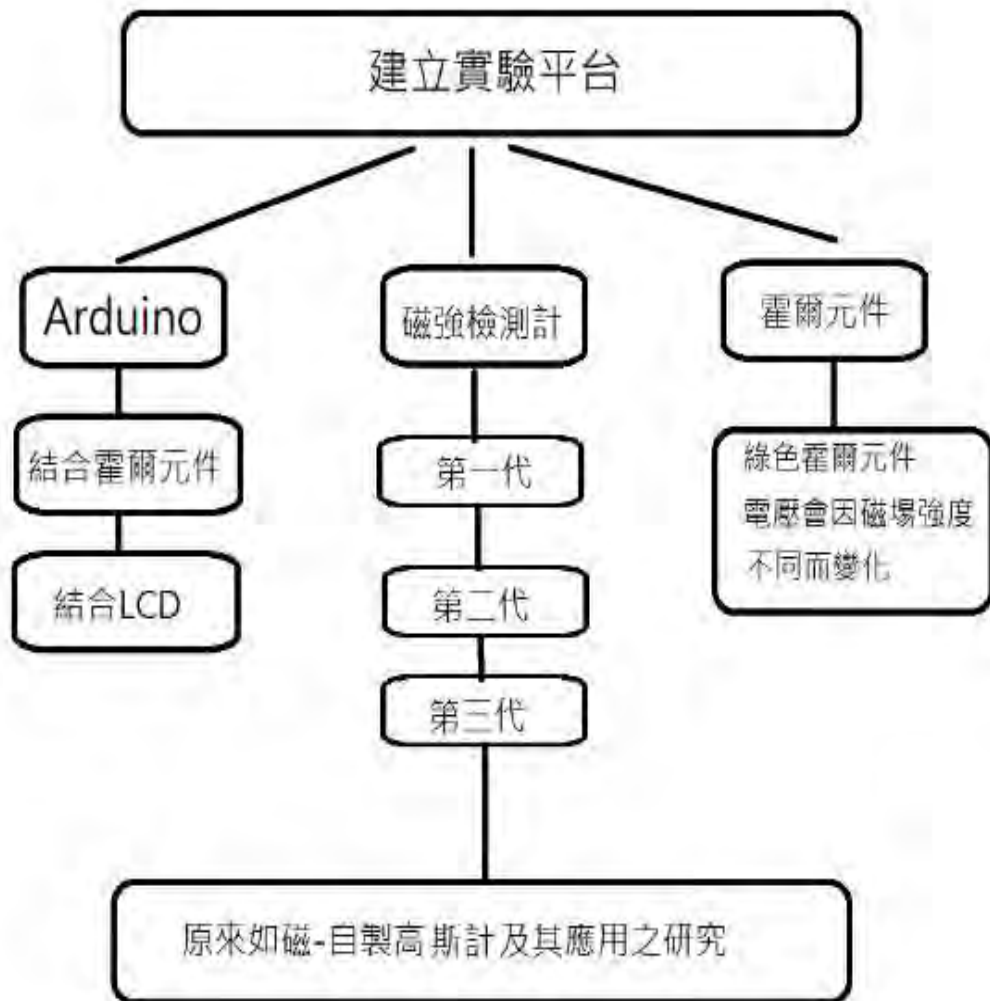


圖 3 研究步驟流程圖

我們的組員固定每週集合一次，平時各自利用課餘時間上網查詢相關資料、購置材料與製作器具，在集合團體研究時共同探討進度與進行實驗，再將成果彙整後向老師報告、討論與研究，繼而進行實驗修改與調整研究方向。大約每個月數次跟指導老師面對面討論研究進度，所以用月份來擬訂進度表，如表 1.工作進度甘特表。

表 1.工作進度甘特表

項目	9月	10月	11月	12月	01月	02月	03月	04月	5月	6月	
(1)資料收集- 磁場檢測計 的原理與規格	■										
(2)實驗器具- 尋找及製作 磁場檢測計			■								
(3)實驗量測- 進行各種變因 試驗				■							
(4)研究討論- 數據整理與歸 納討論			■								
(5)結論- 綜合整理出結 論						■					
(6)撰寫文稿- 各章節分工撰 文				■							
(7)校稿與修正- 請老師指導與 報告練習					■						

## (二)、尋找資源

- 1.搜尋各廠牌商家產品磁場檢測計(高斯計)的規格與介紹。
- 2.尋找各種磁場檢測計(高斯計)原理與介紹的文章。
- 3.購置或借用市售現有磁場檢測計(高斯計)設備來研究。
- 4.與老師持續互動討論研究主題與方向。

## 二、實驗方法及先備知識

### (一) 霍爾元件的技術原理及現況

#### 1. 霍爾探頭

霍爾探頭使用銻的化合物晶體，如銻化銻。晶體大小為 5 平方毫米左右，置於鋁基上，通過封裝成為探頭。晶體平面垂直於探頭底側，底側由非鐵磁材料製成，以避免自身影響磁場。引線自晶體出發，穿過底側，進入到電路模塊。把探頭置於磁場中，當電流流經晶體時，載流子受洛倫茲力作用出現偏轉導致載流子在晶體上的分布不均勻，晶體兩端的鋁基上因此可以探測到霍爾電壓。霍爾探頭可以測量微弱的地球磁場。霍爾探測器首先需要根據已知磁場強度進行調校。然後，探頭需要以適當方向放置以使地磁場磁流線直接穿過它。然後再以反方向放置，所讀出的流密度是地球磁流密度的兩倍

#### 2. 霍爾元件

霍爾元件通常被用為磁場檢知和磁場測定元件，當磁場通過霍爾元件，會在其輸出端產出電壓  $V_H$ ，將此電壓連接到運算放大器做比較或者放大，用以控制電路或測量磁場強度。用霍爾元件做為電流檢出與電壓檢出元件，當導體 A 有電流通過時，則根據安培定律會在導體周圍的環形鐵心上產生磁場。因為磁場的磁通密度與通過導體的電流強度成正比，所以利用霍爾元件來檢出磁通密度，即可得到相對應的電流值。若使待測電壓正比於電流  $I$ ，而磁通密度又與電流成正比，因此利用霍爾元件亦可檢出電壓值。若將霍爾元件與相關的電路製成 IC，就成為霍爾 IC，霍爾 IC 是一種將物理信號變換成電氣信號的磁—電變換元件，霍爾元件電壓輸出分為線性輸出及 Hi / Low 輸出。

#### 3. 霍爾電阻

物理學家霍爾(Edwin H.Hall)在一沿  $x$  方向導電板上通以電流，並在垂直於電流的方向  $z$  加磁場。這時帶電粒子將受到一垂直於行進方向  $y$  的磁力影響而引起偏移，磁場愈大，偏移愈嚴重。偏移的結果會使帶電粒子在導電板的邊緣累積，形成一個電位差，稱為霍爾電壓，這霍爾電壓阻止了帶電粒子進一步的偏移，使它繼續走直線。依歐姆定律把橫向的霍爾電壓除以縱向的電流叫做霍爾電阻。

#### 4. 霍爾效應(Hall effect)

於導體中導入電流，將導體置於外加磁場中量測其感應霍爾電壓(Hall Voltage)來判斷傳

導載子的極性與濃度，稱為霍爾效應(Hall effect)。霍爾元件(Hall Component)利用半導體的霍爾效應（Hall effect）作成的元件即是霍爾元件（Hall Component），其種類有：霍爾元件，磁阻元件，磁二極體，磁電晶體，磁閘流體，霍爾 IC 開關，線性霍爾 IC...等。

#### 5. 霍爾元件的特徵

- (1) 輸出電壓和磁場強度成正比
- (2) 輸出電壓和輸入電流的大小成正比
- (3) 輸出電壓的極性隨磁場的極性而改變
- (4) 可以減少感應面積，提高空間應用

#### 6.磁阻元件

磁阻元件之原理係在兩端通電流、加磁場，使發生霍爾電壓，當  $l \ll w$  的形狀時，因輸入端電極引起短路效應，使得內部霍爾電場變小，使電子實際上往霍爾角方向運動。磁阻（MR）是一種電阻值會隨磁場變化而變化的二端元件。幾乎每一種導電材料都會展現一些磁阻。然而，對於高導磁合金，磁阻效應特別大，如鎳鐵合金和其他的鐵磁材料。在物理上，可以利用霍爾效應測量磁通量。簡單的說，磁通過的大小會和輸出的電壓成正比，要測量磁的大小，可透過測量電壓大小而得知。應用例子 RPM 量測，霍爾元件放置於電路板上，一可旋轉輪盤上放置一磁力裝輪置，旋轉於霍爾元件感應位置上，既可接收磁場與電壓變化之輸出。電流量測——帶電流的導體在軛鐵中產生磁場，磁場因導體電流的變動而變動，霍爾元件感應而輸出正比於導體中電流的訊號。

#### (二) 專業磁場檢測計規格

我們研究的主題材料，專業的磁場檢測計如圖 4 所示，又稱為高斯計，其誤差精密度在 5% 以內。市售最常用的高準確度檢測計，一隻售價將近三萬元，其規格如下：

量測範圍：0~3000mT(毫泰斯拉)/0~30000G(高斯)

單位換算：1mT(毫泰斯拉)=10G(高斯)

Display：LCD 螢幕顯示, Accuracy:±5%

功能：DC(N/S 磁性)，AC，Zero Restet/MAX Hold/

傳輸介面：USB 介面傳送資料+PC 連線應用軟體

選配：高斯計用測試棒，KANETEC TM-801AXL

電源：3 號電池 4 顆






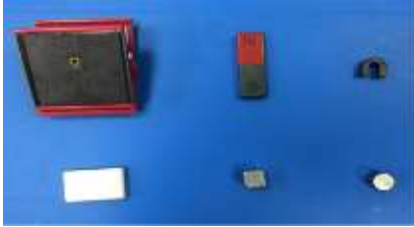
體積：140H×64W×30Dmm，250g



圖 4. 市售專業高斯計



## 肆、研究設備及器材

名稱	照片	說明
1.專業高斯計		量測範圍： 0~3000mT(毫泰斯拉)/0~30000G(高斯) Accuracy:±5%
2. 磁吸附力秤重器具		自製紙盒載具及大小彈珠
3. 6種馬達		功率由小到大編號，1： 10W、2：50W、3： 30W、4：20W、5： 150W、6：300W
4.霍爾元件		操作電壓 DC 4.5~6V、 電流 9.0mA、靜態輸出電 壓 DC2.25~2.75V、靈敏 度 0.15~1.75mV/G
5.電烙鐵		焊接和解焊 110V、30W
6.磁鐵		鈷鐵硼磁鐵 與鐵氧磁鐵



<p>7.霍爾元件模組</p>		<p>電源 5V 用來檢測磁場變化</p>
<p>8.LCD 顯示螢幕</p>		<p>每行 16 字元 共 2 行藍光背光</p>
<p>9.ARDUINO 控制板</p>		<p>ARDUINO UNO 版</p>
<p>10. 電路麵包板</p>		<p>空白電路板插線 及元件用</p>
<p>11. 3D 列印外殼</p>		<p>以 XYZ 機台與內建圖塊 設定尺寸列印</p>

## 伍、研究結果

實驗一：自製磁強檢測儀的前置研究(延續研究整理)

實驗(一)：建構一個對磁場敏銳反應的實驗平台。

找到同時具有矽鋼片也有精密電流表的勾式電表，打開勾表內部真的有矽鋼片在裡面如圖 5 所示。於是我們的實驗一建構一個能對磁場產生敏銳反應的設備，完成如圖 6 所示。



圖 5 電表的微電流檔位，勾表內裝置有矽鋼片



圖 6 對磁場產生敏銳反應的設備

實驗(二)：以專業的高斯計檢測出六個實驗材料的磁場數值。

向台中市某儀器公司商借了一台專業高斯計，如圖 7 分別為編號 1 到 6 的磁鐵進行專業高斯計量測數值圖。將量測數值建立表格如表 2 所示，建立量測磁場數值圖如圖 8 所示。

表 2 量測磁場數值表

編號	名稱	mT
1	馬蹄鐵(鐵氧體)	24.1
2	長方塊(鐵氧體)	36.65
3	圓環塊(鐵氧體)	58.1
4	正方體(鈹鐵硼)	69.36
5	正方體(鈹鐵硼)	182.32
6	圓柱體(鈹鐵硼)	322.81

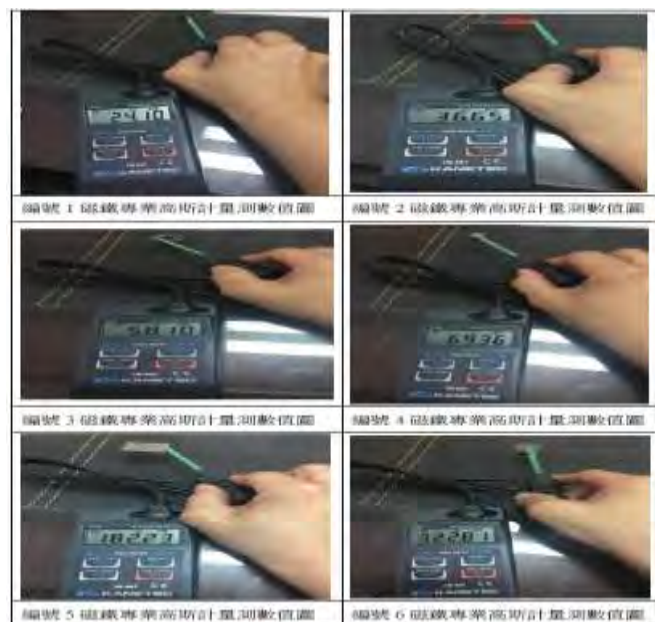


圖 7 編號 1~6 的磁鐵以專業高斯計量測數值

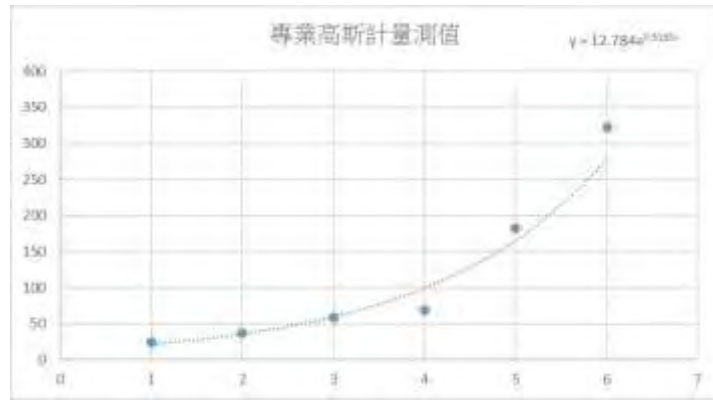


圖 8 量測磁場數值圖

**實驗(三)：用自建實驗平台以五種模式來量測六種樣品的數值**

制定 5 種檢測磁場的模式，分別是 1.靠近、2.離開、3.碰撞、4.穿越、5.擺盪，每一個數值的量測均經過數十次、近百次的紀錄，去除明顯的誤差值過大的數值後平均之，實驗結果紀錄於表 3，圖 9 為檢測模式第 5 種擺盪的實驗圖，建立量測磁場數值圖如圖 10 所示。

