

# 屏東縣第 61 屆國中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名稱：「磁」之有故－海爾貝克陣列探究

關 鍵 詞：海爾貝克陣列、霍爾效應、磁場

編號：B2026

## 摘要

我們一開始用 arduino 板與線性霍爾感測模組開發測量磁場大小工具，由於靈敏度問題故磁場強度測量未成功，但該工具仍可用來辨識強力磁鐵的 N、S 極位置。

接著改利用手機中的 APP (PhyPhox) 之磁力計進行測量磁場。對於強力磁鐵排成直線狀與環狀進行初步測量觀察。

後續我們打算在原先我們開發的 arduino 工具基礎上，把感測模組換成「各異向性磁阻 (AMR) 地磁感測器」再進行更多磁鐵排列的磁場測量研究，並學習使用繪圖軟體將數據畫成磁力線。

## 壹、研究動機

我們在 YouTube 上看到科普影片對於海爾貝克陣列的介紹，覺得很有趣，強力磁鐵做不同方式的排列，磁場居然會呈現不對稱的樣貌，與課本的常見磁鐵之對稱分布大不相同；同時也對於如何測量磁場有所疑問，於是就請教老師，展開這次的研究。

## 貳、研究目的

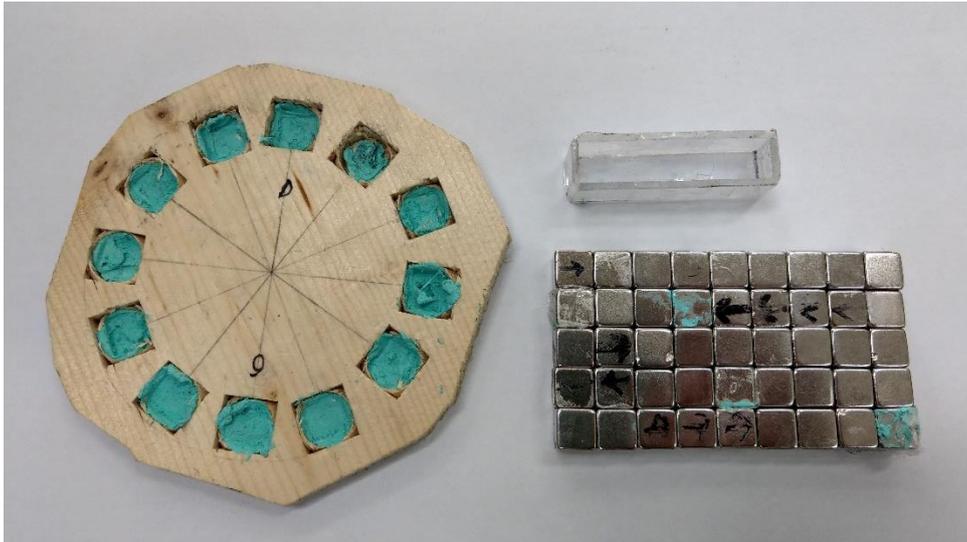
- 一、開發磁場測量工具。
- 二、進行強力磁鐵排列成長條狀與環狀的初步測量。
- 三、將磁場測量數據繪製成磁力線。

