

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 物理科

佳作

080114

『題西林壁』新解

—應用鐵磁流體作為磁力線觀測器之研究

學校名稱：臺北市北投區明德國民小學

作者：  小六 胡勛明  小六 柯廷諭  小六 戴 雍  小六 傅穎均  小六 邱德宸	指導老師：  吳柏菱  郭弘富
---	-----------------------------

關鍵詞：鐵磁流體、磁鐵、磁力線

## 摘 要

本研究主要是利用鐵磁流體作為顯現磁力線的工具，希望能對各種磁力特性深入瞭解。研究發現：鐵磁流體感應磁力產生錐狀凸起之特性較鐵粉更易量化分析磁力變化現象。若是磁力線方向和鐵磁流體表面垂直時會看到產生錐狀凸起現象；磁力越強，則錐狀凸起現象會越密、越短。若是磁力線方向和鐵磁流體表面平行時，則看不出錐狀凸起，但可以從鐵磁流體分布範圍推測，越集中但厚度不高則代表磁力越強。研究中也發現磁鐵加鐵片時，磁力線最密集的位置移到磁鐵和鐵片接縫處，此處磁力明顯增強。而通電線圈中間插入鐵棒形成電磁鐵，鐵棒端點磁吸力增強的原理和磁鐵加鐵片後磁力增強的原理相似。鐵磁流體錐狀凸起在距離磁鐵越近時會越短越細，排列也越密集。

## 壹、研究動機

在六年級上電磁鐵單元時，當老師展示了她在科教館研習時得到的一瓶用鐵磁流體製作的磁力線觀測器，瓶中那像刺蝟一樣會豎起尖刺的黑色物質立刻引發的我們的喜愛與好奇。由於這個鐵磁流體實在是太神奇了，所以當我們提出許多問題時，老師也答不出來，還稱讚我們的觀察發現和提問很有意思，於是建議我們針對這個鐵磁流體進行科展研究。於是我們大家開始有所行動，老師們再次到科教館去聽有關鐵磁流體的研習解說以及詢問如何取得這種鐵磁流體，我們則到網路上搜尋相關文獻資料，認識更多關於鐵磁流體的知識原理。經過初步的了解，我們確定了液態磁鐵具有可以顯示磁力線的功能，於是就想要以這個鐵磁流體作為我們研究磁鐵磁力特性的檢驗工具，幫我們找到磁鐵磁力線分布情形，最重要的是，我們還想利用鐵磁流體來幫我們搞清楚，為什麼磁鐵加鐵片和通電線圈插入鐵棒後磁力會增強，磁力線發生了怎樣的改變？於是我們便展開了一系列研究。



## 貳、研究目的

- 一、探討鐵磁流體在不同水溶液中受磁鐵感應產生之磁力線特性。
- 二、探討鐵磁流體與鐵粉感應磁鐵所顯現之磁力線特徵差異。
- 三、探討鐵磁流體感應磁鐵各表面所顯現之磁力線特徵差異。
- 四、探討磁鐵與鐵磁流體的距離對鐵磁流體感應顯現之磁力線特徵的影響。
- 五、探討鐵磁流體感應加鐵片磁鐵各表面所顯現之磁力線特徵差異。
- 六、探討鐵磁流體感應磁鐵在各種加鐵片方式時所顯現之磁力線特徵差異。
- 七、探討加鐵片磁鐵與鐵磁流體的距離對鐵磁流體感應顯現之磁力線特徵的影響。
- 八、探討鐵磁流體感應磁鐵在加不同面積鐵片時所顯現之磁力線特徵差異。
- 九、探討鐵磁流體感應電磁鐵所顯現之磁力線特徵。

## 參、文獻探討

### 一、鐵磁流體

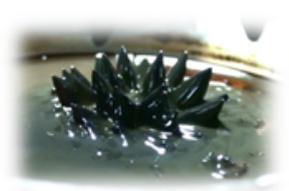
#### 文獻資料整理：

從台中教育大學科學遊戲實驗室網站資源我們查到：

鐵磁流體 (liquid magnet or ferrofluid) 是一種在磁場中形狀變化相當有趣的化合物。例如在下方放置磁鐵，可以看到鐵磁流體形成豎立的針狀，並且隨著磁鐵的轉動、遠近而改變。

鐵磁流體 (ferrofluid, ferrum 拉丁語「鐵」與 fluid「流體」兩詞的混成詞) 是一種在磁場存在時強烈極化的液體。

鐵磁流體由懸浮於載流體當中奈米數量級的鐵磁微粒組成；其載流體通常為有機溶液或水。鐵磁微粒由表面活性劑包裹以防止其因凡得瓦力和磁力作用而發生凝聚。儘管被稱為鐵磁流體，但它們本身並不表現鐵磁性。這是因為在外部磁場不存在的情況下，鐵磁流體無法保持磁性。



#### 文獻閱讀啟發：

查詢多篇文獻，大家對於鐵磁流體有各種稱呼，原本老師跟我們介紹的時候，都稱這種物質為『液態磁鐵』，但是根據上面的內容，我們才留意到，它不能算是磁鐵，而比較像是『液態的鐵粉』，所以在研究中，我們應該將此一物質視為可檢驗或觀察磁鐵磁力線的工具，也就是磁力線不是鐵磁流體產生的，鐵磁流體只是將磁鐵的磁力線給顯現出來。

### 二、磁力線

#### 文獻資料整理：

從中華百科全書及教育部數位教學資源中我們查到：

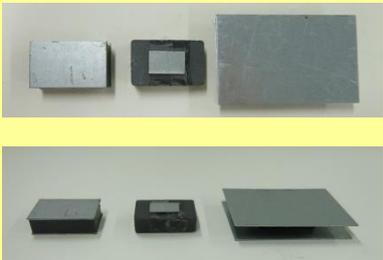
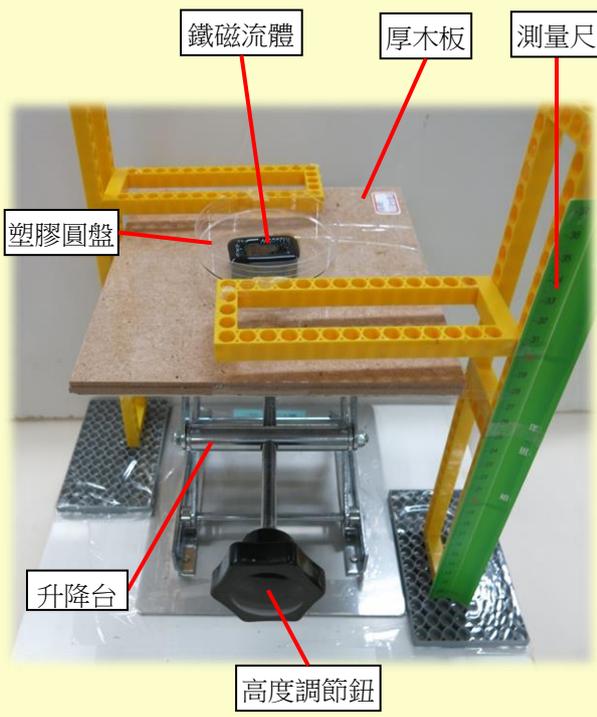
磁力線係用來代表某一磁場的磁力分布，而磁力線有以下特性：

1. 磁力線為一封閉曲線，自 N 極發出，穿過介質空間進入 S 極，在磁鐵內部由 S 極回到 N 極。
2. 磁力線絕不相交，即經過磁場中任一點，僅有一根磁力線。
3. 磁力線上任一點切線的方向，即為該點的磁場方向。
4. 磁力線出發或進入磁鐵時均與磁極表面垂直。
5. 磁力線的疏密度表示磁場強度的強弱。
6. 磁力線有沿其長度而縮短的趨勢，故異性相吸；又有向旁排斥鄰近磁力線的特性，故同性相斥。
7. 磁力線所示的路徑即為阻止磁力線抗力最小的路徑。

#### 文獻閱讀啟發：

根據上面介紹的磁力線特性，我們覺得可以試著利用鐵磁流體或鐵粉因感應到磁力所顯現的現象來觀察比較磁鐵各個表面的磁力線分布情形，特別是藉由鐵磁流體所呈現的錐狀凸起數量、方向和其他特徵來解釋究竟每一塊磁鐵的磁力線是如何分布，以及磁力線的方向。更重要的是，我們還可以觀察磁鐵加鐵片後，磁力線被怎麼改變，會呈現何種樣貌？這樣或許就可以找出為什麼磁鐵加鐵片後磁力會增強的原因。