表 3 以自製高斯計 5 種模式量測磁場數值表

名稱	靠近	離開	碰撞	穿越	擺盪
馬蹄鐵(鐵氧體)	0.05	0.08	0.14	0.15	0.20
長方塊(鐵氧體)	0.17	0.28	0.3	0.4	0.47
圓環塊(鐵氧體)	0.32	0.47	0.65	0.68	1.15
正方體(鈿鐵硼)	0.66	1.33	1.41	1.76	1.41
長方塊(鈿鐵硼)	1.07	2.48	2.82	3.59	4.10
圓柱體(鈿鐵硼)	2.12	4.06	5.48	6.06	7.46



圖 9 擺盪式量測實驗平台

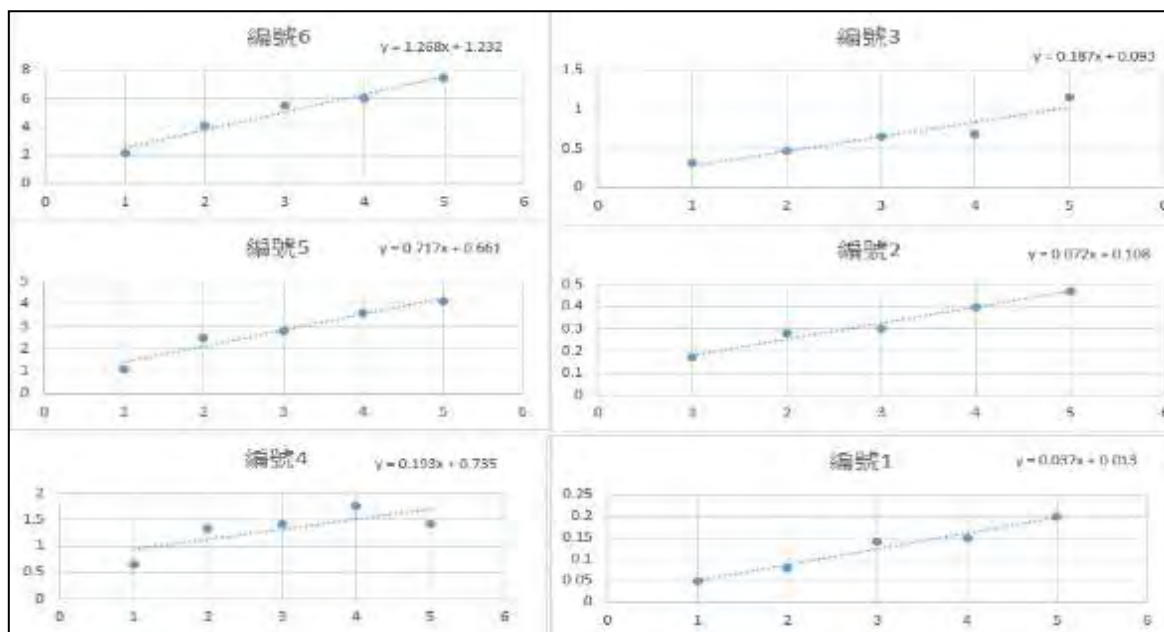


圖 10 以自製高斯計 5 種模式量測磁場數值圖

#### 實驗(四)：以專業高斯計量測六種樣品的數據以做比對

由實驗三得知，以第五種模式的量測數值級距最大，也就是採用此模式量測最為靈敏，因此製作模式五擺盪的數值曲線圖如圖 11，與圖 8 專業高斯計的數值曲線圖對照。發現其數值與差異非常的接近，六種磁場材料中只有 2 種有些微差異，其他 4 種均有幾乎完全一至的落點數值與趨勢線，如圖 12 所示。因此我們在修正後將兩個儀表量測的數值再疊在一起比對如圖 13 所示，建立出自製高斯計讀值與專業高斯計數值對應表，自製的量測平台所量測出來的數值，經過查表 4 所示的對照值，便可以得到與專業高斯計量測一樣準確的磁場數值，如圖 14 高斯計數值對照表之圖所示。據此完成自製高斯計的第一代原型機如圖 15 所示。

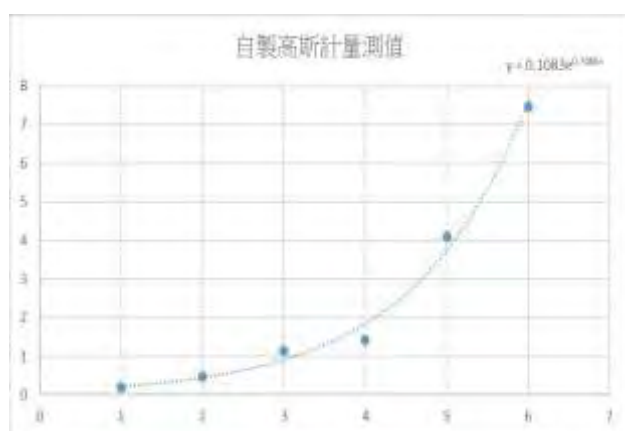


圖 11 自製高斯計量測的數值曲線圖

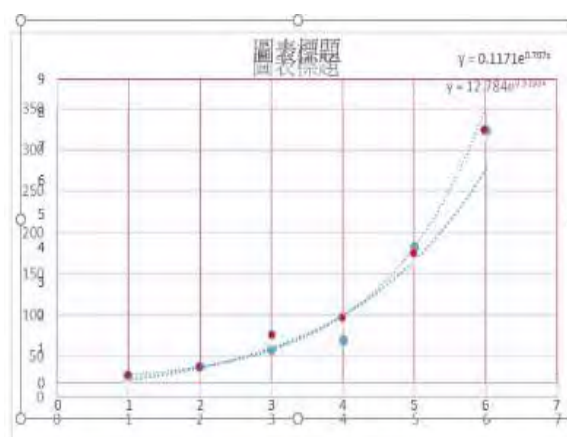


圖 12 兩個量測值疊在一起比對



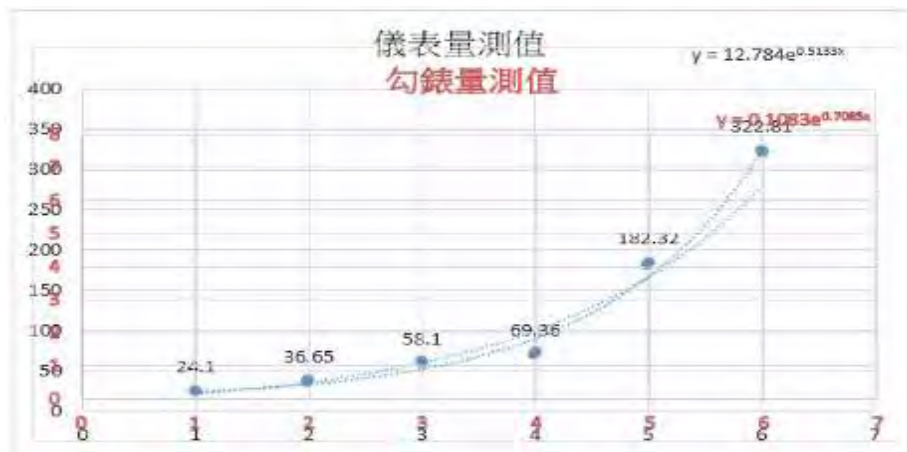


圖 13 校正後兩個儀表量測的數值再疊在一起比對

表 4 高斯計數值對照表

編號	磁鐵名稱	自製高斯計	專業高斯計
1	馬蹄鐵(鐵氧體)	0.2	24.1
2	長方塊(鐵氧體)	0.47	36.65
3	圓環塊(鐵氧體)	1.15	58.1
4	正方體(鉕鐵硼)	1.41	69.36
5	長方塊(鉕鐵硼)	4.1	182.32
6	圓柱體(鉕鐵硼)	7.46	322.81

依據表 4 的高斯計數值對照表，繪製出如下圖 14，方便在進行自製高斯計第一代原型機量測時對照數值用。

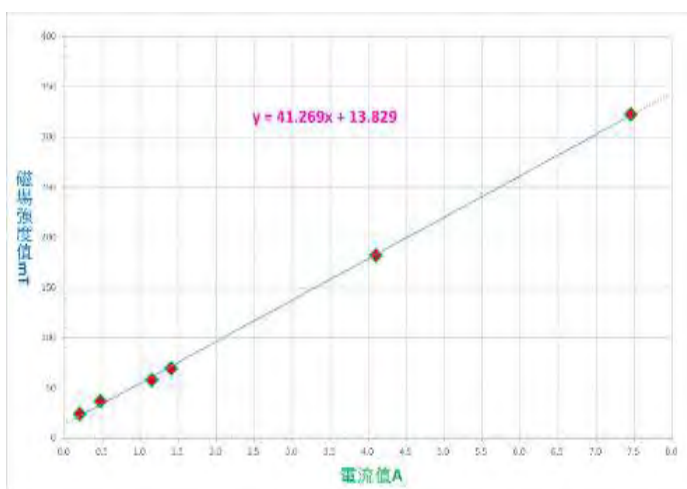


圖 14 高斯計數值對照表之圖



圖 15 第一代自製高斯計原型圖

## 實驗二：以霍爾元件自製高斯計進行實驗量測(延續性研究起點)

由於第一代自製高斯計原型機的數據是以擺盪來進行量測，容易產生人為誤差，所以實驗時必須先進行大量的量測數據後，加以數據整理分析才能得到正確穩定的量測結果。所以改使用 ARDUINO 控制器結合霍爾元件感測器來進行研究，將實驗數據結果呈現在液晶顯示器上，如圖 16 為研究實驗圖。我們總共選購了三種霍爾元件感測器，如圖 16 的下方有三片感測器，由左至右分別有紅色、綠色、藍色的區塊，經實驗量測得到紅色與藍色的感測器輸出電壓值，在量測鈷鐵硼磁鐵時均會呈現飽和狀態，也就是達一電壓值後就不再上升。其中綠色的霍爾元件感測器不僅沒有這現象，一開始的電壓為 2.49V，電壓會依六種磁鐵樣品磁場強度不同而變化，如果量到 S 極電壓會從 2.49V 上升到 4.67V，量測到 N 極電壓會從 2.49V 下降到 0.33V，紀錄的數值如表 5 所示。依據表 5 繪製圖量測各類別磁鐵的極性與電壓強度值之曲線圖，如圖 17 所示。完成以 ARDUINO 控制結合 LCD 的自製第二代高斯計如圖 18 所示。如圖 18 右上角是磁鐵量測的夾具，利用圓規等角度開合的特性而使用之，下面是行動電源剛好可以做支撐或是握把。

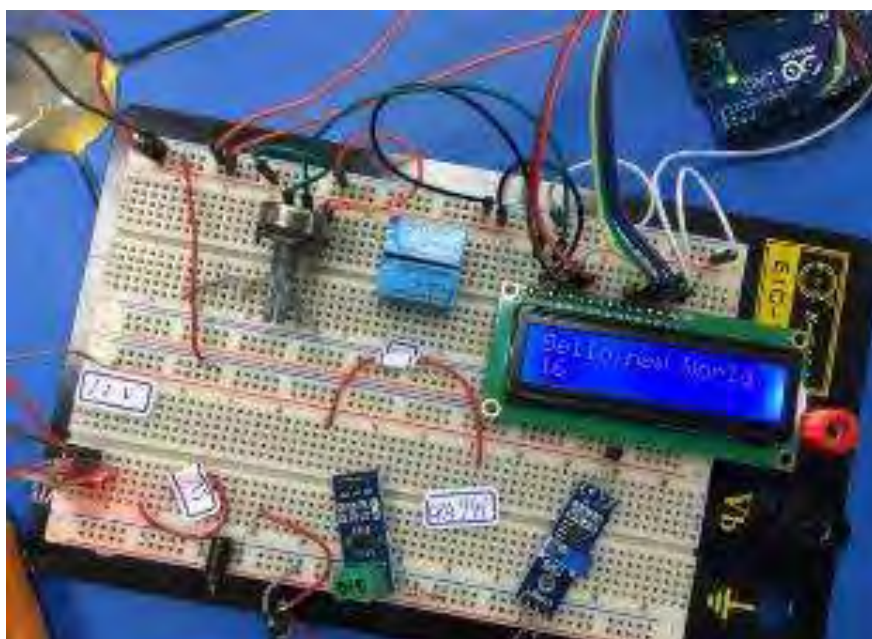


圖 16 ARDUINO 控制器結合霍爾感測器研究實驗圖

表 5 霍爾感測器量測數值

磁鐵編號	S 極	無磁場電壓 2.49V		N 極
		差異值	差異值	
1	2.58	0.09	0.07	2.42
2	2.62	0.13	0.11	2.38
3	2.78	0.29	0.31	2.18
4	3.80	1.31	1.33	1.16
5	4.06	1.57	1.59	0.90
6	4.68	2.18	2.16	0.33