## 參、研究設備與器材

### 一、器材

1CM 立方體強力磁鐵、Arduino UNO R3 電路板、線性霍爾感測模組、HC-SR04 超音波測距模組、筆電、手機、放置磁鐵圓盤、放置磁鐵小壓克力盒



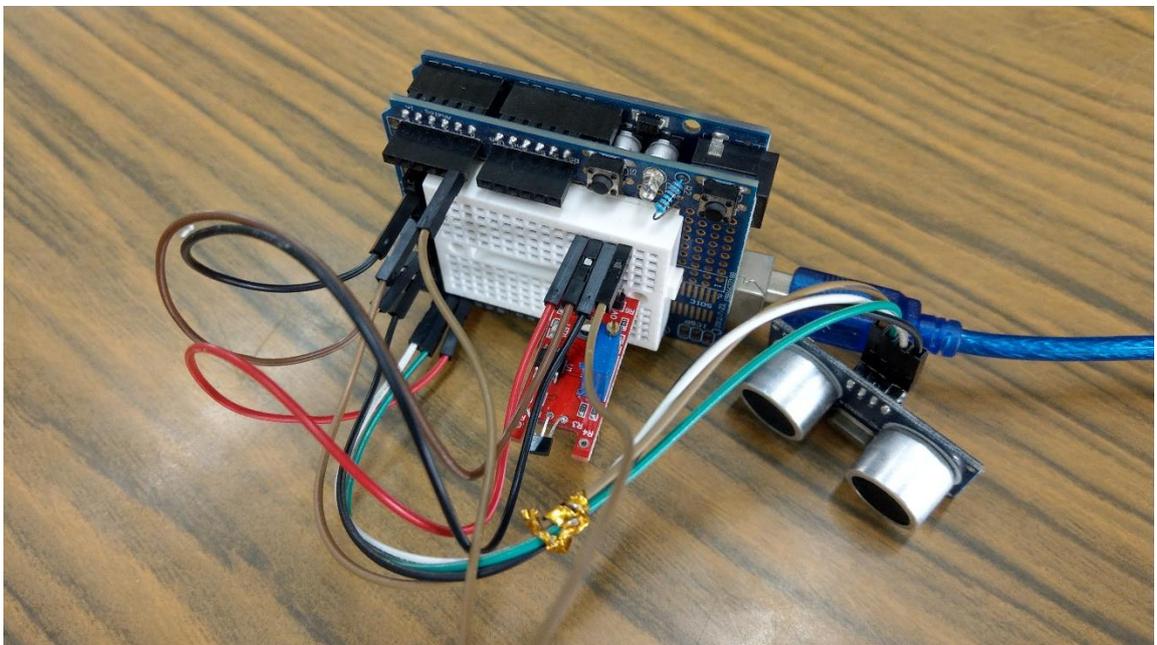


二、分析使用軟體：PLX-DAQ、EXCEL、APP(PhyPhox)

#### 肆、 實驗設計

一、開發測量工具：

將 Arduino UNO R3 電路板、線性霍爾感測模組、HC-SR04 超音波測距模組連接如下圖，超音波測距模組是用來測量磁鐵與感測器距離的。



Arduino 電路板讀取數據的程式碼編寫如下：

```

/*
  HC-SR04 Ping distance sensor]
  VCC to arduino 5v GND to arduino GND
  Echo to Arduino pin 3 Trig to Arduino pin 2
*/
#define trigPin 2
#define echoPin 3
#define ANALOG A0
#define DIGITAL 4

#define intervaltime 500           //間隔幾毫秒進行下一次測量
int analog, digital;
float duration,distance,Temperature;

void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  pinMode(ANALOG, INPUT);
  pinMode(DIGITAL, INPUT);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  Serial.print("LABEL,Time(s),X(cm),duration(us),analog,digital");
}

void loop()
{
  analog = analogRead(ANALOG);
  digital = digitalRead(DIGITAL);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);//取得接收時間(微秒)
  distance = (duration) * (331+0.6*25)/20000;//算出距離(CM)
  unsigned long time=millis();
  Serial.print("DATA");//傳送數據至 excel 試算軟體
  Serial.print(",");
  Serial.print(time);
  Serial.print(",");
  Serial.print(distance);
}

```

```

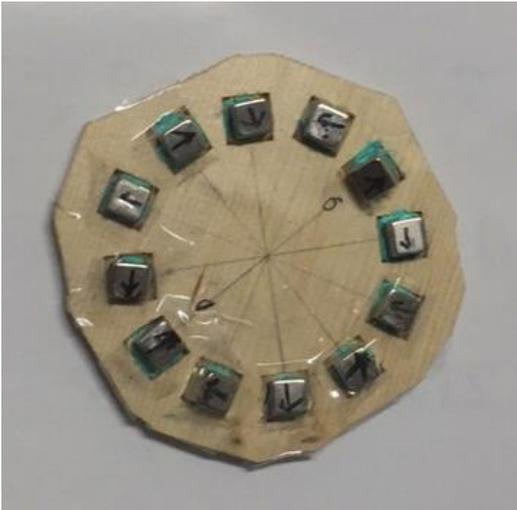
Serial.print(",");
Serial.print(duration);
Serial.print(",");
Serial.print(analog);
Serial.print(",");
Serial.println(digital);
delay(intervaltime);//間隔幾毫秒進行下一次測量
}