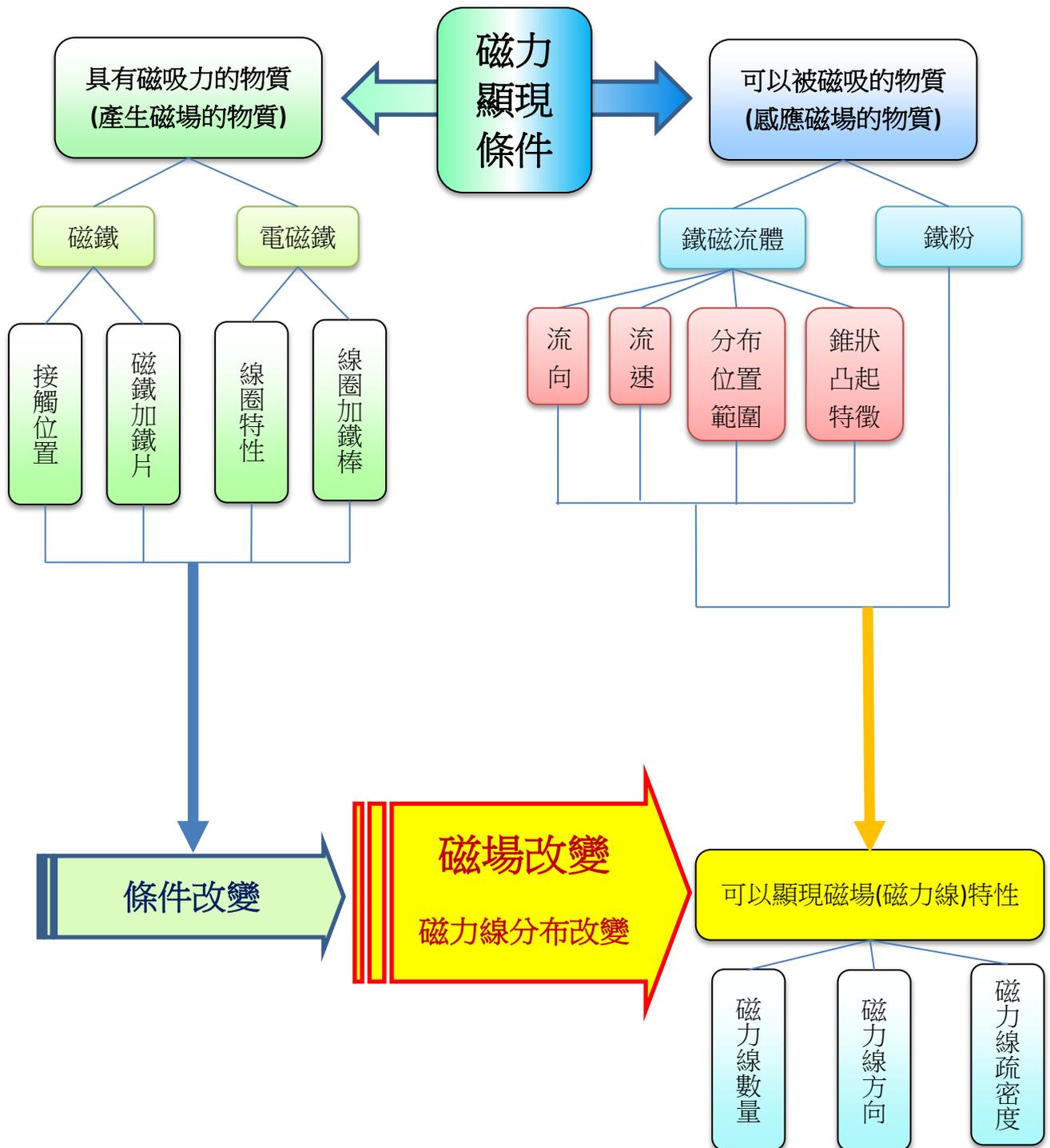
## 肆、研究器材

磁鐵	加鐵片磁鐵	電磁鐵
<p>長方形磁鐵：<math>(4 \times 2.5 \times 1) \text{cm}^3</math>                      圓形磁鐵：<math>(1.2 \times 1.2 \times 3.14 \times 0.4) \text{cm}^3</math></p> 	<p>標準鐵片：<math>(4 \times 2.5 \times 0.1) \text{cm}^3</math>                      小鐵片：<math>(2 \times 1.25 \times 0.1) \text{cm}^3</math>                      大鐵片：<math>(8 \times 5 \times 0.1) \text{cm}^3</math></p> 	<p>鐵棒：<math>(0.2 \times 0.2 \times 3.14 \times 10) \text{cm}^3</math>                      線圈：分為 100、200、300 圈                      疏密：300 圈一端密(200 圈)，                      一端疏(100 圈)</p> 
調配飽和糖水用的器材	鐵磁流體盛裝及觀測容器	感應及顯現磁力線的工具
<p>純水、葡萄糖、滴管、塑膠杯、                      燒杯、攪拌棒、湯匙、電子秤、量筒</p> 	<p>圓形玻璃瓶                      方形塑膠瓶                      圓形塑膠淺盤</p> 	<p>鐵磁流體                      鐵粉</p> 
自製距離調整架		
正面	側面	
		

## 伍、研究過程 (方法、結果與討論)

在確定購得鐵磁流體後，我們便決定以鐵磁流體作為我們研究磁鐵磁力線特性或變化的主要工具。而整個研究的概念架構如下，我們逐步進行探究，而探究過程則大致歷經下一頁表格中的五個階段。

### 一、研究概念架構



### 三、研究發展歷程

第一階段	<p>初期，我們嘗試改良研究技術，以便可以更簡單、更清楚的觀察鐵磁流體的變化特徵，過程與結果請參閱<b>實驗一</b>；並比較鐵磁流體與鐵粉在觀測磁鐵磁力線顯現的異同優缺，過程與結果請參閱<b>實驗二</b>。</p>	
第二階段	<p>待實驗觀測技術決定後，我們便開始利用鐵磁流體隔著透明塑膠滾盤觀測各種形狀、不同強弱、以及磁鐵各面顯現的磁力線分布情形。除了用眼睛觀察紀錄之外，我們為了更仔細觀察並方便計算出鐵磁流體顯現的錐狀凸起磁力線數量或判斷分布面積變化，便透過從不同角度拍照及錄影的方法，蒐集對鐵磁流體接觸磁鐵時呈現出的動態變化歷程資料，之後就憑藉這些紀錄作比對分析，過程與結果請參閱<b>實驗三</b>。</p>	
第三階段	<p>在我們最初訂定的研究目的中，有一項是想要觀察磁鐵與鐵磁流體間的距離改變時，鐵磁流體顯現的錐狀凸起磁力線會有什麼改變，所以我們又設計了一個可以慢慢調整距離的實驗觀察架。經過反覆的技術修正終於把架子組裝成功後，我們便開始運用鐵磁流體來測量錐狀凸起磁力線隨磁鐵遠離或靠近時的變化情形，並嘗試歸納分析出磁力強弱與鐵磁流體錐狀凸起的數量、疏密度和分布範圍…等關係，過程與結果請參閱<b>實驗四</b>。</p>	
第四階段	<p>除了用鐵磁流體對各種磁鐵的磁力特性進行觀察研究外，我們更進一步想要解答的疑問就是為什麼磁鐵加了鐵片後磁力會增強，而且磁力最強的地方變成被鐵片包夾的側邊。所以我們結合第二和第三階段的研究技術，測試各種長方形磁鐵加鐵片的組合以及加不同面積鐵片後，鐵磁流體的錐狀凸起磁力線有何種改變，進而嘗試解釋磁力變強的原因，過程與結果請參閱<b>實驗五、六、七、八</b>。</p>	
第五階段	<p>除了用鐵磁流體感應三年級課程中的加鐵片磁鐵，我們進一步用鐵磁流體來感應六年級課程中所認識的電磁鐵，但由於研究時間不夠，我們在作品說明書繳交之前，只先針對電磁鐵各面、不同線圈數和不同線圈疏密度三個情況做測試，過程與結果請參閱<b>實驗九</b>，之後則還會針對電磁鐵繼續做更多深入比較研究。</p>	

### 三、實驗方法與結果

## 實驗一 比較鐵磁流體在不同水溶液中受磁鐵感應產生之磁力線特性

### (一) 實驗假設：

鐵磁流體在飽和糖水中的錐狀凸起磁力線會比在純水中時更明顯清晰。

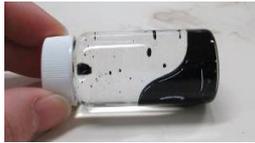
### (二) 假設依據：

根據網路上運用鐵磁流體製作磁力線觀測器的文獻及影片中有提到，使用飽和糖水可以使鐵磁流體較不容易沾黏附著於玻璃瓶壁上，因為糖水對於玻璃瓶壁有潤滑作用。

### (三) 變因操控：

1. 操縱變因：鐵磁流體浸入的水溶液不同，測試了飽和糖水、純水(二次水)。
2. 控制變因：(1)器材：鐵磁流體的規格，玻璃瓶規格、同一塊磁鐵。  
(2)環境：水溶液備置時的溫度。  
(3)操作：鐵磁流體的分量、磁鐵放置的位置及距離、操作磁鐵的方法。
3. 應變變因：磁鐵靠近玻璃瓶時，鐵磁流體在水溶液中感應形成的磁力線清晰度。

### (四) 實驗觀察記錄：

水溶液種類	自製飽和糖水	純水(二次水)
鐵磁流體在水溶液中的現象		
	鐵磁流體會聚在一起往上浮	鐵磁流體會分散在水中
磁鐵靠近瓶壁，鐵磁流體的變化現象		
	瓶子兩端會有沾黏的現象	瓶子四處都有沾黏的現象