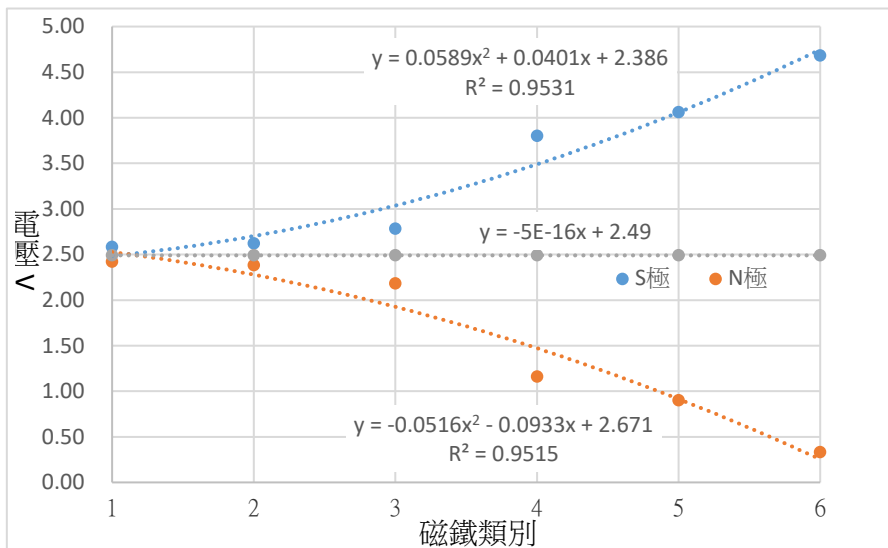


圖 17 各類別磁鐵的極性與電壓強度值之曲線圖

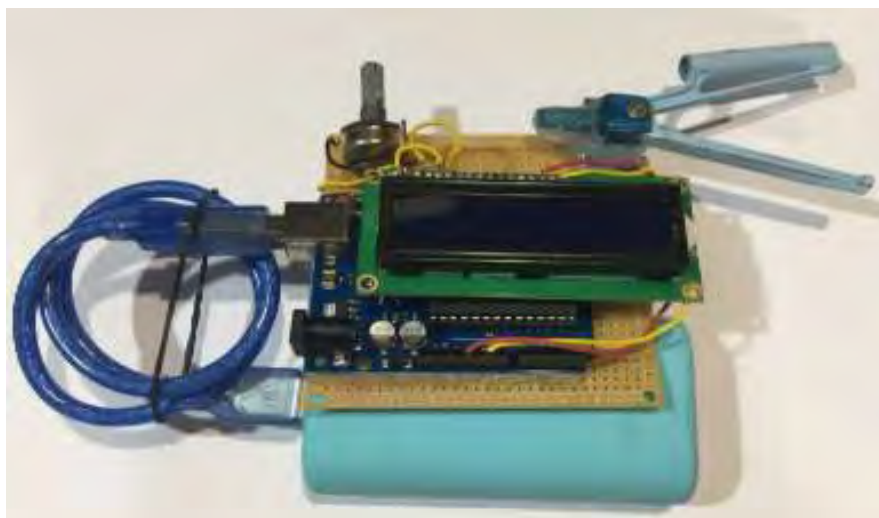


圖 18 以 ARDUINO 控制結合 LCD 為研究實驗圖



### 實驗三：以 ARDUINO 及 LCD 進行高斯計數值轉換顯示程式撰寫

我們以 ARDUINO 控制結合 LCD 的顯示來研究，將實驗二的實驗數據結果呈現在液晶顯示器上，朝向專業的高斯計邁進，將圖 18 的自製高斯計第二代成品，顯示畫面規劃如表 6 所示。將六種磁鐵以第二代自製高斯計 Arduino 模組量測的原始電壓、磁場級性與強度值紀錄在表 7 中，並將其繪製成曲線圖。要從曲線圖中取得趨勢線的方程式，作為 Arduino 程式撰寫電壓轉換磁場強度的方程式，必須考量如圖 19 的磁場磁滯現象，如圖 19 的核心升磁曲線為指數函數曲線，如圖 20 所示為量測電壓與磁場強度的曲線圖，如圖 21 所示為 ARDUINO 控制結合 LCD 的程式撰寫。

表 6. LCD 顯示螢幕規劃表

磁極	磁場強度	原始電壓
S / N	mT	V

表 7. 第二代自製高斯計 Arduino 模組量測的原始電壓、磁場級性與強度值

S 極			N 極		
編號	電壓 V	磁場強度 mT	編號	電壓 V	磁場強度 mT
1	2.58	24.1	1	2.42	24.1
2	2.62	36.65	2	2.38	36.65
3	2.78	58.1	3	2.18	58.1
4	3.8	69.36	4	1.16	69.36
5	4.06	182.32	5	0.9	182.32
6	4.68	322.81	6	0.33	322.81

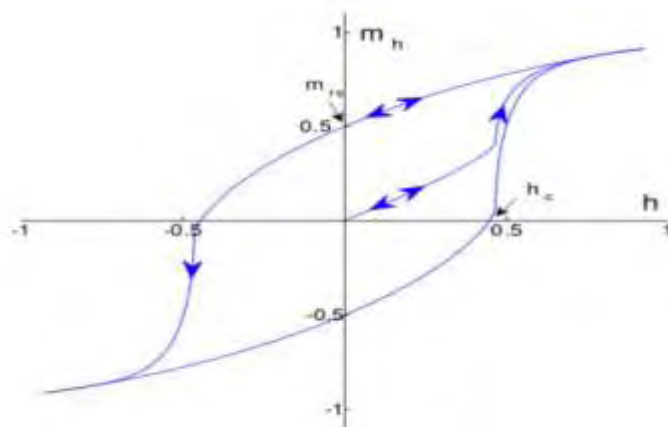


圖 19. 磁場的磁滯現象圖

由圖 20 可以看到 S 極方程式： $y = 2.1698e^{1.0439x}$ ，以及圖 21 的 N 極方程式： $y = 28.965e^{1.0429x}$ 。再將方程式寫入如圖 22 之 ARDUINO 程式。

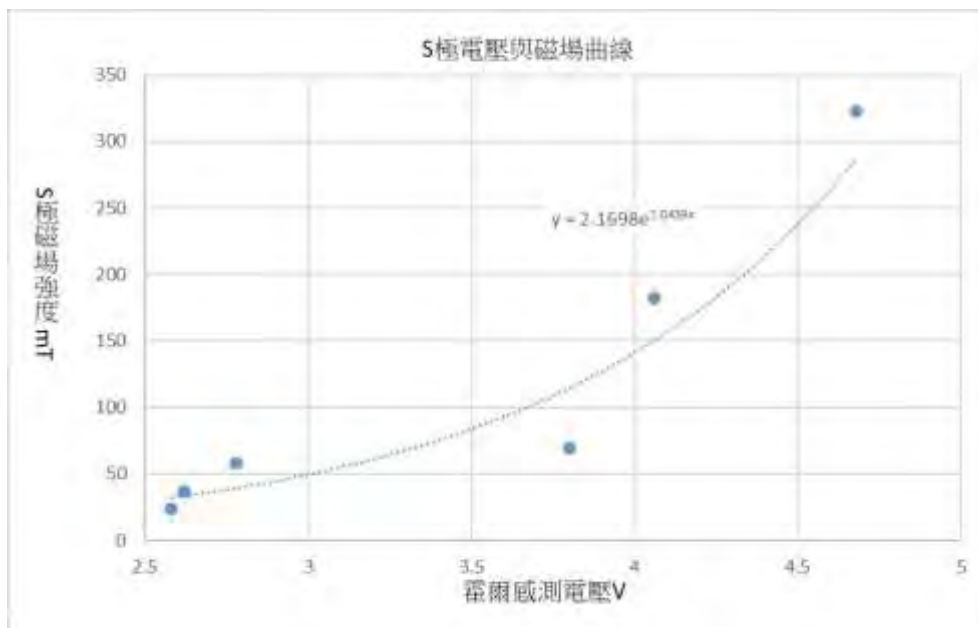


圖 20 第二代自製磁場建測器量測電壓與磁場強度的 S 極曲線圖

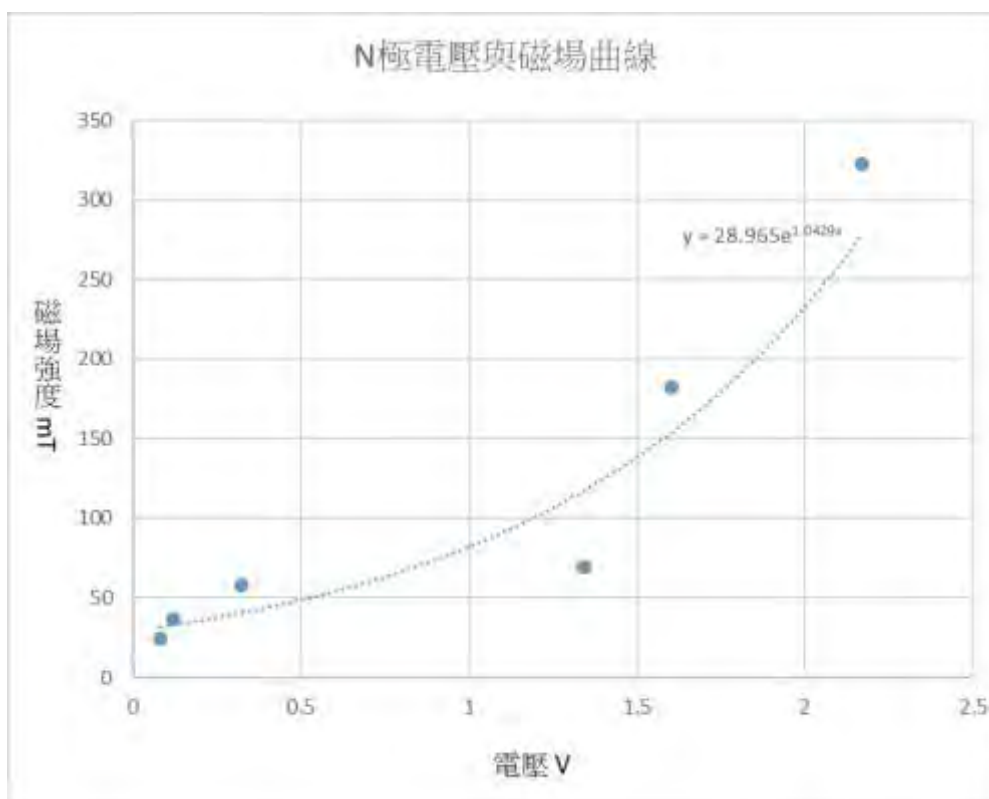


圖 21 第二代自製磁場建測器量測電壓與磁場強度的 N 極曲線圖

```

// Include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>
double Voltage = 0;
double Current = 0;
float polarity5 = 0;
float polarityN = 0;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);//lcd 腳位
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);
  // Print a message to the LCD.
}
void loop(){
for(int i = 0; i < 1000; i++){
Voltage = (Voltage + (.0049 * analogRead(A0))); // (5 V / 1024 (Analog) = 0.0049) 電流感測器電壓換算
delay(1);
}
Voltage = Voltage /1000;
Current = (Voltage -2.5)/ 0.185; // 電流感測器電流換算
Serial.print("\n Voltage Sensed (V) = "); // 監視視窗顯示 Voltage Sensed
Serial.print(Voltage,2); // the '2' after voltage allows you to display 2 digits after decimal point
Serial.print("\t Current (A) = "); // 監視視窗顯示 Current
Serial.print(Current,2); // the '2' after voltage allows you to display 2 digits after decimal point
delay(1000); //極性判斷以數值帶入換算
If (Voltage < 2.49)
{
polarityN = ((26.79 * pow(Voltage, 5) - (468.16 * pow(Voltage, 4)) + (2067 * pow(Voltage, 3) -
(3453.6 * pow(Voltage, 2)) + (1989.8* Voltage) - 26.565);
delay(100);
}
else
{
polarity5 = ((-26.582 * pow(Voltage, 5) + (185.35 * pow(Voltage, 4)) + (786.27* pow(Voltage, 3)) -
(10037 * pow(Voltage, 2)) + (29601* Voltage) - 28216);
delay(100);
}
lcd.setCursor(0, 0);//電壓顯示
lcd.print(Voltage);
lcd.print(" V ");
lcd.print(" ");
Serial.println(Voltage);//極性判斷
Serial.println("N:");
Serial.println(polarityN);
Serial.println("S:");
Serial.println(polarity5);
if (Voltage < 2.49) //mt 數值判斷
{
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("N");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(polarityN);
lcd.print("mT");
lcd.print(" ");
}
else
{
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("S");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(polarity5);
lcd.print("mT");
lcd.print(" ");
}
}
}

```

圖 22 以 ARDUINO 控制結合 LCD 的顯示程式



圖 23 自製霍爾高斯計及其 Arduino 模組量測之第 6 種磁鐵(圓柱體)

以第二代自製高斯計 Arduino 模組量測第 6 種磁鐵(圓柱體)的原始電壓、磁場級性與強度值如圖 23 所示，磁場強度為 315.51mT，查表四以專業高斯計量測的數值為 322.81mT，其差異量為 7.3mT，計算得知誤差比為 2.61%。我們使用 3D 列印套裝軟體為裸露的電路板設計了一個外殼，列印完組裝的樣貌如圖 24 所示，為第三代自製高斯計成品圖。圖 24 在量測磁場時，因為沒有固定的治具，導致量測容易產生位置偏差，所以如圖 25 增設了 6 種磁鐵的量測治具，明顯改善了量測的位置誤差。第三代自製高斯計的基準電位為 2.5V，在實際使用的時候發現電位會些微以 0.05V 的差距偏移，因此會產生大約 30mT 的誤差量。據此我們如圖

25 的左側加裝了兩顆按鈕，在量測前按下第一顆按鈕，記錄當下的基準電位，放置磁場後再按第二顆按鈕，開始校正磁場強度值，成功降低因為基準電位產生的偏移誤差。如此增設研究後，讓第三代自製高斯計更加健全穩定且準確。

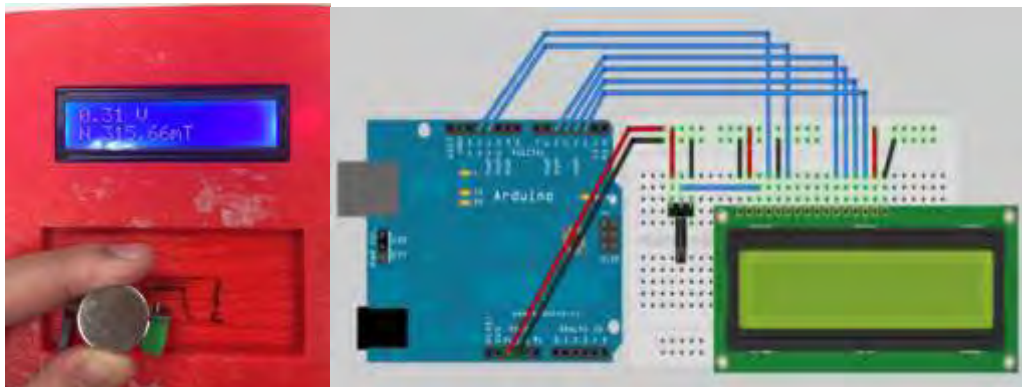


圖 24 自製霍爾高斯計成品圖及內部接線圖



圖 25 增加磁場量測治具以及校正按鈕

#### 實驗四：研究強力磁鐵與自製電磁閥的磁力實驗量測

為了更加了解對於磁力的延伸應用，我們規劃了電磁鐵與電磁閥的應用實驗，如圖 26 所示分別為電磁鐵、電磁閥。我們先從網路上訂購強力磁鐵與電磁閥開關，將其拆解後分別將線徑由粗到細代號 17、23、27、35、42，繞製取代原有的線圈，分別進行吸附 80g 的最小驅動電壓與定電壓 10V 的吸附力的實驗，如表 8 所示，顯示代號 23 與 27 的電壓較易取得，磁並應用於驅動，其吸附力也較高。