```

數據即時匯入 EXCEL 試算軟體，是藉由 PLX-DAQ 這個免費軟體來達成。安裝完畢後，利用它所提供的巨集程式，在 excel 試算表中，控制資料匯入。

二、進行強力磁鐵排列成長條狀與環狀的初步測量：

1. 將五顆強力磁鐵排列成  進行周邊磁場測量。
2. 將五顆強力磁鐵排列成  進行周邊磁場測量。
3. 將五顆強力磁鐵排列成  進行周邊磁場測量。
4. 將 12 顆強力磁鐵依照下圖排列方式安置於自製的固定裝置上進行周邊磁場測量。



5. 將 12 顆強力磁鐵全部反向安置於自製的固定裝置上進行周邊磁場測量。

三、將磁場測量數據繪製成磁力線。

## 伍、 研究過程與結果

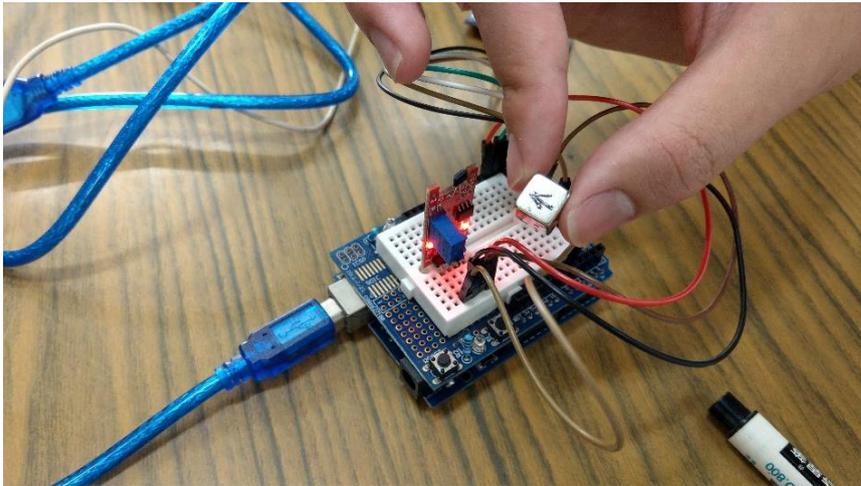
### 一、開發測量工具：

由於線性霍爾感測靈敏度問題，當強力磁鐵擺放遠近位置不同，讀到的類比數值僅有微小變化，故磁場強度測量未成功，但：

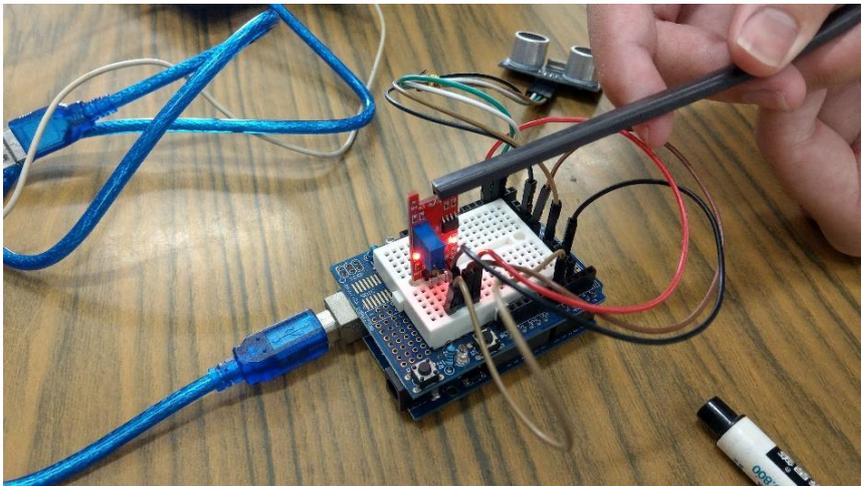
1.磁鐵 N 極靠近晶片背面或 S 極靠近晶片正面，類比輸入讀取數值約為 823，數位輸入讀取值為 1，指示燈亮起。