### (五) 實驗結果：

1. 我們的假設並沒有完全得到支持，雖然糖水中鐵磁流體沾附瓶壁的量比純水少，但還是有沾附，並不能完全保持瓶子的清潔。
2. 把磁鐵由遠而近靠近鐵磁流體，錐狀凸起磁力線會從粗而少逐漸演變成細而多。

### (六) 實驗討論：

1. 雖然飽和糖水可以製作出效果不錯的磁力線觀測器，但由於使用的瓶子為圓形小瓶，所以只能看到最外側的錐狀凸起磁力線，而且還有放大變形的效果。
2. 後來我們嘗試將容器或操作技術改良，最後決定將鐵磁流體直接滴在淺盤上，讓磁鐵放置在淺盤下方觀察，雖然這樣不能做出可隨意調整的磁力觀測器，但是對於後續想要了解各種磁鐵的磁力線特性卻很有用。

## 實驗二 比較鐵磁流體與鐵粉感應磁鐵所顯現之磁力線特徵差異

### (一) 實驗假設：

鐵磁流體顯示的錐狀凸起磁力線比鐵粉堆疊出的磁力線清晰明確。

### (二) 變因控制：

1. 操縱變因：感應磁鐵磁力線的材料，分別為鐵粉和鐵磁流體。
2. 控制變因：磁鐵規格、感應磁力線材料與磁鐵接觸的距離、滴下感應材料的方法。
3. 應變變因：顯現的磁力線特徵。

### (三) 實驗器材：圓形磁鐵、鐵粉、鐵磁流體，透明塑膠淺盤、滴管，燒杯。

### (四) 實驗步驟：

1. 把兩個透明圓盤各自放在圓形磁鐵上方。
2. 先將滴管吸起 1ml 鐵粉或鐵磁流體，放在透明圓盤對準磁鐵中心上方 2cm 處，讓鐵粉或鐵磁流體自動落下或被吸下。

### (五) 實驗觀察紀錄：

測試材質		鐵粉		鐵磁流體	
測試 份量	1ml				
	2ml				
磁力線 分布 特性	高度	中間高(約 1.5cm)，像半圓球散射，外圈稍微降低。		高度一致(約 0.4cm)，像平台，到最外側才傾斜下降	
	面積	約 7.5cm <sup>2</sup>		約 7.5cm <sup>2</sup>	
	疏密 位置	中央的磁力線最稀疏。 磁力線疏密並不平均。		中央的錐狀凸起磁力線最稀疏。 但磁力線疏密排列整齊有規律。	

### (六) 實驗結果：

我們的假設並未完全得到支持，兩者各有優缺點。以下分別做說明：

1. 鐵磁流體感應顯現的磁力線是一個一個錐狀凸起形態，但錐狀大小會改變，加越多量時，大小粗細會逐漸改變，而鐵粉則不會，可以看到都是差不多粗細且分散的細條狀。
2. 鐵粉展現的磁力線高度較高，但高度並不穩定，稍一震動就可能塌陷或變位置。
3. 鐵粉顯現的磁力線較錯綜複雜，較難量化計算比較，但鐵磁流體較能顯現磁力分布的規則，錐狀凸起的數量也大致可以數得出來。

### 實驗三 探討鐵磁流體感應磁鐵各表面所顯現之磁力線特徵差異

#### (一) 實驗假設：

將磁鐵磁力愈強的一面靠近鐵磁流體，就會顯現愈多愈高大的錐狀凸起磁力線。而側邊磁力較弱的部位靠近鐵磁流體，則錐狀凸起磁力線會變得較少且較短小。

#### (二) 假設依據：

在自然實驗課時，我們學到每一種磁鐵的各面磁力強弱並不一樣，又在閱讀文獻時，我們學到磁鐵的磁力線是一個封閉曲線，會從 N 極到 S 極，所以我們預測鐵磁流體在磁鐵各面所展現的磁力線形態會不相同。

#### (三) 變因控制：

1. 操縱變因：接觸鐵磁流體的磁鐵各個面，並選用長方形、圓形磁鐵進行觀察。
2. 控制變因：同一塊磁鐵、與鐵磁流體接觸的距離、滴下鐵磁流體的方法。
3. 應變變因：鐵磁流體顯現的磁力線特徵，包括：錐狀突起的疏密度、數量、高低，以及周圍鐵磁流體的塌陷程度或擴散面積。

#### (四) 實驗器材：長方形磁鐵、圓形磁鐵、鐵磁流體、透明塑膠淺盤、海棉塊、滴管、燒杯。

#### (五) 實驗步驟：

1. 拿出兩塊磁鐵(一個長方形，一個圓形)，在磁鐵上面放上圓型淺盤。
2. 在淺盤中磁鐵對應的正上方加上鐵磁流體，一次加 1cc。
3. 將磁鐵調整到不同面，重複前面步驟。

#### (六) 實驗觀察紀錄：請參閱下頁 p12~13

#### (七) 實驗結果：

1. 假設有得到支持，兩種形狀磁鐵磁力最強的正面有最多的錐狀凸起磁力線，側面則完全沒有錐狀凸起磁力線。但因為側邊的鐵磁流體並沒有向外擴散流走，代表側邊還是有磁力。
2. 正面滴上越多鐵磁流體，錐狀凸起磁力線就越多越密集。
3. 不論是哪一種形狀的磁鐵，還是磁鐵的哪一側，鐵磁流體滴下時都會先落到中間，然後再立刻被吸引到旁邊邊緣。
4. 兩種磁鐵的差異：圓形的磁鐵滴下 1c.c. 的鐵磁流體後中心就有錐狀凸起磁力線了，但是長方形磁鐵滴下 1c.c. 的鐵磁流體後中心沒有錐狀凸起磁力線。

#### (八) 實驗討論：

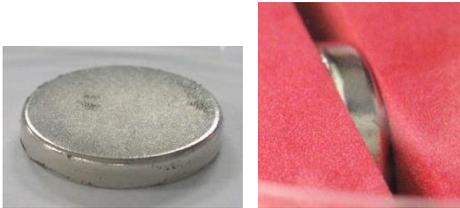
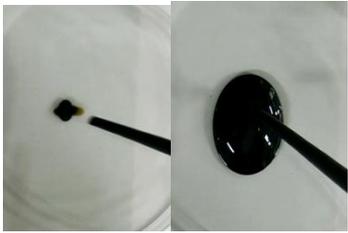
1. 側面沒有錐狀凸起磁力線，根據文獻推測分析，這可能是因為磁力的發源地是在正面的中心(N 極)，而終點則是在對面的中心(S 極)。所以側面和磁力線方向平行，導致側面沒有錐狀凸起磁力線。
2. 加越多的鐵磁流體會使得錐狀凸起磁力線越密集，根據文獻『磁力線絕不相交，即經過磁場中任一點，僅有一根磁力線。』推測分析，這可能是因為鐵磁流體太多，感應到較多的磁力線，但又不能相交，所以互相排擠就成了很多很密集的細小錐狀凸起。

(六)實驗觀察紀錄：

1. 長方形磁鐵

磁鐵接觸面		正面	長側面	短側面
圖示 面積(cm <sup>2</sup> )		 4x2.5	 4x1	 2.5x1
加鐵 磁流體 份量 加鐵 磁流體 份量	1cc			
	2cc			
	3cc			
	4cc			
	5cc			
鐵磁流體 移動方向				
		滴下時，會先掉到中間才向四周邊緣流動。	滴下鐵磁流體時，從中間慢慢的向長邊散。	滴下鐵磁流體時，從中間慢慢的向長邊散。
錐狀凸起 磁力線 形態特徵		<ol style="list-style-type: none"> <li>一開始中間無錐狀凸起磁力線，加到第5c.c.時，錐狀凸起磁力線變得最密集。</li> <li>外圈的表面平滑。</li> <li>中心旁的錐狀凸起磁力線向外倒。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>無錐狀凸起磁力線。</li> <li>表面完全平滑。</li> <li>邊都是平的。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>無錐狀凸起磁力線。</li> <li>寬邊微微的向內凹。</li> <li>長邊微微圓弧。</li> </ol>

## 2. 圓形磁鐵

磁鐵接觸面		正面	側面
圖示			
面積(cm <sup>2</sup> )		半徑：1.2cm	厚度：0.4cm
加鐵磁流體量	1cc		
	2cc		
鐵磁流體移動方向			
		滴下鐵磁流體時，會先掉到中間才向旁邊跑。	滴下鐵磁流體時，直接呈橢圓形。
錐狀凸起磁力線形態特徵		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.有明顯錐狀凸起磁力線</li> <li>2.中心的錐狀凸起磁力線是直的。</li> <li>3.較外圈的錐狀凸起磁力線會向外倒。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.無錐狀凸起磁力線。</li> <li>2.幾乎呈橢圓型。</li> <li>3.加入愈多鐵磁流體，圓的體積只會愈大，但仍然不會有錐狀凸起磁力線。</li> </ol>