圖 26 自製強力磁鐵與市售電磁閥開關栓鎖結構圖

表 8 線徑由粗到細代號 17、23、27、35、42，繞製取代原有的線圈進行實驗

線圈(線徑代號)	17	23	27	35	42
吸附 80g 的最小驅動電壓(V)	X	2.7	4.6	18.0	21.2
定電壓 10V 的吸附力(g)	X	68.5	68.5	5.5	64.0

表 9 以代號 25 線徑 0.4mm 的線圈繞製電磁閥來進行實驗

電磁閥電壓(V)	3V	5V	9V	12V
線徑編號 25(0.4mm)的吸附力(g)	142.5	178.5	593.5	X

因此我們進一步使用介於 23 與 27 之間的代號 25 線圈，其線徑為.04mm，繞製取代原有的線圈來進行實驗。由於手邊沒有砝碼，我們使用大小彈珠及自製秤重台，計重如圖 27 所示，大彈珠 21 公克，小彈珠 5.5 公克，自製秤重台 39 公克，實驗量測磁吸附力以吸附自製秤重台並乘載大小彈珠而鐵心不掉落的最大值來計算，紀錄的結果如表 9 所示。自製而成的電磁閥如圖 28 所示，如圖 29 所示為實驗的實況。

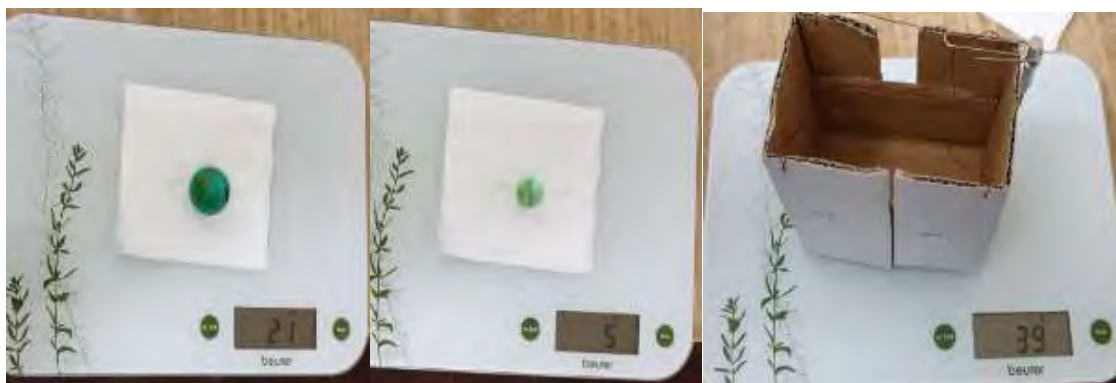


圖 27 大小彈珠及自製秤重台的重量比對





圖 28 以代號 25 線徑 0.4mm 的線圈繞製電磁閥的結構圖

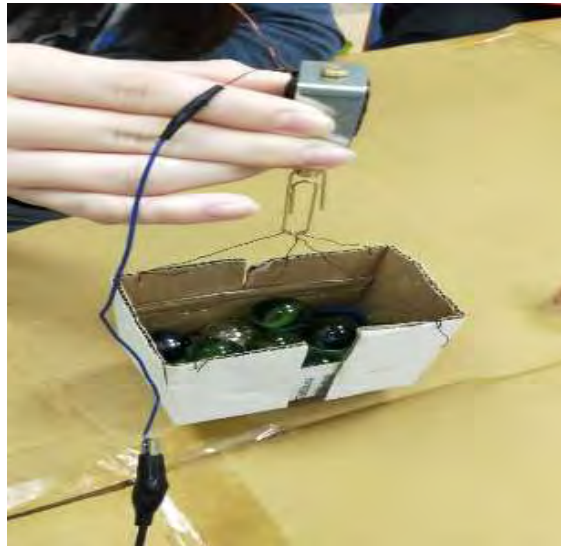


圖 29 電磁閥通電後的載重測試

表 10. 磁吸附力的磁場強度值

的吸附力(g)	142.5	178.5	<b>593.5</b>	X
磁場強度值	167.3251	226.3254	368.4523	

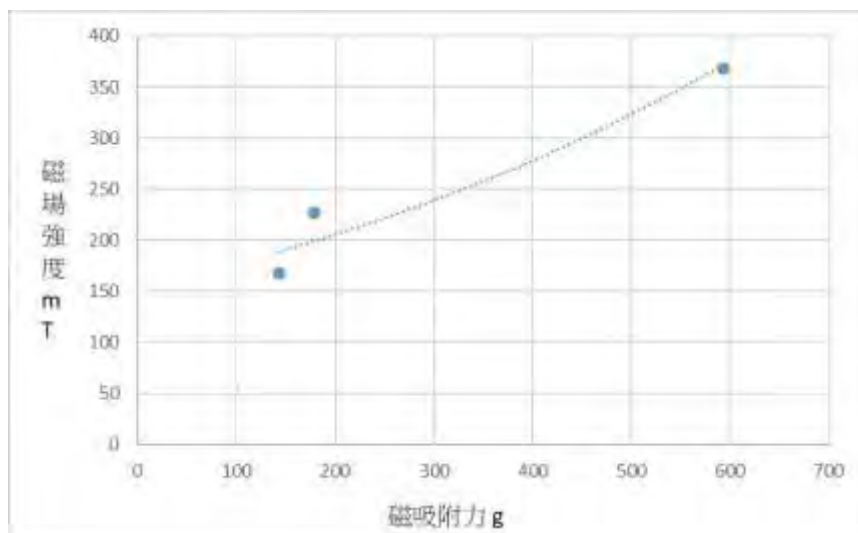


圖 30 磁吸附力與磁場強度的關係曲線圖

如表 9 顯示的磁吸附力條件下，以第三代自製高斯計進行量測磁場強度值，紀錄數值如表 10 所示，再將其製作成曲線圖如圖 30 所示，可以觀察出磁吸附力與磁常強度的關係，具有正比的指數函數關係。

### 實驗五：馬達功率與磁場強度的關係研究

我們準備了如圖 30 所示的六種直流馬達，分別功率由小到大編號，1：10W、2：50W、3：30W、4：20W、5：150W、6：300W。因為直流馬達內部分為定子與轉子，通常定子為磁鐵製成，所以猜想磁場強度跟馬達功率大小一定存在著相對關係。如圖 31 所示，我們將每一顆馬達拆開，如圖 32 所示，以同一材質連接磁鐵引導出來量測並紀錄表 10。依表 10 繪製馬達功率與磁場強度的關係曲線圖，如圖 33 所示。



圖 30 編號 1~6 的馬達



圖 31 將 6 種馬達拆開



圖 32 量測 6 種馬達定子磁場強度



表 10 6 種馬達定子磁場強度量測值

編號	1	2	3	4	5	6
功率	10	50	30	20	150	300
磁場強度	214.802	285.4716	297.2921	303.335	327.0961	382.2114

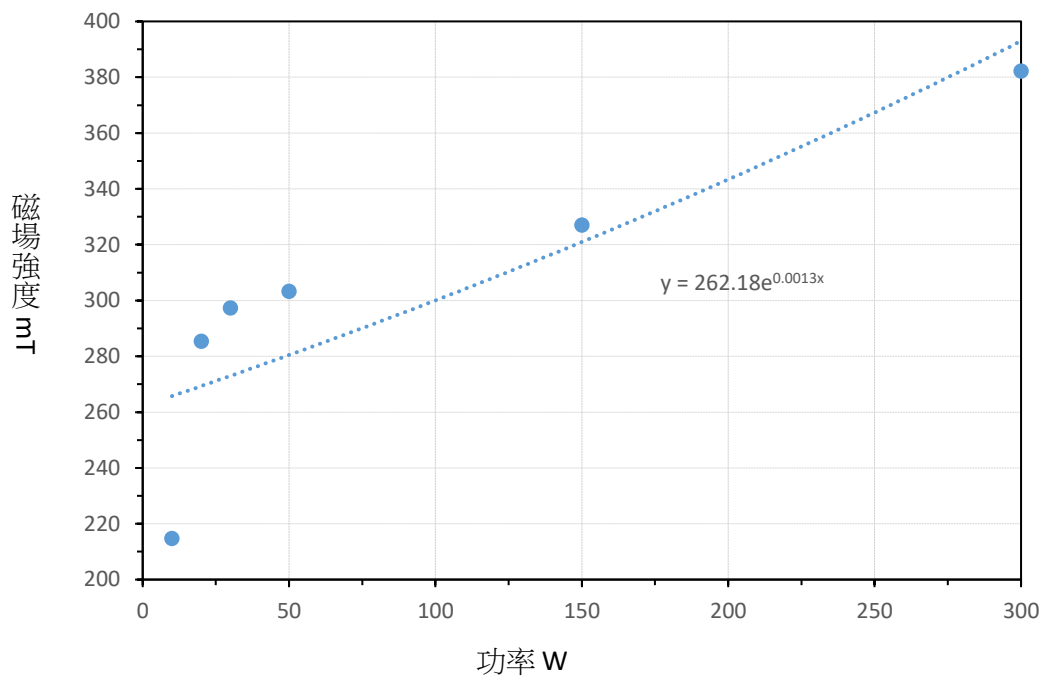


圖 33 6 種馬達功率與磁場強度的關係曲線圖

## 陸、結果與討論

### 一、實驗一：自製磁強檢測儀的工作(延續性研究整理)

#### (一)建立一個對磁場反應敏銳的實驗平台

在這實驗中，我們發現對**磁場反應最為靈敏的兩個物品**，一個是**矽鋼片**，另一個是**霍爾元件**。霍爾元件留在後面會繼續研究。針對矽鋼片我們找到物品也進行實驗，發現需要配合電子電路才能將細微的磁場反應藉由電子電路轉換呈現出來，最後發現**改造市售的電流勾表**，可以達成對磁場反應敏銳的實驗平台。

#### (二)專業高斯計量測六種樣品的數據

寶貴的機會借到昂貴專業的儀器-高斯計，發現操作簡單方便、穩定度高，也成為我們研究磁場的標準數據來源。

#### (三)用自建實驗平台以五種模式來量測六種樣品的數值

延續實驗(一)的實驗平台，在實驗(三)努力探究六種磁鐵的五種運動模式，最後發現**擺盪式的運動方式能有最為靈敏的效果**，得到磁場對應電流反應表，**建立第一代自製高斯計**。

#### (四)專業高斯計與自建實驗平台的量測數據比對及校正

在實驗(三)中，因為磁場運動而感應出的反應電流，所以在實驗(二)中與專業高斯計量值進行比對，得到進一步的校正修正，也**應證磁場運動與感應電流的對等關係**。

### 二、實驗二：以霍爾元件自製高斯計進行實驗量測

研究多種市售霍爾感測器，進行磁場感應電壓的實驗，最後發現不是每一種都能對磁場有極性之分，多僅有磁場強弱之分，其中 **ACS712 電流感測器模組 20A** 這一款霍爾元件，可以產生無極性 2.49V、S 極 4.68V、N 極 0.33V 的臨界反應，剛好可以應用來製作出可以量測極性與磁場強度的高斯計，與 ARDUINO 及 LCD **組成第二代自製高斯計**。

### 三、實驗三：以 ARDUINO 及 LCD 進行高斯計數值轉換顯示程式撰寫

將 ACS712 電流感測器模組 20A 結合 ARDUINO 及 LCD，進行高斯計數值轉換顯示程式撰寫，藉由實驗五的六種磁鐵感應電壓，加入實驗二的專業高斯計的六種磁鐵量值，繪製曲線得到函數方程式，先撰寫判斷電壓極性，在轉換成磁場強度，最後顯示在 LCD 螢幕上，**完成第三代自製高斯計**，並且 3D 列印外殼後更像一台專業的高斯計。

#### 四、實驗四：研究強力磁鐵與自製電磁閥的磁力實驗量測

為了讓磁場研究更多元更具體化，讓我們更加深刻的感受到電生磁的原理，所以嘗試了多種線徑的漆包線來自繞自製，得到供應 DC9V 可以產生最大將近 600 公克的磁吸力，據此得知磁場強度與磁吸附力的對應關係，也就是多少強度的磁場可以產生多少強度的力量。磁場強度與磁吸附力呈現正比的指數函數關係。

#### 五、實驗五：馬達功率與磁場強度的關係研究

以第三代自製高斯計來量測 6 種馬達的磁場強度，藉由結果可以觀察出磁場強度與馬達功率的對應關係，也就是多少強度的磁場大約是多少功率的馬達，磁場強度與馬達功率呈現正比的指數函數關係。

## 柒、結論及未來展望

### 一、實驗一：自製磁強檢測儀的前置研究

#### (一)建立一個對磁場反應敏銳的實驗平台

磁場反應最為靈敏的兩個物品，一個是**矽鋼片**，另一個是**霍爾元件**，已具有**矽鋼片**的市售**電流勾表**製作出對磁場反應敏稅的平台。

#### (二)專業高斯計量測六種樣品的數據

以專業高斯計量測出實驗用的**六種磁鐵磁場數值**，**建立對照標準值**。

#### (三)用自建實驗平台以五種模式來量測六種樣品的數值

以**擺盪式矽鋼片電流勾表**製作出可以量測六種樣品的**第一代自製高斯計**。

#### (四)專業高斯計與自薦實驗平台的量測數據比對及校正

**校正比對成功修正出與專業高斯計相近的六種樣品磁場數值曲線的趨勢**。

### 二、實驗二：以霍爾元件自製高斯計進行實驗量測

從多種霍爾元件中找到**量測極性的感測器**，結合 ARDUINO 及 LCD 製作成**第二代自製高斯計**。

### 三、實驗三：以 ARDUINO 及 LCD 進行高斯計數值轉換顯示程式撰寫

撰寫出**依據電壓判斷磁場極性的程式**，再以特性曲線**方程式轉換出磁場強度數值**，並由 LCD 顯示出來。列印外殼產出**第三代自製高斯計**。並增加量測治具與校正按鈕。

### 四、實驗四：研究強力磁鐵與自製電磁閥的磁力實驗量測

自繞多種漆包線自製出強力電磁閥，在常見**直流電壓 9V** 下可以產出近 **600 公克**的**磁吸力**。**磁場強度與磁吸附力呈現正比的指數函數關係**。