所以我們所設計的工具仍可用來辨識強力磁鐵的 N、S 極位置。

【N 極靠近晶片背面】強力磁鐵距離較遠即有感應

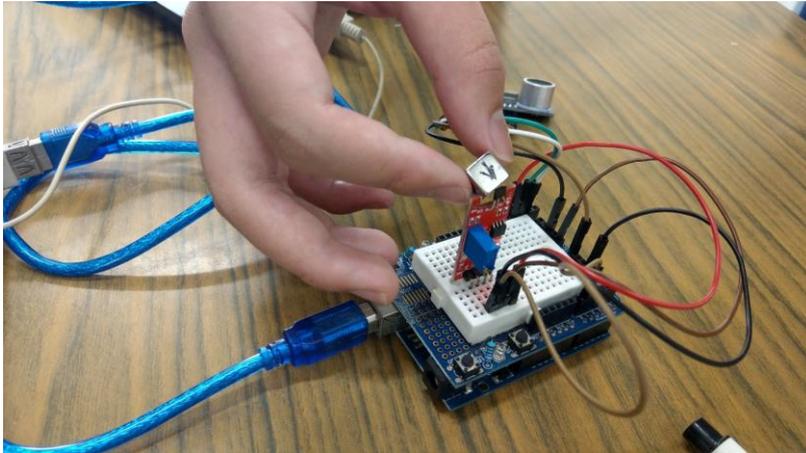


【N 極靠近晶片背面】此種磁鐵為弱磁性，所以必須靠很近

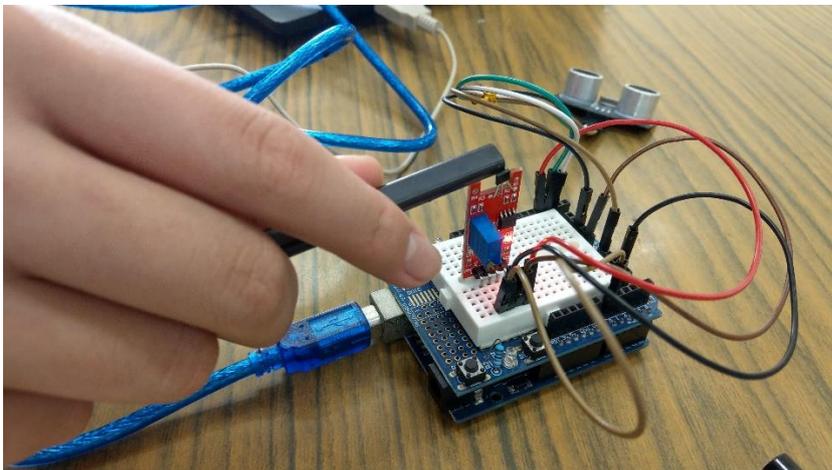


2.磁鐵 N 極靠近晶片正面或 S 極靠近晶片背面，類比輸入讀取數值約為 29，數位輸入讀取值為 0，指示燈不亮。

【N 極靠近晶片正面】強力磁鐵離再近指示燈也不亮

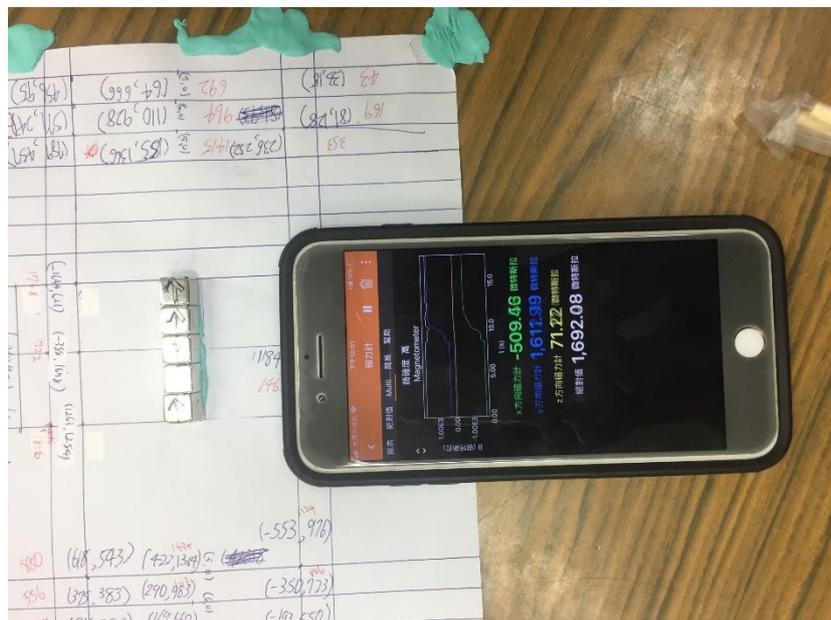


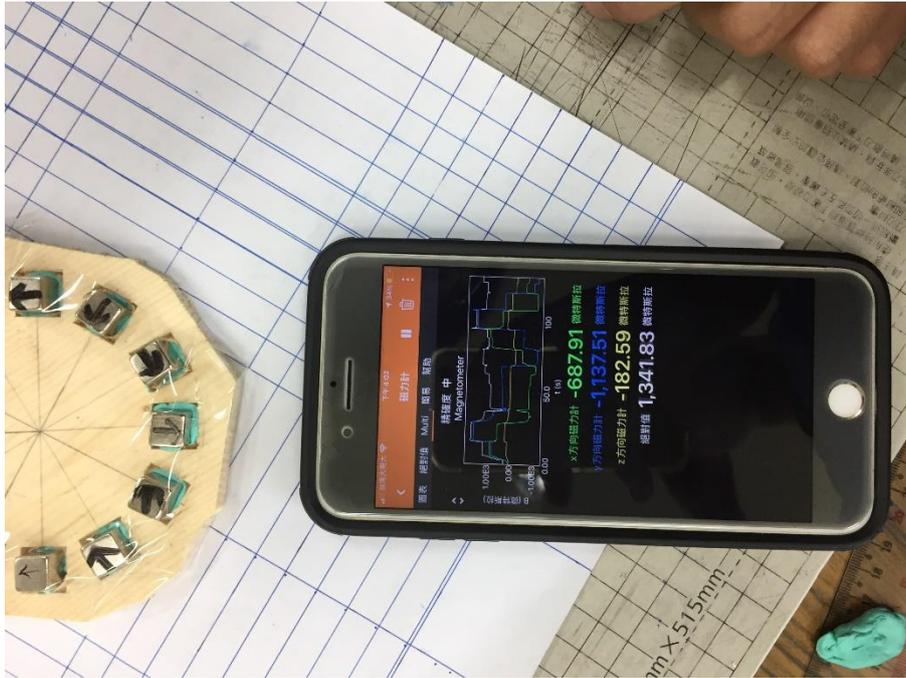
【N 極靠近晶片正面】



二、進行強力磁鐵排列成長條狀與環狀的初步測量：

使用手機的磁力計與 APP(PhyPhox)進行測量，每個測點均有拍照，如下照片示意





實驗數據如下

1. 將五顆強力磁鐵排列成  進行周邊磁場測量。

單位：微特斯拉

【結果】磁場約略呈現對稱分布，與一般長條形磁鐵相同

X 座標	Y 座標	X 軸磁場	Y 軸磁場	兩軸磁場合併計算讀數
X	Y	BX	BY	BX+BY
2.5	4.5	1611	-509	1692
2.5	5.5	874	-351	942
0	4.5	356	-1748	1784
0	5.5	148	-1047	1058
-2.5	4.5	-1361	-1186	1808
-2.5	5.5	-760	-758	1076
2.5	-4.5	1263	1284	1816
2.5	-5.5	836	750	1137
0	-4.5	-388	1678	1722
0	-5.5	-230	904	933
-2.5	-4.5	-1644	621	1768
-2.5	-5.5	-906	344	975
7.5	0	422	1364	1435
8.5	0	290	983	1030
9.5	0	169	660	680
7.5	3.5	-553	976	1124

8.5	3.5	-350	723	806
9.5	3.5	-193	550	584
7.5	-3.5	618	543	850
8.5	-3.5	375	383	556
9.5	-3.5	316	352	489
-7.5	0	185	1366	1415
-8.5	0	110	928	964
-9.5	0	64	666	692
-7.5	3.5	236	252	353
8.5	3.5	81	128	169
-9.5	3.5	33	18	43
-7.5	-3.5	789	457	921
-8.5	-3.5	577	246	632
-9.5	-3.5	456	95	467