## 實驗四 探討磁鐵與鐵磁流體的距離對鐵磁流體感應顯現之磁力線特徵的影響

### (一) 實驗假設：

鐵磁流體與磁鐵間隔的距離越近，代表受到的磁力越大，鐵磁流體顯現的磁力線(錐狀突起)就會越短小、越密集，且磁力線數量會和與磁鐵的間隔距離有比例關係。

### (二) 實驗依據：

當我們看到鐵磁流體時，初步的印象是錐狀凸起的磁力線越高代表磁力越強，可是經過更多觀察與討論後，發現鐵磁流體是離磁鐵越遠，錐狀凸起的磁力線就越大。還有，在觀察期間我們發現除了中間的磁力線是直立的，其他的磁力線的錐狀凸起卻有著弧度，以及將磁鐵拿掉後，原本聚起的鐵磁流體會向四方散去。所以，根據以上的現象來看，我們認為鐵磁流體的顯現的錐狀凸起磁力線特徵可能會同時受到磁鐵磁力強弱、鐵磁流體本身的內聚力、以及重力的拉扯而影響。

### (三) 變因操控：

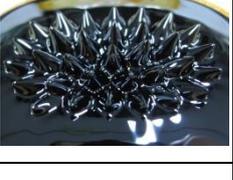
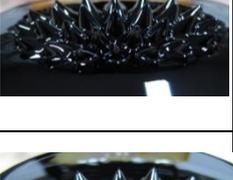
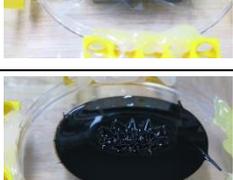
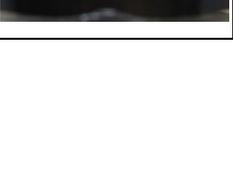
1. 操縱變因：鐵磁流體與磁鐵間隔的距離  
(從完全接觸，每回逐漸遠離 0.2cm，至磁力線消失為止)
2. 控制變因：分三個向度進行控制，讓實驗條件盡量保持相同。
  - (1)實驗器材-----升降機(小型)要同一台，旋轉圈數和下降距離穩定變化。  
同一塊磁鐵(四年級課程使用的長方形強力磁鐵：4X2.4cm<sup>2</sup>)  
同一台教具積木組裝的磁力線觀察架
  - (2)操作方式-----每一次調整移動的距離要一樣，都是 0.2cm。  
眼睛平視尺觀察、作實驗時盡量不搖晃桌面
  - (3)環境控制-----實驗地點的光線明暗程度一致、放儀器的桌子盡量保持水平
3. 應變變因：鐵磁流體形成的磁力線特徵，包括：錐狀突起的疏密度、數量、高低，以及周圍鐵磁流體的塌陷程度或擴散面積。

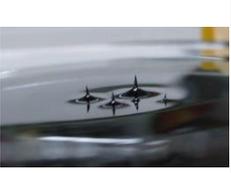
### (四) 實驗步驟：

1. 將厚木板固定在升降機表面，避免磁鐵升降機的鐵板干擾。
2. 把磁鐵用膠帶緊密黏在木板正中央，避免磁鐵吸附在鐵磁流體底盤上。
3. 把圓盤用熱熔膠固定在自製觀察架上，然後將架子固定在升降機上方。
4. 將尺黏在觀測架上，刻度對齊升降機平台。
5. 調整升降機距離，讓磁鐵和圓盤底部完全緊密平貼。
6. 用滴管慢慢加入 5c.c 的鐵磁流體。
7. 逐次轉動升降機高度調節鈕使每次下降 0.2cm，直到鐵磁流體的錐狀凸起磁力線完全消失為止。
8. 觀察記錄並拍下每一次升降機下降 0.2cm 後，鐵磁流體的錐狀突起特徵變化。
9. 將塑膠圓盤中的鐵磁流體小心倒回罐子中，可重複利用。



(五) 實驗觀察記錄表：

與磁鐵距離 cm	磁力線數量	磁力線疏密度	分布面積圖示	磁力線顯示圖示	磁力線特徵說明	
0	約 104	密				磁力線密集，有短小的錐狀凸起磁力線
0.2	約 52	密				磁力線密集，但周圍有小小塌陷。
0.4	約 38	密				中間磁力線較密，但周圍也有些許塌陷，
0.6	約 34	密				同上，但錐狀凸起磁力線明顯減少。
0.8	約 32	密				外圍的鐵磁流體液體向四方散去。
1.0	21	密				錐狀凸起磁力線變得較大數量較少。
1.2	14	密				錐狀凸起磁力線明顯變少。
1.4	14	較密				錐狀凸起磁力有向外擴散的感覺。

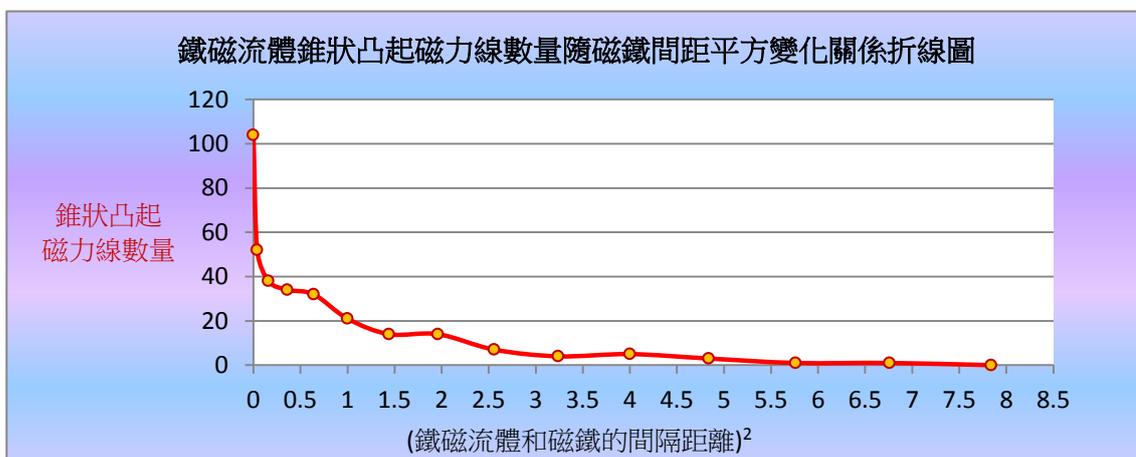
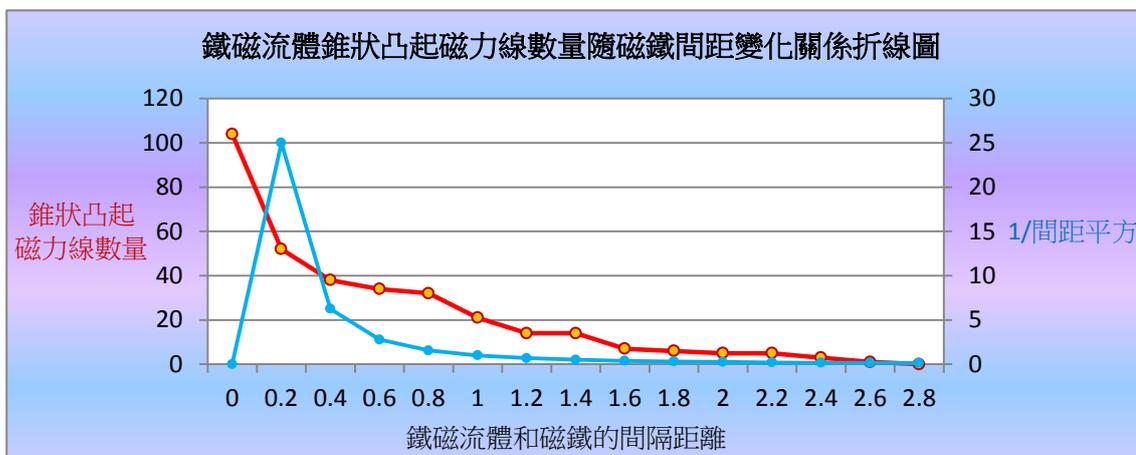
1.6	7	疏				磁力線只有中間直立，其他則是塌陷的。
1.8	4(不明x2)	疏				同上，但錐狀凸起磁力線較少。
2.0	不明x5	疏				錐狀凸起的磁力線明顯變矮變小。
2.2	不明x5	疏				明顯看到錐狀凸起磁力線的直立部分偏右側。
2.4	不明x3	疏				同上，只是錐狀凸起磁力線變得更矮更尖。
2.6	不明x1(較低)	疏				在最後一根錐狀凸起磁力線可看見明顯分岔。
2.8	無					雖然沒有明顯的磁力線，但感覺還是有些凸起。

## (六) 實驗結果：

假設獲得支持，實驗結果歸納說明如下：

1. 鐵磁流體的錐狀凸起磁力線在距離磁鐵越近時越排列越密集、錐狀凸起較短、較細。

- 與磁鐵距離越遠，鐵磁流體的錐狀凸起磁力線分布範圍及面積越小，周邊感應不到磁力的部分，鐵磁流體明顯塌陷。
- 從下列關係圖可看出，錐狀凸起的磁力線數量也大致和距離平方成反比。