### 五、實驗五：馬達功率與磁場強度的關係研究

**磁場強度與馬達功率呈現正比的指數函數關係**。

## 捌、參考資料及其他

[1]KANETEC TM-801 高斯計產品介紹，光鼎儀器有限公司。

[http://www.kd17.com.tw/ugC\\_ShowroomItem\\_Detail.asp?hidKindID=7&hidTypeID=&hidCatID=&hidShowID=91](http://www.kd17.com.tw/ugC_ShowroomItem_Detail.asp?hidKindID=7&hidTypeID=&hidCatID=&hidShowID=91)。

[2] 磁場介紹，維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%A3%81%E5%A0%B4>。

[3] 磁鐵相關知識，磁鐵達人的世界。

<http://magmansworld.blogspot.tw/2007/11/n.html>。

[4] 變壓器原理，維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%98%E5%8E%8B%E5%99%A8>

[5] 霍爾效應原理，維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%9C%8D%E7%88%BE%E6%95%88%E6%87%89>。

[6] 法拉第定律，維基百科。

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%B3%95%E6%8B%89%E7%AC%AC%E5%AE%9A%E5%BE%8B>。

[7] 電磁波測試計，泰仕電子公司。

[http://www.tes.com.tw/product\\_detail.asp?seq=100](http://www.tes.com.tw/product_detail.asp?seq=100)。

[8] 107 年獨立研究，自然與生活科技 [「磁」來的消息-靜磁場檢測的研究](#)。

[9] ARDUINO 線上程式實作。<https://www.tinkercad.com/things/baW4dccPIVj-epic-blorkasi/editel?tenant=circuits>

[10] 如何自製高斯計

<http://www.coolmagnetman.com/magmeter.htm>

## 【評語】 032804

1. 本作品的作者國中生能瞭解看不見的磁量與電壓，並進行相關鑽研，殊屬不易。
2. 作者亦針對霍爾元件之類比讀值與參考電壓誤差進行校正，可提升量測數據準確度，作法值得鼓勵。
3. 關於硬體的類比轉數位解析度對於量測數據的準確度的影響可以更進一步探討。



## 摘要

高斯計是一種磁場檢測計，用於檢測磁場強度，像電動機及發電機的磁場強度，影響著功率大小及效率的問題，磁場強度的檢測有助於生產品質精良的馬達。然而一支專業的磁場檢測計的價格相當昂貴，我們希望能探索科學知識並自製高斯計，進而運用在更多的方面。

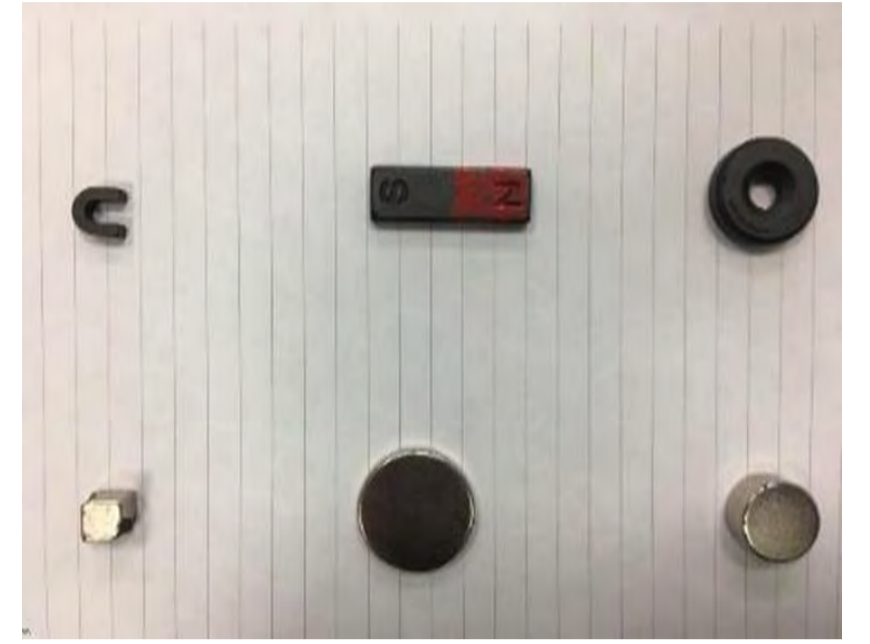
從改善第一代的擺盪式矽鋼片開始，針對第二代的霍爾元件式的檢測實驗，最後第三代的控制ARDUINO結合LCD顯示介面，成功檢測出磁鐵的極性與強度數值，達成快速與穩定的效果。

在生活應用方面，以線徑0.4MM的漆包線自製電磁閥，實驗測得近600公克的磁吸附力，發現磁場強度與磁吸附力的關係，以及磁場強度與馬達功率的關係，成功實現了高斯計的多元應用價值。

## 壹、研究動機

延續研究[8]107年獨立研究，自然與生活科技「磁」來的消息-靜磁場檢測的研究，我們覺得建立的磁場實驗平台相當簡陋且誤差性極高，於是我們著手研究霍爾元件，希望能以ARDUINO微處理器結合LCD，自製出一台準確度高又穩定的磁場強度檢測儀。

高斯計的價格昂貴且不普及，我們也希望研究出替代方案，不僅造福眾人也能增進砥礪我們的研究精神與能力，締造研究的教學示範教材。右圖的各式各樣磁鐵，是我們研究的6位主角，盡力以不同外型、大小、磁力強弱來做為實驗的材料。



## 貳、研究目的

建立了以下幾個具體的研究步驟與實驗實驗的項目作為研究設計的方針：

### 實驗一：自製磁強檢測儀的工作(延續性研究整理)

- (一)建立一個對磁場反應敏銳的實驗平台
- (二)用自建平台以五種模式來量測六種樣品的數值
- (三)以專業高斯計量測六種樣品的數據以做比對
- (四)建立自製高斯計讀值與專業高斯計數值對應表

### 實驗二：以霍爾元件自製高斯計進行實驗量測

(延續性研究起點)

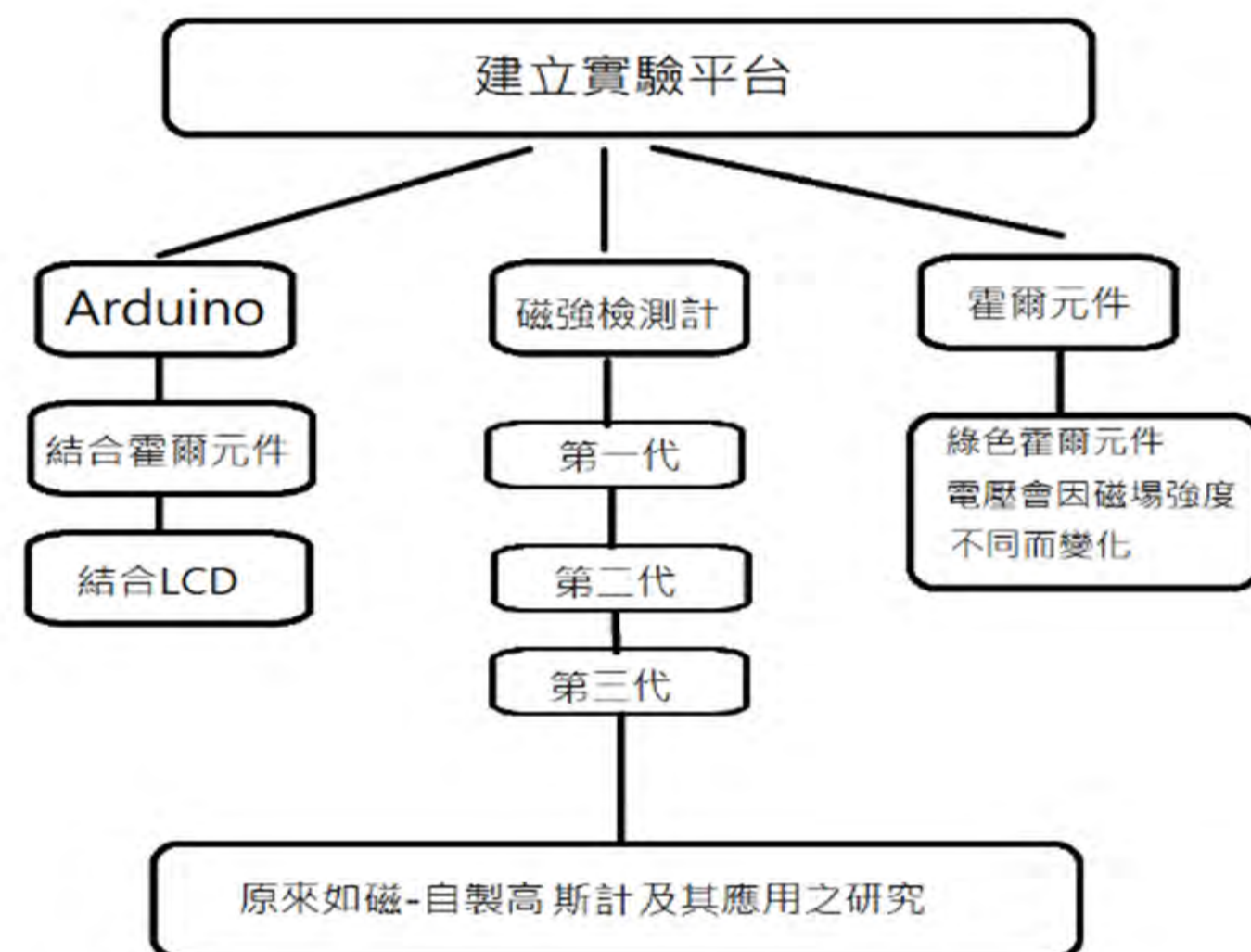
### 實驗三：以ARDUINO及LCD做高斯計數值轉換與顯示程式

### 實驗四：探討強力磁鐵與自製電磁閥的磁力應用量測

### 實驗五：馬達功率與磁場強度的關係研究

## 參、研究方法與過程

### 一、研究步驟流程規劃



### 二、實驗方法及先備知識

1. 霍爾探頭使用如銻化銻的化合物晶體，大小約5平方毫米。磁場通過霍爾元件，會在其輸出端產出電壓 $V_H$ 稱為霍爾電壓。
2. 霍爾IC是一種將物理信號變換成電氣信號的磁-電變換元件，特徵(1)輸出電壓和磁場強度成正比(2)輸出電壓和輸入電流的大小成正比(3)輸出電壓的極性隨磁場的極性而改變(4)感應面積小，提高空間應用。
3. 研究中借用市售最常用的高準確度高斯計，KANETEC TM-801售價近三萬元，量測範圍：0~3000mT(毫泰斯拉)/30000G(高斯)，磁通過的大小會和輸出的電壓成正比。

## 肆、研究設備及器材

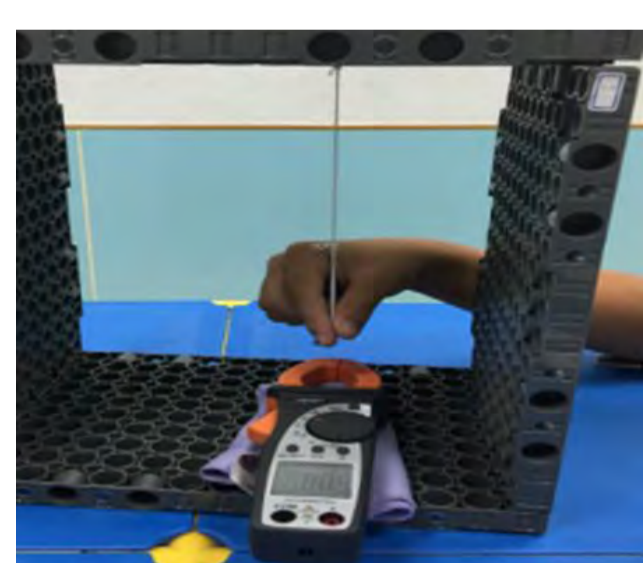
主要研究的設備及器材列舉如下：



## 伍、研究結果

### 實驗一：自製磁強檢測儀的前置研究(延續性研究整理)

#### (一)建立實驗平台 (二)專業高斯計量測

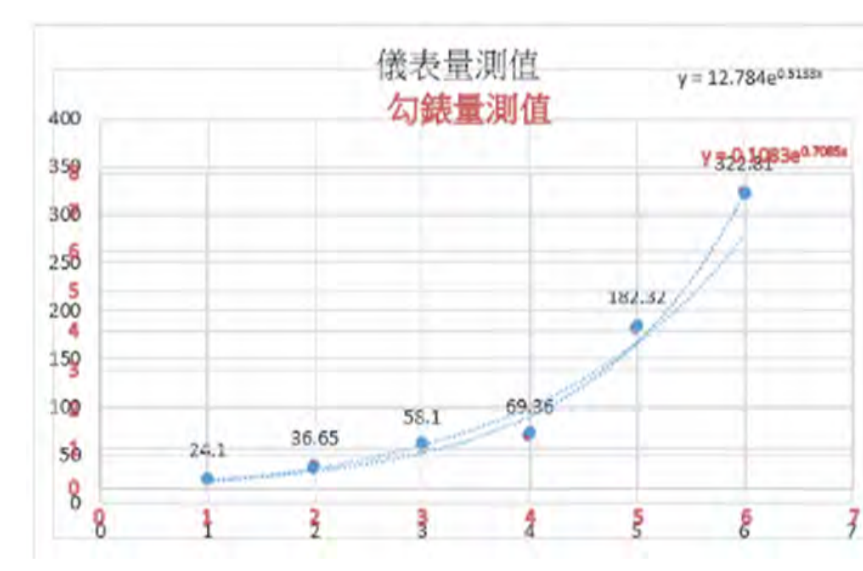


編號	名稱	mT
1	馬蹄鐵(鐵磁體)	24.1
2	長方塊(鐵磁體)	36.65
3	圓環塊(鐵磁體)	58.1
4	正方體(鐵磁體)	69.36
5	正方體(錳鐵磁)	182.32
6	圓柱體(錳鐵磁)	322.81

#### (三)五種模式量測

名稱	靠近	離開	碰撞	穿越	擺盪
馬蹄鐵(鐵磁體)	0.05	0.08	0.14	0.15	0.20
長方塊(鐵磁體)	0.17	0.28	0.3	0.4	0.47
圓環塊(鐵磁體)	0.32	0.47	0.65	0.68	1.15
正方體(鐵磁體)	0.66	1.33	1.41	1.76	1.41
長方塊(錳鐵磁)	1.07	2.48	2.82	3.59	4.10
圓柱體(錳鐵磁)	2.12	4.06	5.48	6.06	7.46