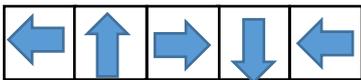
2. 將五顆強力磁鐵排列成  進行周邊磁場測量。

單位：微特斯拉

【結果】磁場約略呈現對稱分布，但比 1.部分弱很多

X 座標	Y 座標	X 軸磁場	Y 軸磁場	兩軸磁場合併計算讀數
X	Y	Bx	By	Bx+By
5.5	0	517	-212	561
6.5	0	315	-135	344
7.5	0	207	-93	227
8.5	0	-142	30	146
9.5	0	99	-54	113
5.5	3.5	34	-537	538
6.5	3.5	63	-590	552
7.5	3.5	-82	-182	200
8.5	3.5	-77	-105	132
9.5	3.5	-67	-59	92
5.5	-3.5	106	401	415
6.5	-3.5	10	259	260
7.5	-3.5	-29	185	188
8.5	-3.5	-42	135	142
9.5	-3.5	-45	112	121
-5.5	0	517	-212	561
-6.5	0	315	-135	344
-7.5	0	207	-93	227

-8.5	0	135	-69	152
-9.5	0	99	-54	113
-5.5	3.5	-94	-341	354
-6.5	3.5	-27	-245	247
-7.5	3.5	0	-184	184
-8.5	3.5	16	-141	142
-9.5	3.5	24	-110	113
-5.5	-3.5	33	486	489
-6.5	-3.5	90	251	267
-7.5	-3.5	89	144	170
-8.5	-3.5	77	78	110
-9.5	-3.5	64	40	76
0	4.5	-599	-5	599
0	5.5	-446	-19	446
2.5	4.5	-587	-257	641
2.5	5.5	-390	-153	419
-2.5	4.5	-617	89	617
-2.5	5.5	-419	82	427
0	-4.5	589	-14	592
0	-5.5	421	-5	423
2.5	-4.5	598	-105	600
2.5	-5.5	349	-10	364
-2.5	-4.5	579	231	626
-2.5	-5.5	375	144	403

3. 將五顆強力磁鐵排列成  進行周邊磁場測量。

單位：微特斯拉

【結果】磁場上下方呈現不對稱分布，下方磁場較強，左右約略對稱

X 座標	Y 座標	X 軸磁場	Y 軸磁場	兩軸磁場合併計算讀數
X	Y	Bx	By	Bx+By
-6.5	0	-47	-928	934
-7.5	0	-14	-486	488
-8.5	0	-9	-339	341
-9.5	0	-3	-232	234
-6.5	3.5	-312	-279	420
-7.5	3.5	-192	-247	317
-8.5	3.5	-123	-193	230

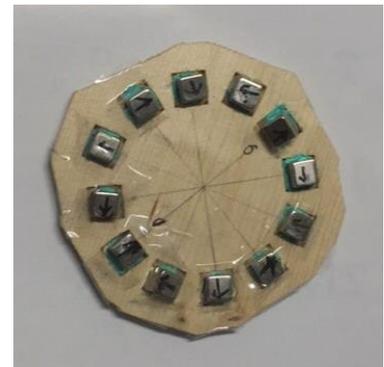
-9.5	3.5	-85	-161	183
-6.5	-3.5	387	-197	436
-7.5	-3.5	204	-186	277
-8.5	-3.5	129	-172	216
-9.5	-3.5	86	-141	166
6.5	0	348	812	887
7.5	0	139	479	500
8.5	0	99	296	313
9.5	0	60	210	218
6.5	3.5	-359	545	655
7.5	3.5	-185	373	418
8.5	3.5	-100	254	274
9.5	3.5	-62	189	199
6.5	-3.5	271	79	282
7.5	-3.5	162	99	190
8.5	3.5	126	108	165
9.5	-3.5	81	94	124
0	3.5	92	-690	699
2.5	3.5	845	-209	929
-2.5	3.5	-580	-600	836
0	4.5	42	-405	408
2.5	4.5	404	-209	457
-2.5	4.5	-336	-329	471
0	5.5	23	-277	278
2.5	5.5	272	-137	305
-2.5	5.5	-251	-203	324
0	6.5	28	-152	155
2.5	6.5	159	-84	180
-2.5	6.5	-128	-133	185
0	7.5	23	-96	99
2.5	7.5	98	-47	109
-2.5	7.5	-85	81	118
0	8.5	3	-57	58
2.5	8.5	59	-30	67
-2.5	8.5	-59	-46	76
0	-3.5	1299	-1363	1896
2.5	-3.5	-1578	3	1583
-2.5	-3.5	571	961	1124
0	-4.5	391	-462	609