## 實驗五 探討鐵磁流體感應加鐵片磁鐵各表面所顯現之磁力線特徵差異

### (一) 實驗假設：

將長方形磁鐵兩側加鐵片，被鐵片夾住的一側磁力會增強，鐵磁流體的錐狀凸起磁力線會變更高大密集，而被鐵片蓋住的一面則會磁力減弱，鐵磁流體的錐狀凸起磁力線會變較短小稀疏。

### (二) 假設依據：

在中年級自然實驗課時，我們學到將長方形磁鐵兩側加鐵片，可以增強磁力；另外在生活中的許多用品，例如鉛筆盒蓋子、門擋等也都有在磁鐵兩側加鐵片。但是加了鐵片後，這些產品都將原本不是磁力最強的一側與要吸的物品接觸，可見得加鐵片後，磁鐵磁力最強的一面會改變，所以想用鐵磁流體來觀察磁鐵加鐵片後各面的磁力線分布情形。

### (三) 變因控制：

1. 操縱變因：接觸鐵磁流體的加鐵片磁鐵各個面，並選用長方形磁鐵進行觀察。
2. 控制變因：同一塊兩側加鐵片磁鐵、與鐵磁流體接觸的距離、滴下鐵磁流體的方法。
3. 應變變因：鐵磁流體顯現的磁力線特徵，包括：錐狀突起的疏密度、數量、高低，以及周圍鐵磁流體的塌陷程度或擴散面積。

### (四) 實驗器材：長方形磁鐵、鐵片、鐵磁流體、透明塑膠淺盤、滴管、燒杯。

### (五) 實驗步驟：

1. 將一塊長方形磁鐵兩側吸上相同面積的鐵片(4X2.5X0.1cm<sup>3</sup>)。
2. 在加鐵片磁鐵上面放上圓型淺盤。
3. 在淺盤中磁鐵對應的正上方加上鐵磁流體，一次加 1cc。
4. 將加鐵片磁鐵調整到不同面，重複前面步驟。

### (六) 實驗觀察紀錄：(請參閱下頁 P15)

### (七) 實驗結果：

實驗假設並未完全獲得支持，

1. 正面加鐵片的磁鐵中間都有空隙，只有周圍一圈有錐狀凸起磁力線。
2. 長側面和短側面加鐵片的兩旁皆有明顯凹陷，但是沒有錐狀凸起磁力線，還有攏起高度也比未加鐵片時低。
3. 三個側面都是被吸往邊緣，可見得磁力最強的位置在側面交界處。

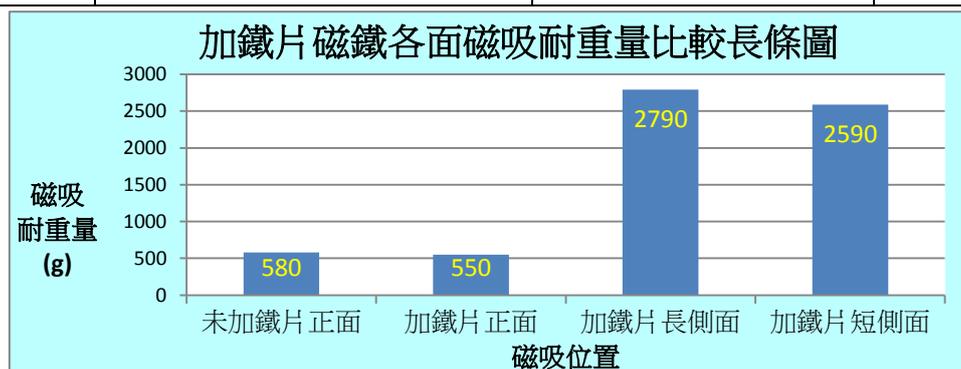
### (八) 實驗討論：

1. 沒加鐵片的中間只有一開始中間有空隙，到最後中間完全錐狀凸起磁力線，但加鐵片的加到 5cc 時，中間都還是空的，可見得磁力應該真的變弱很多。
2. 側邊雖然沒有錐狀凸起磁力線，應該還是因為磁力線方向與側面平行，但從鐵磁流體隆起的高度比未加鐵片時低，可以推測是磁力較強，將鐵磁流體緊緊下吸造成的。

(六)實驗觀察紀錄：

1. 長方形磁鐵

接觸面		正面		長側面		短側面	
圖示							
加鐵磁流體份量	1cc						
	2cc						
	3cc			(Diagonal line)		(Diagonal line)	
	4cc						
	5cc						
鐵磁流體移動方向		 <p>從滴管出來後往四周擴散，滴管往左(右)邊移，液態磁性物質被往左(右)吸。</p>		 <p>一開始往四周擴散，滴兩 c.c 時就擠在中間。</p>		 <p>一開始往四周擴散，擠滿了才往中間隆起</p>	
錐狀凸起形態特徵		5c.c 比 1c.c 更能顯示磁力線的分布		滴 2c.c 稍微攏起，1c.c 時較平。		看不出錐狀凸起 滴 2c.c 時超過短側面的表面積。	
耐重量		550g		2790g		2590g	
和未加鐵片比較		未加鐵片耐重量：580g 一開始加鐵片的中間比沒有加鐵片的中間空間更大。		加鐵片的旁邊，有明顯凹陷，沒加鐵片的沒有明顯凹陷，隆起較低		加鐵片的兩旁有稍為凹陷狀況	



## 實驗六 探討鐵磁流體感應磁鐵在不同加鐵片方式時所顯現之磁力線特徵差異

### (一) 變因操控：

1. 操縱變因：磁鐵加鐵片情形，共分四組：

實驗組：上下都加鐵片、上面加鐵片、下面加鐵片；對照組：不加鐵片

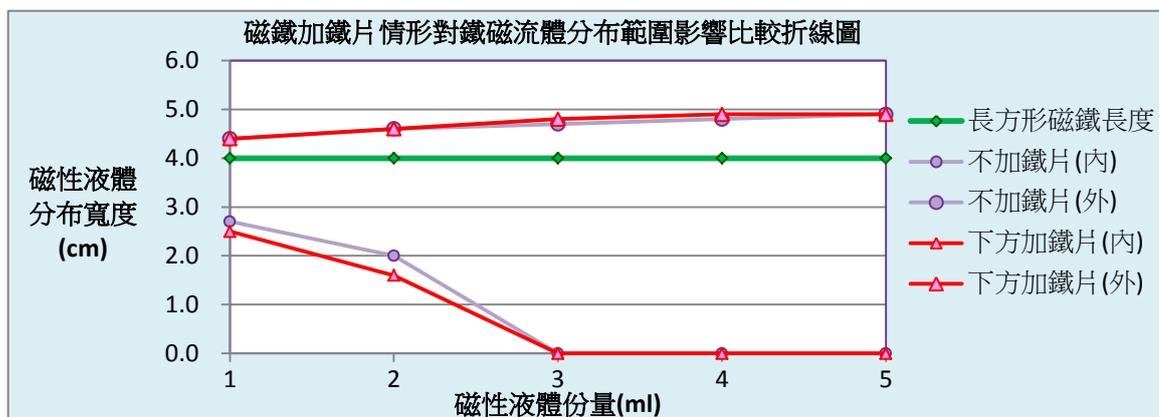
### (二) 實驗觀察記錄表：(照片為實際大小的 0.6 倍)

鐵磁流體 份量	長方形磁鐵 不加鐵片		長方形磁鐵 上下都加鐵片		長方形磁鐵 上面加鐵片		長方形磁鐵 下面加鐵片	
	內長---外長	內寬---外寬	內長---外長	內寬---外寬	內長---外長	內寬---外寬	內長---外長	內寬---外寬
1ml								
	2.7-4.4	1.5-3.0	3.5-4.7	2.1-3.2	3.4-4.8	2.0-3.4	2.5-4.4	1.3-3.0
2ml								
	2.0-4.6	0.9-3.3	3.3-4.9	1.9-3.5	3.1-5.0	1.8-3.7	1.6-4.6	0.7-3.3
3ml								
	X-4.7	X-3.3	3.0-5.1	1.7-3.7	3.0-5.2	1.6-3.9	X-4.8	X-3.3
4ml								
	X-4.8	X-3.5	2.8-5.3	1.5-3.9	2.9-5.4	1.5-4.0	X-4.9	X-3.5
5ml								
	X-4.9	X-3.7	2.5-5.5	1.2-4.0	2.6-5.5	1.2-4.0	X-4.9	X-3.6