#### (四)比對校正



#### (五)第一代高斯計

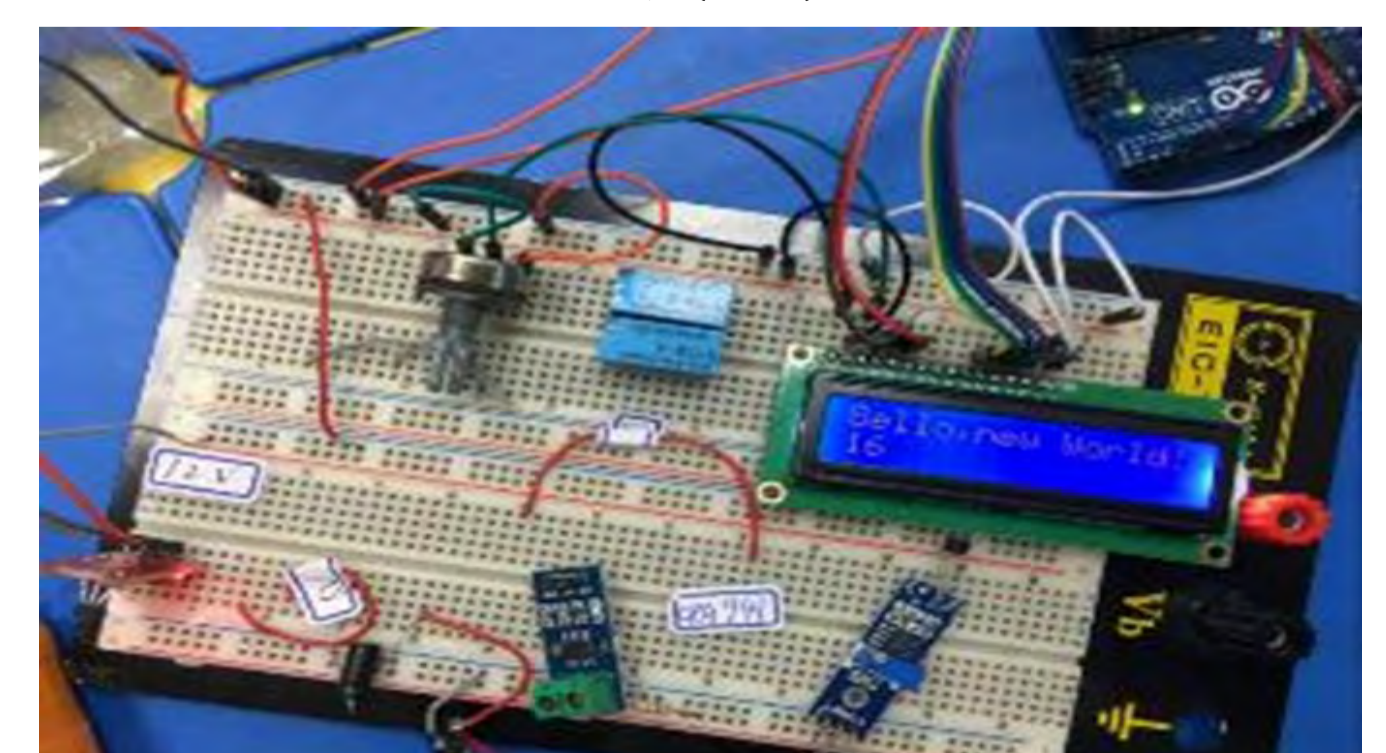


### 實驗二：以霍爾元件自製高斯計進行實驗量測(延續性研究起點)

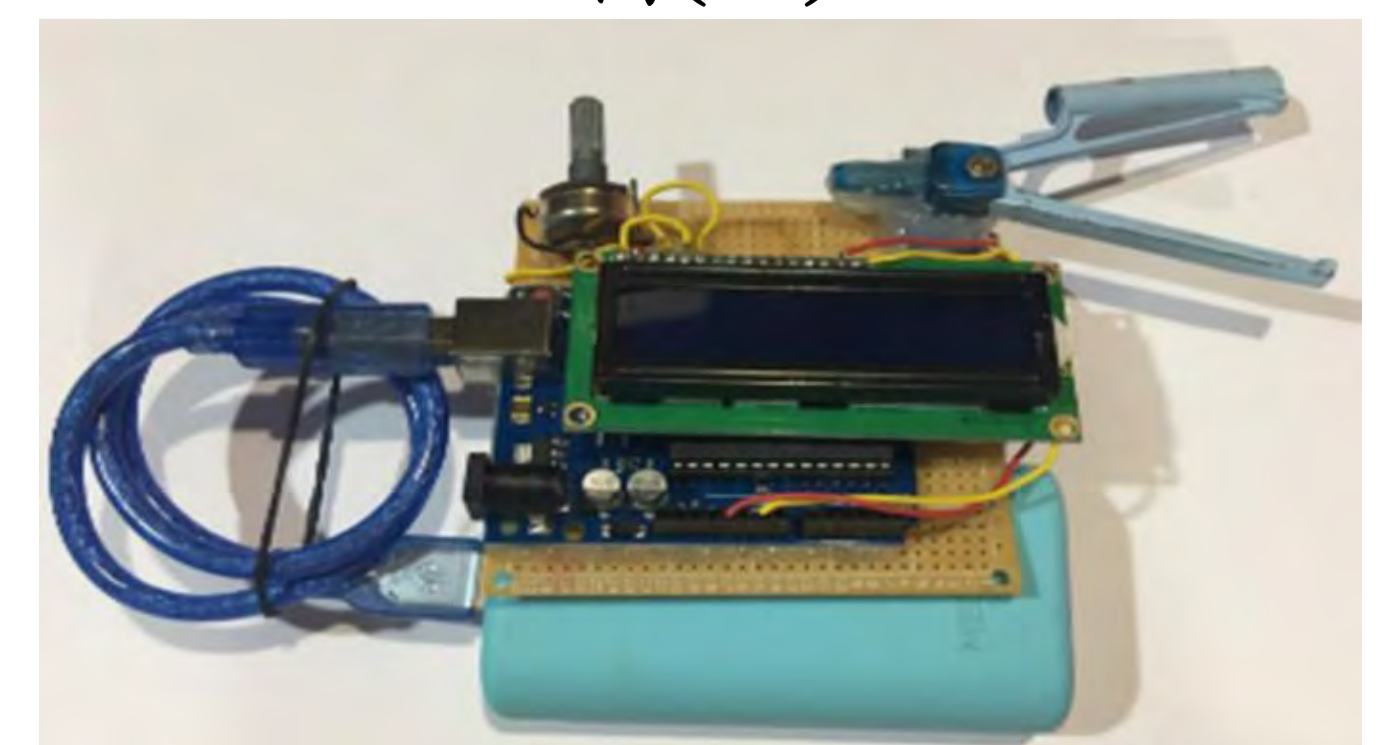
第一代自製高斯計的數據是以擺盪來進行量測，容易產生人為誤差，所以實驗時必須先進行大量的量測數據後，加以數據整理分析才能得到正確穩定的量測結果。

改使用ARDUINO控制器結合霍爾元件感測器來進行研究，將實驗數據結果呈現在液晶顯示器上，如圖(一)為研究實驗圖。我們總共選購了三種霍爾元件感測器，由左至右分別有紅色、綠色、藍色的區塊，綠色霍爾元件感測器的零磁場電壓為2.49V，電壓會依六種磁鐵的磁場強度不同而變化，S極的電壓從2.49V上升到4.67V，N極的電壓從2.49V下降到0.33V，紀錄的數值如右上表(一)並繪製成磁場強度曲線圖如右上圖(三)。完成第二代自製高斯計如下圖(二)，右上角的夾具為圓規所製成，藍色的握把為行動電源。

圖(一)



圖(二)

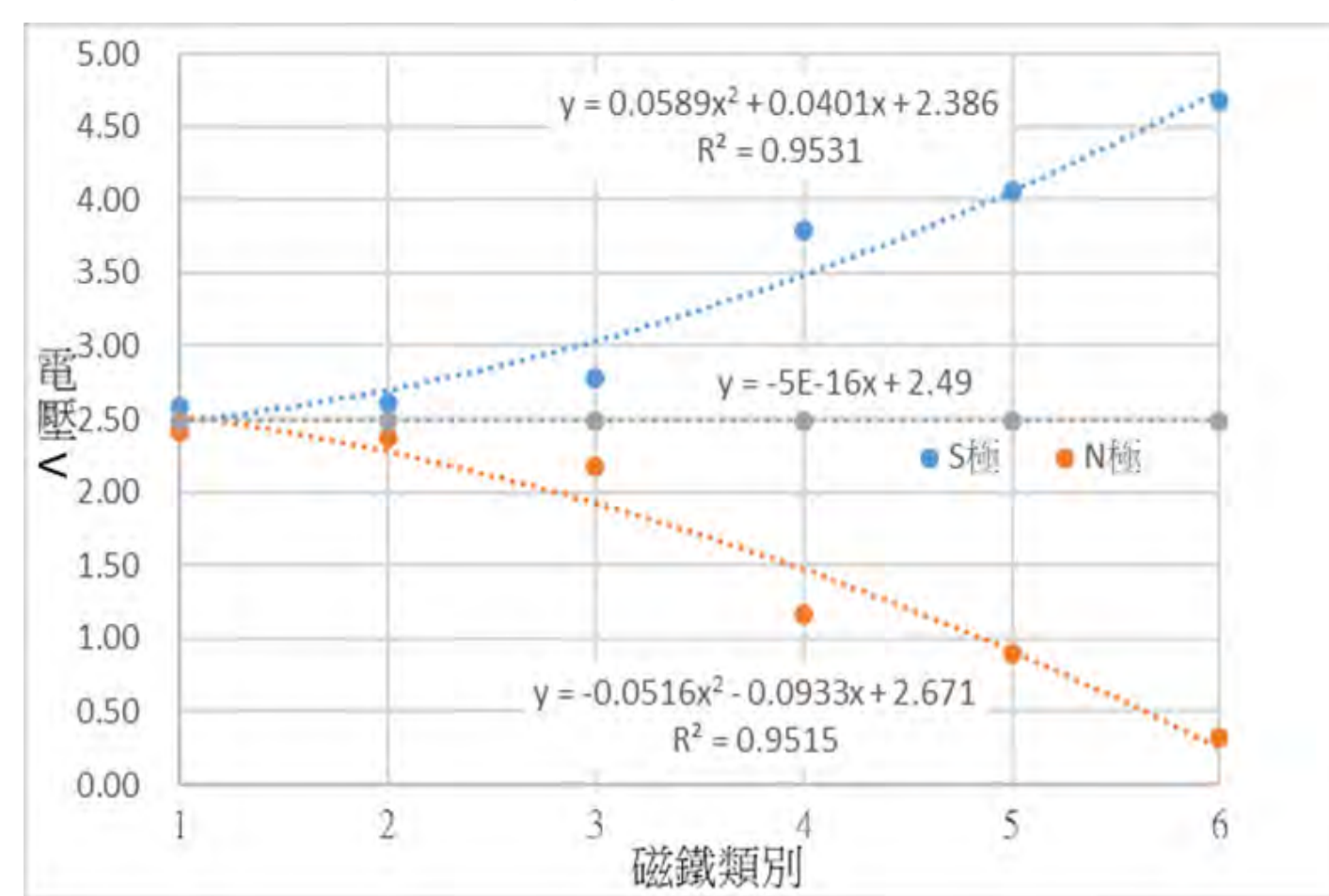




表(一)

磁鐵編號	S極	無磁場電壓 2.49V		N極
		差異值	差異值	
1	2.58	0.09	0.07	2.42
2	2.62	0.13	0.11	2.38
3	2.78	0.29	0.31	2.18
4	3.80	1.31	1.33	1.16
5	4.06	1.57	1.59	0.90
6	4.68	2.18	2.16	0.33

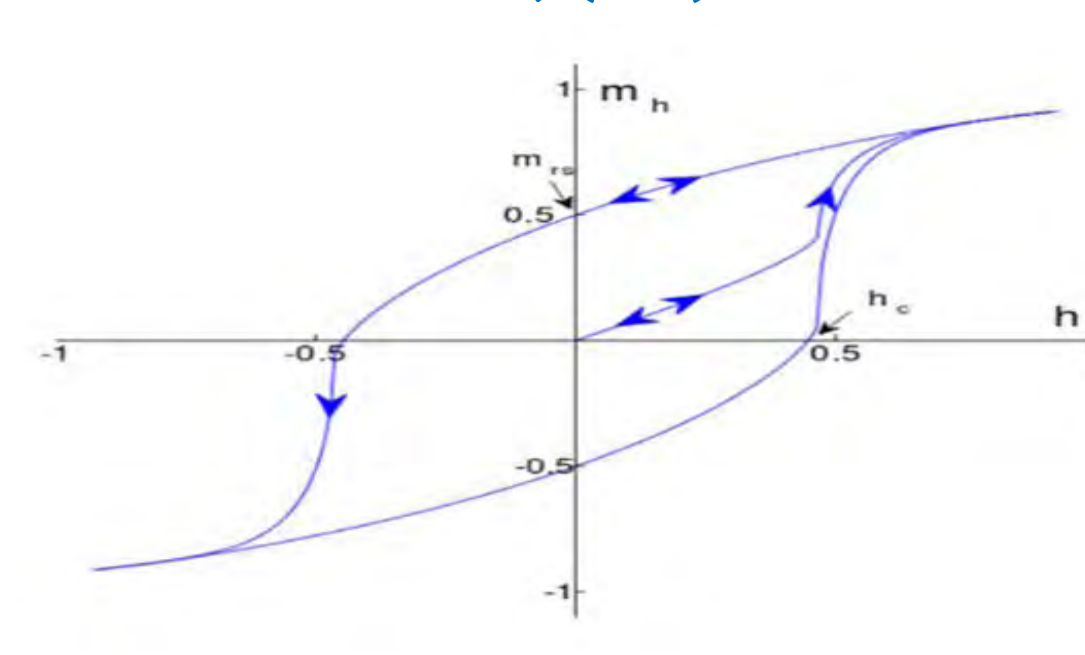
圖(三)



表(二)

S極			N極		
編號	電壓 V	磁場強度 mT	編號	電壓 V	磁場強度 mT
1	2.58	24.1	1	2.42	24.1
2	2.62	36.65	2	2.38	36.65
3	2.78	58.1	3	2.18	58.1
4	3.8	69.36	4	1.16	69.36
5	4.06	182.32	5	0.9	182.32
6	4.68	322.81	6	0.33	322.81

圖(四)