2.5	-4.5	-434	-66	440
-2.5	-4.5	344	379	514
0	-5.5	155	-155	221
2.5	-5.5	-157	-80	176
-2.5	-5.5	159	126	204
0	-6.5	72	-93	119
2.5	-6.5	-74	-35	82
-2.5	-6.5	75	60	97
0	-7.5	31	-47	57
2.5	-7.5	-21	-32	38
-2.5	-7.5	35	5	36
0	-8.5	15	-30	34
2.5	-8.5	-6	-21	22
-2.5	-8.5	15	-8	18

4. 將 12 顆強力磁鐵依照下圖排列方式安置於自製的固定裝置上進行周邊磁場測量。

單位：微特斯拉

【結果】環狀外圍磁場甚弱，中間磁場較強



12 個方向	X 軸磁場	Y 軸磁場	兩軸磁場合併計算讀數
number	Bx	By	Bx+By
1	20	-123	128
2	-143	-210	256
3	-10	35	50
4	-31	65	93
5	-101	115	155
6	57	20	87
7	10	-33	80
8	-4	132	155
9	-33	87	126
10	-80	-30	133
11	26	125	134
12	92	135	164

5. 將 12 顆強力磁鐵全部反向安置於自製的固定裝置上進行周邊磁場測量。  
單位：微特斯拉

【結果】環狀外圍磁場強，中間磁場較弱

12 個方向	X 軸磁場	Y 軸磁場	兩軸磁場合併計算讀數
number	Bx	By	Bx+By
1	572	1604	1717
2	-1078	423	1159
3	-477	-1140	1249
4	954	-553	1107
5	424	1520	1591
6	-1122	320	1167
7	-687	-1137	1341
8	852	-470	976
9	450	1421	1500
10	-979	628	1166
11	-363	-1571	1625
12	1117	-534	1240

- 三、將磁場測量數據繪製成磁力線。

只找到 QuickField 這個軟體有免費版(功能受限)，目前正在研究其使用方法，尚未能完成此部分，仍有待努力。

## 陸、 結論

- 一、線性霍爾感測模組，雖然可測量磁場範圍較大，但由於靈敏度問題，數值的量化效果不好，故使用來作為磁場強度測量效果不佳，但仍可用來辨識磁鐵的 N、S 極位置。
- 二、使用手機搭配 PhyPhox 雖能使用內部磁力計進行測量磁場，但手機體積較大，感測器位於手機內部，不像外部感測用的模組探針位置明顯，所以手機不易準確測量感測器至欲測量之座標距離，且數據輸出較繁瑣。但好處是，只要有微小距離改變，磁場強度也能靈敏的跟著
- 三、後續我們打算在原先我們開發的 arduino 工具基礎上，把感測模組換成和手機一樣的「各異向性磁阻（AMR）地磁感測器」再進行更多磁鐵排列的磁場測量研究，並學習使用繪圖軟體將數據畫成磁力線。
- 四、此外，將測量的磁場強度數據畫成磁力線型態之方法，我們仍在學習中。

## 柒、 問題與討論

- 一、「各異向性磁阻 (AMR) 地磁感測器」由於靈敏度高，並不適合測量較強磁場，所以當我們將手機太靠近強力磁鐵(3 公分內)，感測器會自動停止運作。所幸立即移開，感測器並不會損壞，只要暫停使用 3 至 5 分鐘，感測器便會恢復正常。
- 二、雖然手機輸出的磁場強度是有單位的(微特斯拉)，但當感測器會自動停止運作後，都應該重新校正，因此要多花費不少時間。

## 捌、 參考文獻

- 一、PLX-DAQ : Excel 從 com port 取得資料並即時繪圖  
<http://gorilla0812.blogspot.tw/2013/06/plx-daqexcelcom-port.html>
- 二、磁鐵磁場面面觀  
<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2017/03/2017032315550225.pdf>
- 三、Arduino 教學：線性霍爾磁力感測器  
<https://hackmd.io/@yizhewang/BJU9Tcq9v>
- 四、【Fun 科學】磁鐵禁忌的排列方式(海爾貝克陣列 Halbach Array)  
<https://www.youtube.com/watch?v=pSyG1OwzGjw&t=322s>