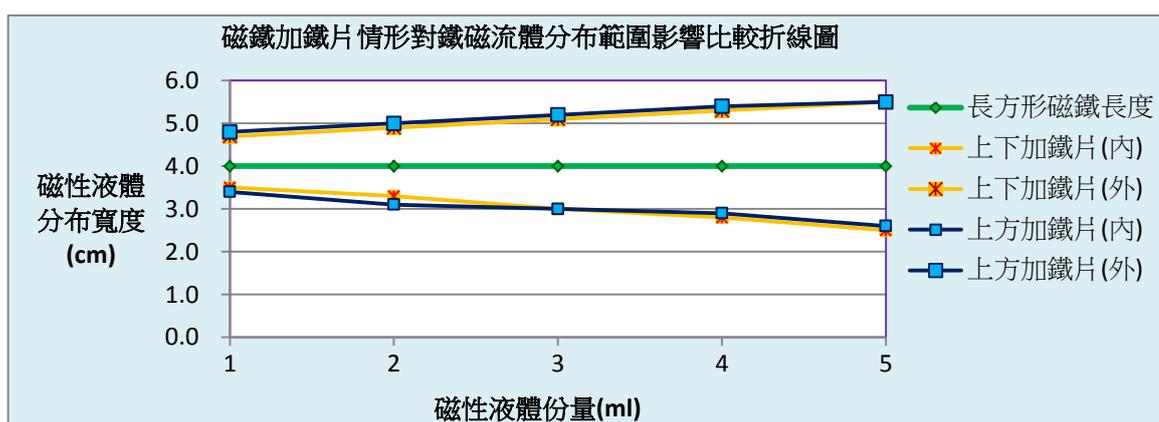
### (三) 實驗結果：

- 比較下面加鐵片和不加鐵片兩種情形，發現在鐵磁流體分量相同時，下面加鐵片的錐狀凸起磁力線都比不加鐵片時的數量多且密，代表下方加鐵片時的磁力有增強。
- 比較上面加鐵片和上下都加鐵片兩種情形，中間都明顯沒有錐狀凸起磁力線，代表加鐵片時，磁力減弱，推測磁力線被導引改向。

3. 根據下圖分析，磁鐵在下面加鐵片時和不加鐵片時的情形相似，錐狀凸起磁力線分布在磁鐵正上方，分布面積和磁鐵上方表面積差不多，當加到 3ml 時，就幾乎可以布滿磁鐵表面。



4. 根據下圖分析，磁鐵在上面加鐵片時和上下加鐵片時的情形相似，錐狀凸起磁力線全都分布在磁鐵四周，外圍面積比磁鐵上方表面積大很多，但加到 5ml 時，中間都還有約 1/2 面積沒有錐狀凸起磁力線。



5. 根據上圖分析，上下都加鐵片比上面加鐵片的鐵磁流體更向外分布，代表上下都加鐵片時的磁力比只有上面加鐵片時大。
6. 發現在鐵磁流體分量相同時，上面加鐵片和上下都加鐵片的鐵磁流體分布都明顯超出磁鐵邊緣很多，推測原本向上的磁力線被向外推擠壓縮到側邊。

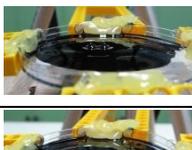
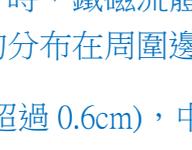
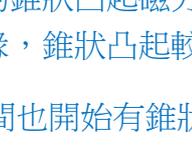
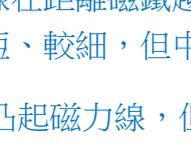
## 實驗七 探討加鐵片磁鐵與鐵磁流體的距離對鐵磁流體感應顯現之磁力線特徵的影響

### (一) 變因操控：

1. 操縱變因：鐵磁流體與加鐵片磁鐵間隔的距離(共三種加鐵片的情形)

### (二) 實驗觀察記錄表：

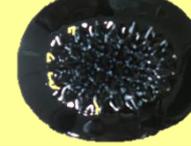
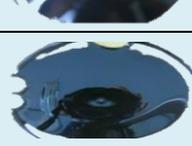
#### 1. 上下都加鐵片時的錐狀凸起磁力線隨距離變化情形紀錄

與磁鐵距離 cm	磁力線數量	磁力線疏密度	分布面積圖示	磁力線顯示圖示	磁力線特徵說明	
0	約 110	密				錐狀突起磁力線較密較細，但中間無磁力線。
0.4	約 128	密				錐狀突起磁力線明顯得從四周往中間靠攏。
0.8	約 46	密				中間空下的地方已被錐狀突起磁力線給填滿。
1.2	29	密				錐狀突起磁力線較大且外圍有塌陷。
1.6	17	疏				錐狀突起磁力線的形狀較大疏。
2.0	6	疏				錐狀突起磁力線的數量變少變大。
2.4	2	疏				同上，只是較為疏遠及數量變少。
2.8	0	無				雖然無錐狀突起磁力線，但可到中心還有些微凸。

### (三) 實驗結果：

1. 磁鐵上下都加鐵片時，鐵磁流體的錐狀凸起磁力線在距離磁鐵越近時(0.6cm 以內)，磁力線還是密集的分布在周圍邊緣，錐狀凸起較短、較細，但中間是空的。
2. 與磁鐵距離越遠(超過 0.6cm)，中間也開始有錐狀凸起磁力線，但是鐵磁流體的錐狀凸起磁力線分布範圍及面積會越來越小。

## 2. 三種磁鐵加鐵片情形的錐狀凸起磁力線隨距離變化情形比較

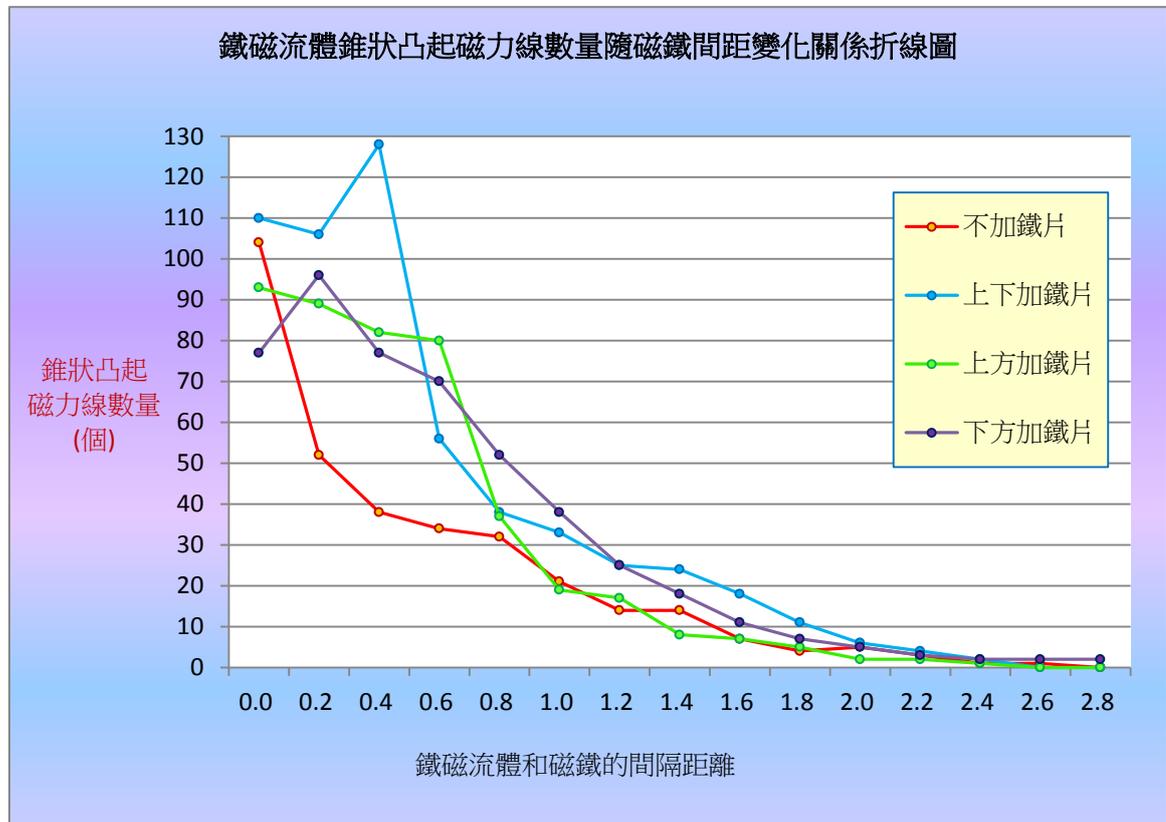
與磁鐵距離	磁鐵沒加鐵片 磁力線圖示		磁鐵上下都加鐵片 磁力線圖示		磁鐵上方加鐵片 磁力線圖示		磁鐵下方加鐵片 磁力線圖示	
0cm		約 104		約 110		約 93		約 77
0.2		52		約 106		約 89		約 96
0.4		38		約 128		約 82		77
0.8		32		38		37		52
1.2		14		25		17		25
1.6		7		18		7		11
2.0		5 不明顯		6		2		5
2.4		3 不明顯		2		1 不明顯		2
2.8		0		0		0		2 不明顯

### (四) 四種加鐵片情形實驗結果比較：

1. 磁鐵磁力分布在下方加鐵片時和~~不加鐵片~~時的情形相似，但與磁鐵保持相同距離時，除了最初的0.2cm範圍內，下方加鐵片的錐狀凸起磁力線數量都比~~不加鐵片~~的多且密一些。
2. 磁鐵磁力分布在上方加鐵片時和上下加鐵片時的情形相似，與磁鐵靠近時，錐狀凸

起磁力線全都分布在磁鐵四周，外圍分布面積比磁鐵上方表面積大很多，但超過一定距離後，中間又開始出現錐狀凸起磁力線。

- 比較上方加鐵片和上下都加鐵片兩種情形，上下都加鐵片要距離較遠一點(約0.8cm)，中間才會充滿錐狀凸起磁力線，上面加鐵片則是在距離0.6cm處，中間就完全布滿。