實驗三：以ARDUINO及LCD進行高斯計數值轉換顯示程式撰寫

將六種磁鐵以第二代自製高斯計Arduino模組量測的原始電壓、磁場級性與磁場強度值紀錄在表二中，如圖六將S極與N極繪製成曲線圖。要從曲線圖中取得趨勢線的方程式，作為Arduino程式撰寫電壓轉換磁場強度的方程式，必須考量如圖四的磁場磁滯現象，圖中的核心升磁曲線為指數函數曲線，故以指數函數的趨勢線作為方程式，如圖七為ARDUINO控制結合LCD的程式撰寫，圖八為實際顯示情形。

圖(七)

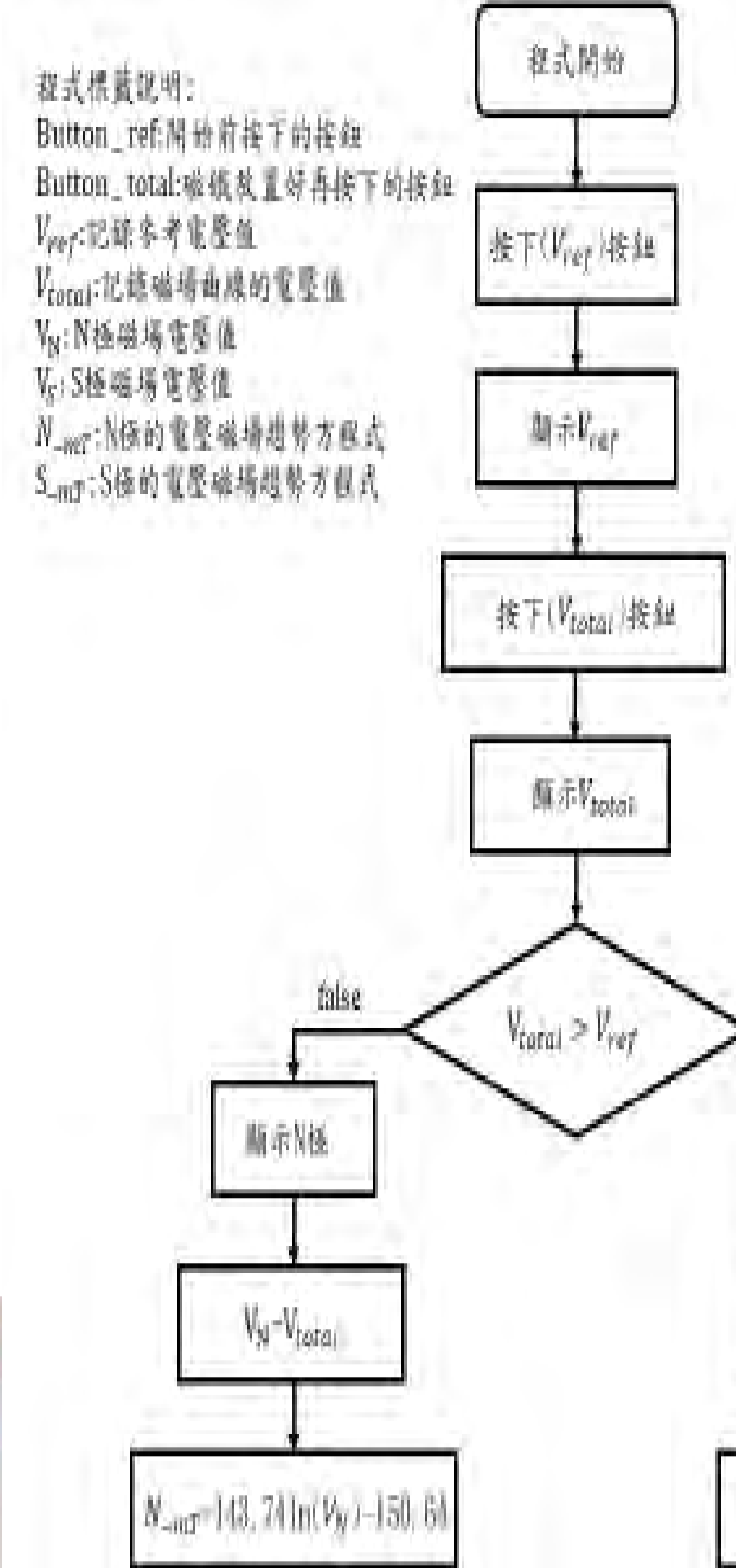
```

// Include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>
double Voltage = 0;
double Current = 0;
float polarityS = 0;
float polarityN = 0;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2); // I2C 腳位
void setup() {
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(9600);
  // Print a message to the LCD.
}
void loop() {
  for(int i = 0; i < 1000; i++) {
    Voltage = (Voltage * 0.9999 + analogRead(A0)) / 1000; // 電壓感測器電壓換算
    delay(1);
    Voltage = Voltage / 1000;
    Current = (Voltage - 2.5) / 0.185; // 電流感測器電流換算
    Serial.print("Voltage Sensed (V) = "); // 監視電壓顯示
    Voltage Sensed;
    Serial.print(Voltage, 2); // the '2' after voltage allows you to
    // display 2 digits after decimal point
    Serial.print("Current (A) = "); // 監視電流顯示 Current
    Serial.print(Current, 2); // the '2' after current allows you to
    // display 2 digits after decimal point
    delay(100); // 穩定判斷以數值帶入換算
    if (Voltage > 2.49) // 數值判斷
    {
      polarityN = 28.905 * exp(1.0429 * Voltage); // N 極指數函數(mT)
      delay(100);
    }
    else
    {
      polarityS = 2.1698 * exp(1.0439 * Voltage); // S 極指數函數(mT)
      delay(100);
    }
    lcd.setCursor(0, 0); // 電壓顯示
    lcd.print(Voltage);
    lcd.print("V");
    lcd.print(" ");
    Serial.print("V:");
    Serial.println(Voltage); // 電壓判斷
  }
}
    
```

圖(八)



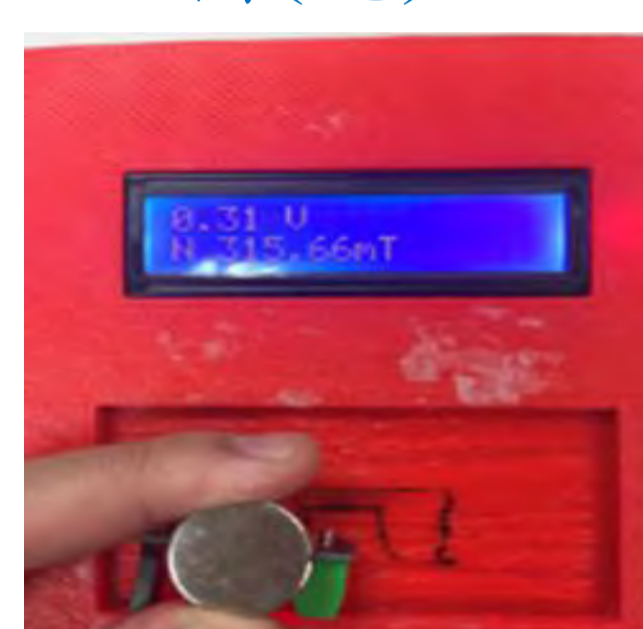
圖(五)



圖(六)



圖(九)



第二代自製高斯計Arduino模組量測第6種磁鐵(圓柱體)的原始電壓、磁場級性與強度值如圖七所示

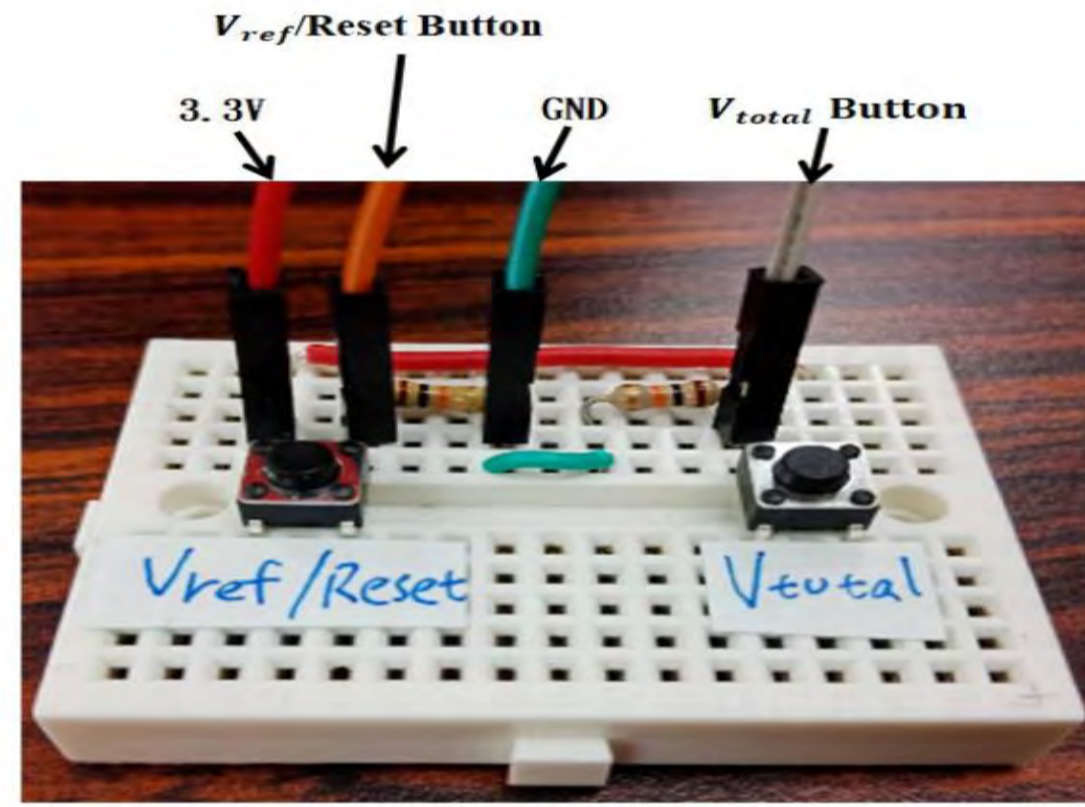
，磁場強度為315.51mT，查表二以專業高斯計量測的數值為322.81mT，其差異量為7.3mT，計算得知誤差比為2.61%。使用3D列印套裝軟體為裸露的電路板設計了一個外殼，列印完組裝的樣貌如圖九所示，為第三代自製高斯計成品圖。圖十增設6種磁鐵的量測治具，明顯改善了量測的位置誤差。第三代自製

高斯計的基準電位為2.5V，在實際使用的時候發現電位會些微以0.05V的差距偏移，因此會產生大約30mT的誤差量。據此我們如圖十的左側加裝了兩顆按鈕，操作流程如圖五，在量測前按下第一顆按鈕，記錄當下的基準電位，放置磁場後再按第二顆按鈕，開始校正磁場強度值，成功降低因為基準電位產生的偏移誤差。如此增設研究後，讓第三代自製高斯計更加健全穩定且準確。磁場校正按鈕的內部電路如圖十一，局部程式碼如圖十二。

圖(十)



圖(十一)



圖(十二)

```

double Voltage = 0; //參考電壓值
double Vref; // (參考+磁場)電壓值
double Current = 0;
float polarityN = 0;
float polarityS = 0;
//float Vn; // (Vtotal-Vref)的絕對值
//float Vs; // (Vtotal-Vref)的絕對值
boolean previousStateRef; // 先前的參考按鈕狀態
boolean laterStateRef; // 後來的參考按鈕狀態
boolean ButtonStateRef; // 穩定後的參考按鈕狀態
boolean previousStateTotal; // 先前的總和按鈕狀態
boolean laterStateTotal; // 後來的總和按鈕狀態
boolean ButtonStateTotal; // 穩定後的總和按鈕狀態
void loop(){
  previousStateRef = (digitalRead(button_Ref)); //讀取先前的參考電壓狀態
  delay(5); // 間隔 5 毫秒後在讀取後來的參考電壓狀態
  laterStateRef = (digitalRead(button_Ref)); //讀取後來的參考電壓狀態
  if (laterStateRef != previousStateRef) {
    ButtonStateRef = laterStateRef; // 判斷參考按鈕狀態
    if (ButtonStateRef == HIGH) { // 參考按鈕已按下
    }
    }
}
    
```

實驗四：研究強力磁鐵與自製電磁閥的磁力實驗量測

為了更加了解磁力的延伸應用，進行電磁鐵與電磁閥的應用實驗，如圖十四所示分別為電磁鐵、電磁閥。從網路上訂購強力磁鐵與電磁閥開關，將其拆解後分別將線徑由粗到細代號17、23、27、35、42，繞製取代原有的線圈，分別進行吸附80g的最小驅動電壓與定電壓10V的吸附力的實驗，如表三所示，代號23與27的電壓較易取得，且吸附力也較高。進一步使用介於23與27之間的代號25線圈，其線徑為.04mm，繞製取代原有的線圈來進行實驗。使用大小彈珠及自製秤重台，計重如圖十五所示，大彈珠21公克，小彈珠5.5公克，自製秤重台39公克。實驗量測磁吸附力以吸附自製秤重台並乘載大小彈珠而鐵心不掉落的最大值來計算，紀錄的結果如表四所示。自製而成的電磁閥如圖十六與實驗的實況。

以第三代自製高斯計進行量測磁場強度值，紀錄數值如表五所示，再將其製作成曲線圖如圖十七所示，可以觀察出磁吸附力與磁場強度的關係，具有正比的指數函數關係。

表三

線圈(線徑代號)	17	23	27	35	42
吸附 80g 的		X	2.7	4.6	18.0
最小驅動電壓(V)					21.2
10V 下的吸附力(g)	X	68.5	68.5	5.5	64.0

表四

磁吸力(g)	142.5	178.5	593.5	X
磁場強度值	167.3251	226.3254	368.4523	

表五

電磁閥電壓(V)	3V	5V	9V	12V
線徑編號 25(0.4mm)的吸附力(g)	142.5	178.5	593.5	X

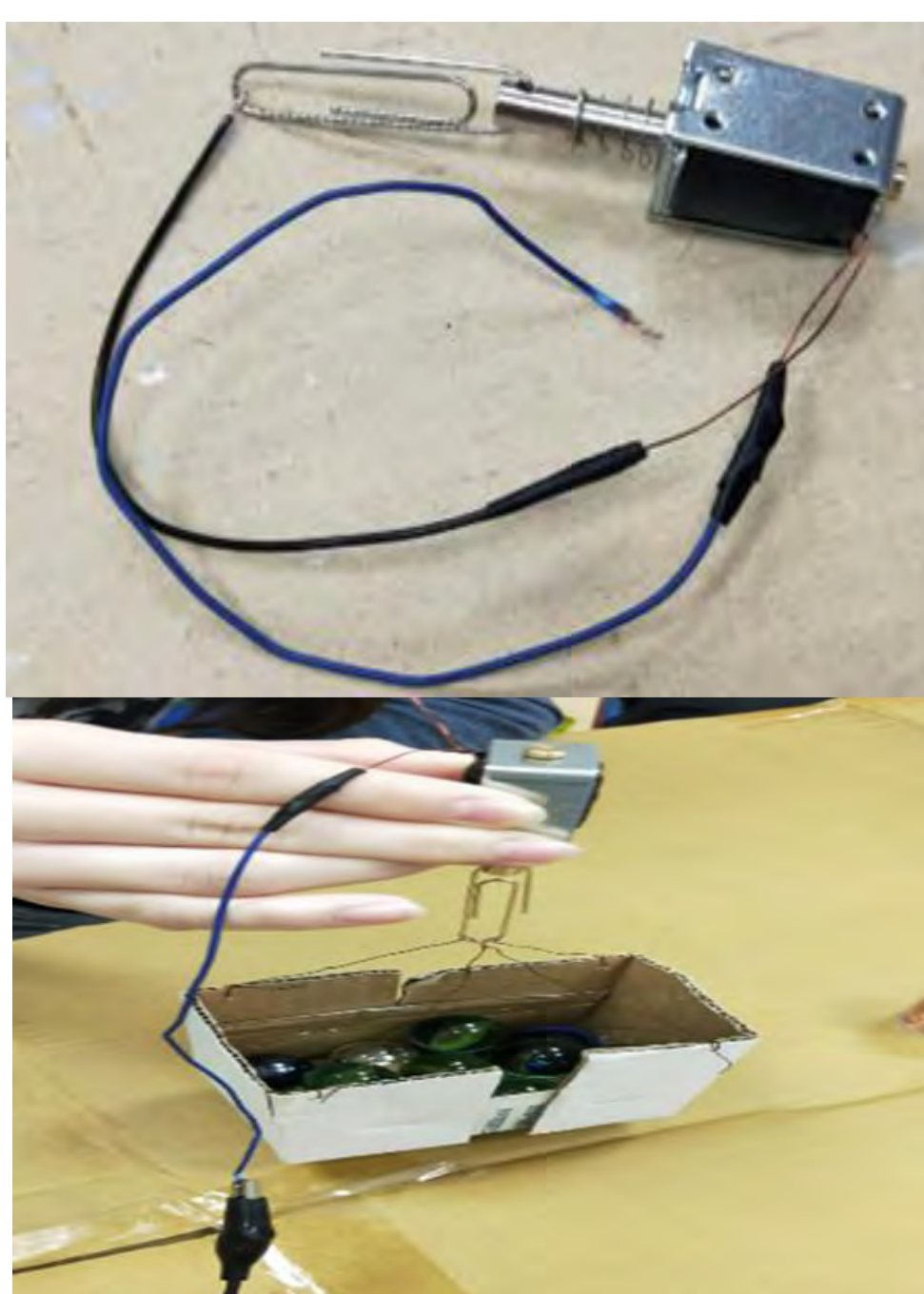
圖(十四)



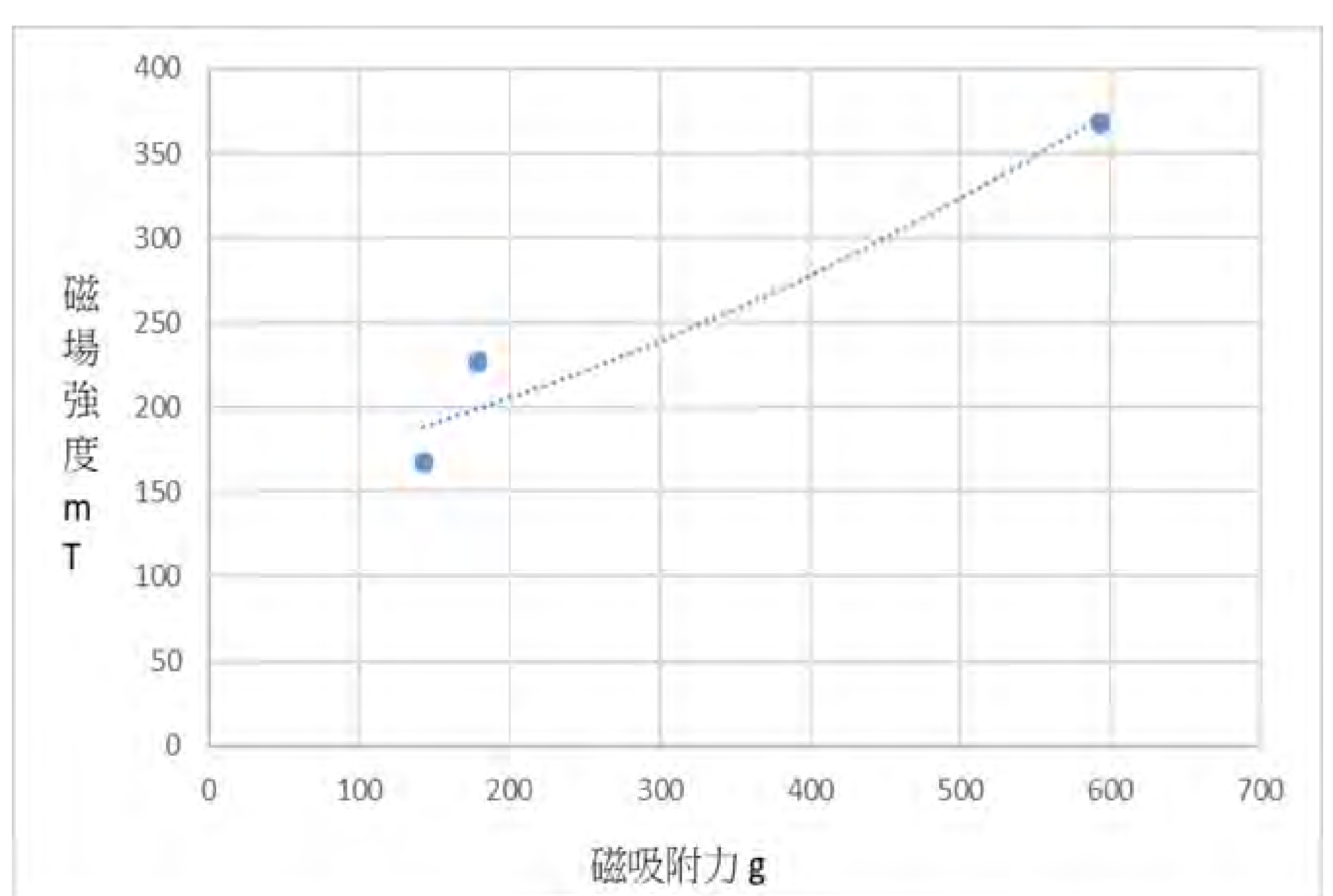
圖(十五)



圖(十六)



(圖十七)





## 實驗五：馬達功率與磁場強度的關係

如圖十九的六種直流馬達，分別功率由小到大編號，1：10W、2：50W、3：30W、4：20W、5：150W、6：300W。直流馬達內部分為定子與轉子，通常定子為磁鐵製成，磁場強度跟馬達功率大小一定存在著相對關係。如圖廿將每一顆馬達拆開，如圖廿一以同一材質連接磁鐵引導出來量測並紀錄表六。依表六繪製馬達功率與磁場強度的關係曲線圖，如圖廿二，可以觀察出馬達功率與磁場強度的關係，具有正比的指數函數關係。

圖(十九)



圖(廿)



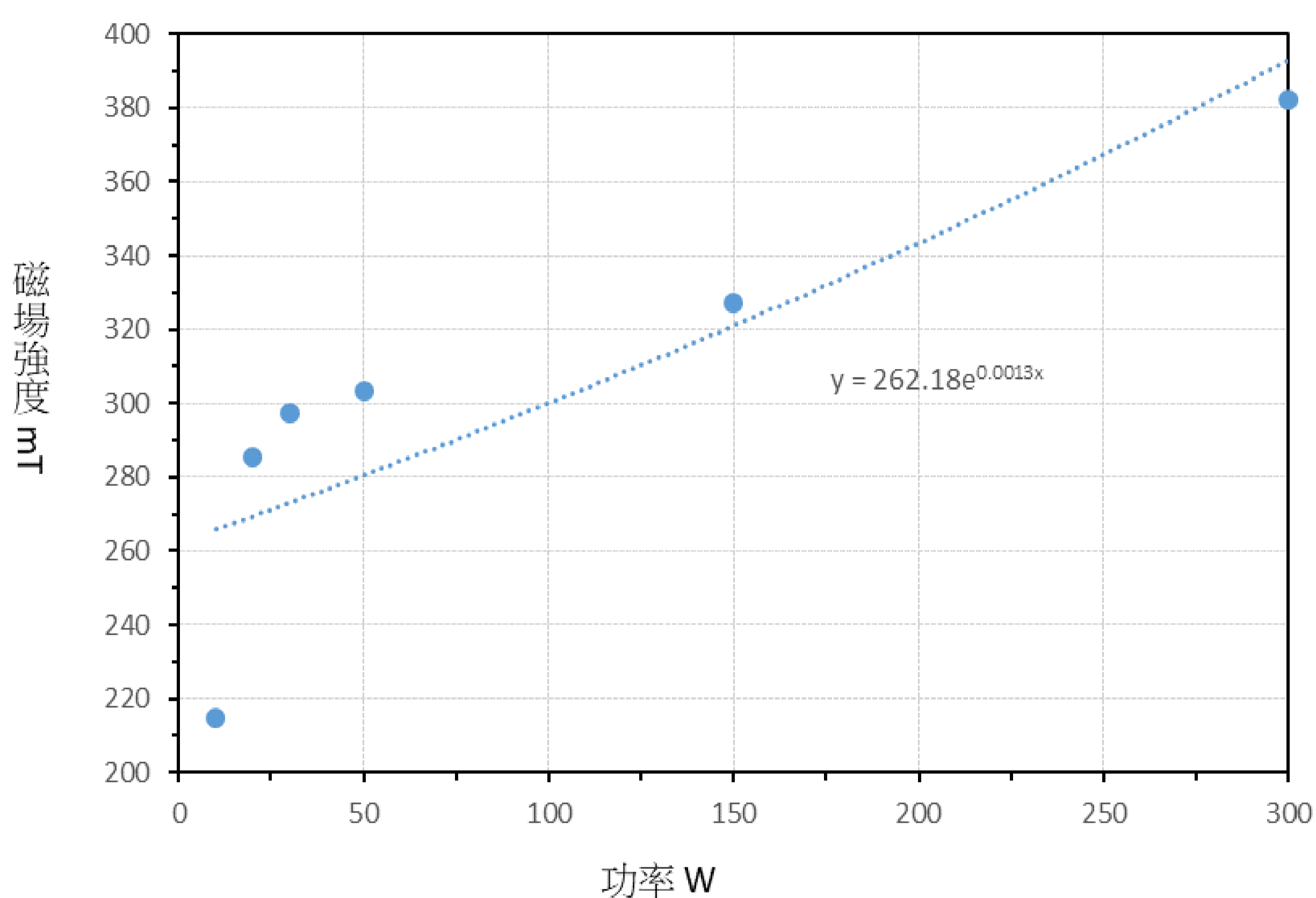
圖(廿一)



表六

編號	1	2	3	4	5	6
功率	10	50	30	20	150	300
磁場強度	214.802	285.4716	297.2921	303.335	327.0961	382.2114

圖(廿二)



## 陸、結果與討論

### 一、實驗一：自製磁強檢測儀的工作

(一)發現對磁場反應最為靈敏的兩個物品，一個是矽鋼片，另一個是霍爾元件。

最後發現改造市售的電流勾表，可以達成對磁場反應敏銳的實驗平台。

(二)借到昂貴專業的儀器-高斯計，發現操作簡單方便、穩定度高，成為研究磁場的標準數據來源。

(三)五種運動模式以擺盪式的運動方式最為靈敏，得到磁場對應電流反應表，建立第一代自製高斯計。

(四)因為磁場運動而感應出的反應電流，與專業高斯計量值進行比對，應證磁場運動與感應電流的對等關係。

二、實驗二：發現不是每一種霍爾感測器都能對磁場有極性之分，ACS712電流感測器模組20A這一款霍爾元件，產生無極性2.49V、S極4.68V、N極0.33V的臨界反應，組成第二代自製高斯計。

三、實驗三：進行高斯計數值轉換顯示程式撰寫，藉由六種磁鐵感應電壓與專業高斯計的六種磁鐵量值，繪製曲線得到函數方程式，撰寫判斷電壓極性轉換成磁場強度並顯示在LCD上，3D列印外殼後完成第三代自製高斯計。

四、實驗四：多種線徑的漆包線來自繞自製，得到供應DC9V產生最大將近600公克的磁吸力，

據此得知磁場強度與磁吸附力的對應關係，也就是多少強度的磁場可以產生多少強度的力量。

五、實驗五：藉由結果可以觀察出磁場強度與馬達功率的對應關係，也就是多少強度的磁場大約是多少功率的馬達。

## 柒、結論及未來展望

### 一、實驗一：自製磁強檢測儀的前置研究

(一)以具有矽鋼片的市售電流勾表製作出對磁場反應敏稅的平台。

(二)以專業高斯計量測出實驗用的六種磁鐵磁場數值，建立對照標準值。

(三)以擺盪式矽鋼片電流勾表製作出可以量測六種樣品的第一代自製高斯計。

(四)校正比對成功修正出與專業高斯計相近的六種樣品磁場數值曲線的趨勢。

二、實驗二：從多種霍爾元件中找到量測極性的感測器，結合ARDUINO及LCD製作成第二代自製高斯計。

三、實驗三：撰寫出依據電壓判斷磁場極性的程式，再以特性曲線方程式轉換出磁場強度數值

，並由LCD顯示出來。列印外殼產出第三代自製高斯計。並增加量測治具與校正按鈕。

四、實驗四：自製強力電磁閥在常見直流電壓9V下，產出近600公克的磁吸力。

磁場強度與磁吸附力呈現正比的指數函數關係。

五、實驗五：磁場強度與馬達功率呈現正比的指數函數關係。

## 捌、參考文獻及其他

[1]KANETEC TM-801 高斯計產品介紹。

[2] 磁場介紹，維基百科。

[3] 磁鐵相關知識，磁鐵達人的世界。

[4] 變壓器原理，維基百科。

[5] 霍爾效應原理，維基百科。

[6] 法拉第定律，維基百科。

[7] 電磁波測試計，泰仕電子公司。

[8] 107年獨立研究，自然與生活科技 「磁」來的消息-靜磁場檢測的研究。

[9] ARDUINO線上程式實作。

[10] 如何自製高斯計。