**(五) 實驗討論：**

- 磁鐵的磁力線分布其實很廣，吸不住或是看不到錐狀凸起磁力線不代表沒有磁力；又當磁鐵在向下遠離上方鐵磁流體時，可能讓鐵磁流體處於磁鐵磁力線分布的不同區域，磁力線方向和疏密度會不同，因此會出現在磁鐵中間剛開始好像沒磁力，一段距離後又出現很強的磁力，然後磁力又慢慢減弱的奇特現象。

## 實驗八 探討鐵磁流體感應磁鐵在加不同面積鐵片時所顯現之磁力線特徵差異

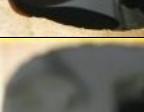
### (一) 變因操控：

1. 操縱變因 1：長方形磁鐵上下加不同面積的鐵片，共分四組(如下表 1 所示)：
2. 操縱變因 2：調整鐵磁流體與加鐵片磁鐵的距離，每次遠離 0.2cm (如下表 2 所示)：

### (二) 實驗觀察記錄表 1：(照片為實際大小的 0.5 倍)

鐵磁流體 份量	加標準鐵片 (4X2.5X0.1)cm <sup>3</sup>		加小鐵片 (2X1.25X0.1)cm <sup>3</sup>		加大鐵片 (8X5X0.1)cm <sup>3</sup>		鐵磁流體 流速說明
	內長---外長	內寬---外寬	內長---外長	內寬---外寬	內長---外長	內寬---外寬	
1ml							◆ 從錄影紀錄和觀察分析，滴管靠近小鐵片時，鐵磁流體被吸引的速度明顯最快。
	3.5-4.7	2.1-3.2	1.5-4.1	0.8-2.7	3.3-4.5	1.8-3.1	
2ml							◆ 滴管靠近大鐵片的中心時，鐵磁流體被吸的力量很弱，要靠近磁鐵邊緣上方才慢慢被吸完 1ml。
	3.3-4.9	1.9-3.5	1.0-4.4	1.0-3.1	2.6-4.5	1.4-3.0	
3ml							◆ 滴管靠近大鐵片時，鐵磁流體幾乎沒被吸，要施力擠壓才滴完 1ml。
	3.0-5.1	1.7-3.7	0.7-4.5	0.4-3.2	1.8-4.5	1.1-3.3	
4ml							
	2.8-5.3	1.5-3.9	x-4.7	x-3.3	1.6-4.7	0.8-3.4	
5ml							
	2.5-5.5	1.2-4.0	x-4.8	x-3.5	1.2-4.8	0.6-3.5	
(在大鐵片 外側另外 加 1ml)	/		/				◆ 滴管靠近大鐵片的邊緣時，鐵磁流體會慢慢被吸往鐵片邊緣，但看不出垂直的錐狀凸起磁力線。

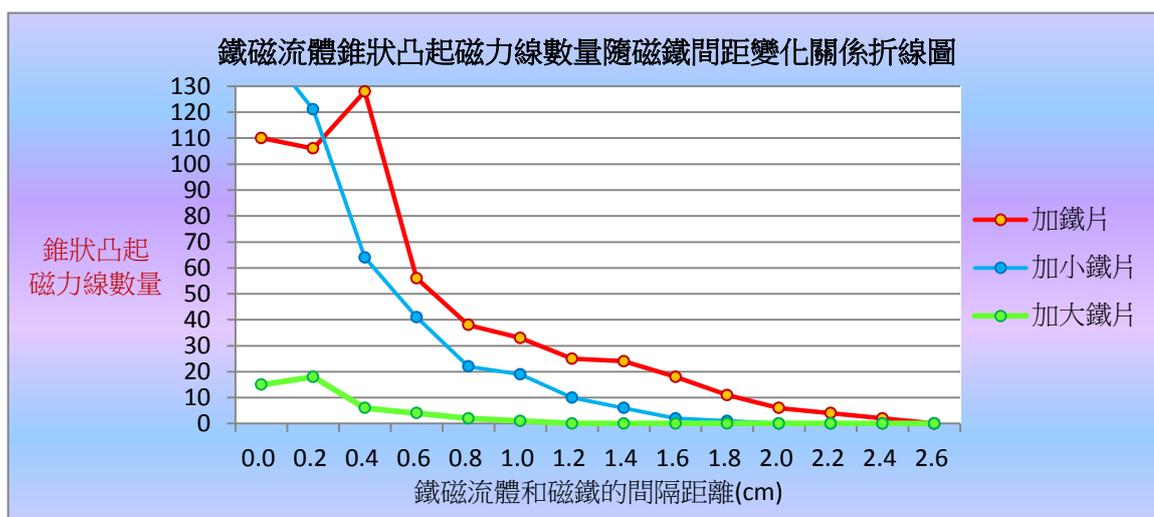
實驗觀察記錄表 2：(照片為實際大小的 1/4 倍)

鐵磁流體 與磁鐵距離	磁鐵上下都 加標準鐵片		磁鐵上下都 加小鐵片		磁鐵上下都 加大鐵片	
0cm		約 110		約 146		約 15
0.2 cm		約 106		約 121		約 18
0.4 cm		約 128		約 64		6
0.8 cm		38		22		2
1.2 cm		25		10		1
1.6 cm		18		2		0
2.0 cm		6		1		
2.4 cm		2		0		
2.8 cm		0				

(三) 實驗結果：

1. 磁鐵加小鐵片時，錐狀凸起磁力線先分布在鐵片周圍的磁鐵正上方，而且錐狀凸起磁力線在小鐵片邊緣是垂直向上的，非常明顯，從鐵磁流體的流動方向也可以看出是小鐵片邊緣磁力最強。再持續加鐵磁流體時，會往內布滿鐵片表面，但錐狀凸起磁力線依然垂直向上、清楚可辨。

2. 磁鐵加**大鐵片**時，錐狀凸起磁力線先分布在磁鐵邊緣的正上方位置(也就是在鐵片中間的位置)，但是錐狀凸起磁力線並不明顯，鐵磁流體有些塌陷，**代表鐵片上方感應到的磁力並不強**。再持續加鐵磁流體時，和小鐵片同樣會往內布滿鐵片表面，但錐狀凸起磁力線非常稀疏，也不是垂直向上。
3. 將鐵磁流體靠近**大鐵片**外側時，會被吸往大鐵片邊緣，**代表有部分磁力線從磁鐵產生後會沿著鐵片到最邊緣**。
4. 根據下圖分析，磁鐵正上方加小磁鐵後一開始的錐狀凸起數量比較多，但拉遠超過0.4cm後，就逐漸比加標準鐵片的數量小。而加大鐵片無論在哪種距離時，錐狀凸起數量則一直都很少。



#### (四) 實驗討論：

1. 在加**小鐵片**的實驗中，一開始鐵磁流體往小鐵片的四周聚集，且產生錐狀突起。我們推測是因為小鐵片將中央的磁力線往四周擠壓，導致小鐵片四周的磁力線最密集，且由於小鐵片外圍仍有從磁鐵本身出發的磁力線，由於磁力線互相排斥且永不相交的理論，我們推測小鐵片四周的磁力線被左右夾攻推擠而呈現垂直向上再往外擴的情況，因而造成鐵磁流體感應出垂直向上又微微往外偏長的錐狀突起。
2. 在加**大鐵片**的實驗中，由於磁力線被往鐵片外擠壓，導致磁鐵上方的磁力減弱，所以在滴鐵磁流體時可以明顯感受吸力較弱，要擠壓才能將滴管中的鐵磁流體完全排空。也因為磁力線被擠壓到磁鐵四周，又被多出來的大鐵片阻擋，導致磁力線無法垂直向上擴散，推測會沿著大鐵片擠壓到鐵片的外圍，因此加鐵磁流體後沒有錐狀的磁力線突起，反而呈現雖然有鐵磁流體聚集但卻是塌陷的狀況。

## 實驗九 探討鐵磁流體感應電磁鐵時所顯現之磁力線特徵差異

### (一) 變因操控：(共進行三項比較實驗)

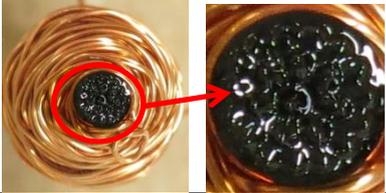
1. 操縱變因 1：線圈數量不同，共分 100、200、300 圈三組。
2. 操縱變因 2：線圈疏密度不同，300 圈分散成一端是 200 圈密集，另一端 100 圈疏鬆。
3. 操縱變因 3：線圈中空環狀直徑不同，分成 0.6cm 和 1cm 兩種。

### (二) 實驗觀察記錄：

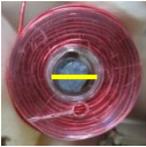
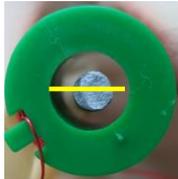
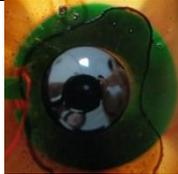
1. 將不同圈數漆包線圈串聯兩顆 1.5V 電池，在線圈中插入鐵棒，觀察鐵磁流體對磁極兩端的磁力感應情形，結果如下表：

線圈匝數	100 圈線圈	200 圈線圈	300 圈線圈
鐵磁流體感應情形			
分布直徑	<0.4cm	0.4~0.6cm	0.4~0.6cm
磁力線數量	0~1(不明顯)	8(中 1 外 7)	14(1、6、7)
結果分析	滴管內鐵磁流體不會自動被吸，要用擠壓才會滴下。	滴管內鐵磁流體可以自動被吸，會被吸往鐵棒圓周位置。	滴管內鐵磁流體可以自動被吸，會被吸往鐵棒圓周位置 0.4 範圍內，加多一點才擴散。

2. 將兩端疏密度不同的 300 圈漆包線圈串聯兩顆 1.5V 電池，在線圈中插入鐵棒，觀察鐵磁流體對磁極兩端的磁力感應情形，結果如下表：

線圈纏繞疏密度	線圈纏繞疏鬆 (100 圈一端)	線圈纏繞緊密 (200 圈一端)
鐵磁流體感應情形		
分布直徑	0.4cm	0.4~1.5cm
磁力線數量	0(中間無，集中在外圍)	約 23(1、7、15)
結果分析	滴了第一小滴鐵磁流體時，只分布在鐵棒正上方的圓周位置，中間則凹陷，顯現磁力很弱。	鐵磁流體快速被吸往鐵棒正上方，錐狀凸起很明顯，顯現磁力很強，在周圍分布較密，從內到外有 3 層。

3. 將中空直徑不同的漆包線圈串聯兩顆 1.5V 電池，在線圈中插入鐵棒，觀察鐵磁流體對磁極的磁力感應情形，結果如下表：

線圈中空環直徑	線圈中空環直徑 0.6cm 	線圈中空環直徑 1cm 
線圈緊貼鐵棒端點	 鐵磁流體分布直徑：0.4~0.6cm 錐狀凸起：內 1 外 7	 鐵磁流體分布直徑：0.4~1cm 錐狀凸起：4
線圈遠離鐵棒端點 5cm	 鐵磁流體分布直徑：0.4~0.6cm 錐狀凸起：4	 鐵磁流體分布直徑：0.4~0.6cm 錐狀凸起：1
觀察分析	<p>1. 鐵磁流體受感應分布範圍與線圈中空位置相對應，中空環面積越大，分布面積就越大。</p> <p>2. 不論環多大，鐵磁流體感應最強的位置都會在鐵棒圓形端點的正上方圓周位置。</p> <p>3. 將線圈下移，遠離鐵棒端點，錐狀凸起數量會減少，分布面積不會改變，還是與環面積相同。</p>	

### (三) 實驗結果：

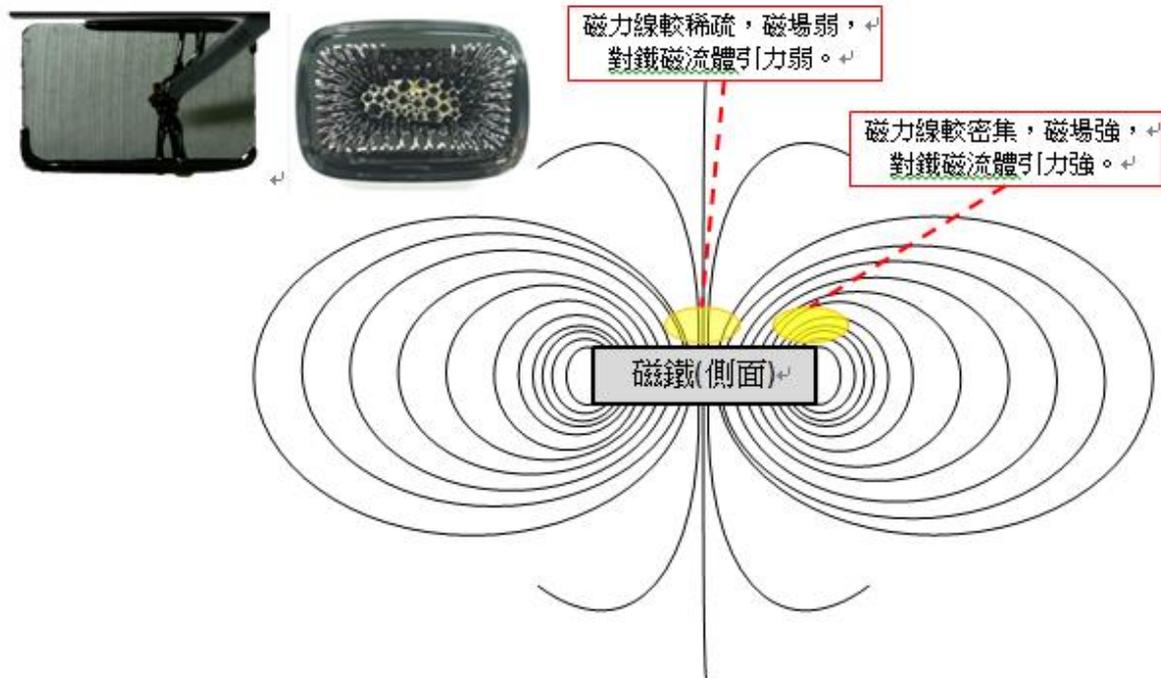
1. 電磁鐵線圈匝數越多，鐵磁流體感應產生的錐狀凸起越多，但分布範圍都在鐵棒圓形端點的正上方，以鐵棒圓周位置最密集。
2. 電磁鐵線圈纏繞越密集，鐵磁流體感應產生的錐狀凸起越多，分布範圍在鐵棒圓形端點的正上方，以及線圈圓周範圍之內，但仍以鐵棒圓周位置最密集。
3. 若鐵棒與線圈環沒有密合，鐵磁流體感應產生的錐狀凸起分布範圍都在鐵棒圓形端點的正上方到線圈環內直徑之間，但仍以鐵棒圓周位置最密集。

### (四) 實驗討論：

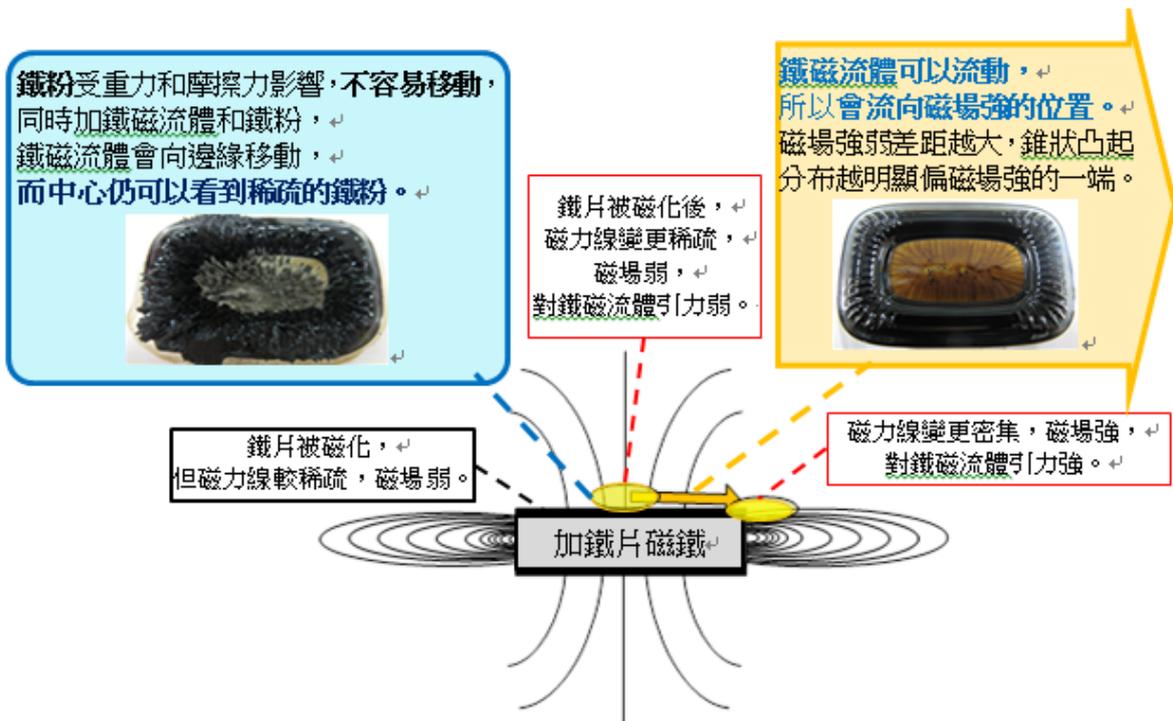
1. 電磁鐵的構造與磁鐵加鐵片相似，通電的線圈與磁鐵相同，鐵棒等於鐵片。加鐵片磁鐵的磁力線會被壓縮密集在磁鐵和鐵片之間，而鐵片也因被磁化而產生微弱磁力。而環繞線圈內側的磁力線也會被壓縮密集在線圈內側和鐵棒之間，由於磁力線變密集，所以磁吸力變強。但不同的是，鐵棒本身被環繞的多圈通電線圈感應而磁化，線圈數越多、越密集，或是電流越強，磁力就越強。

## 陸、研究討論

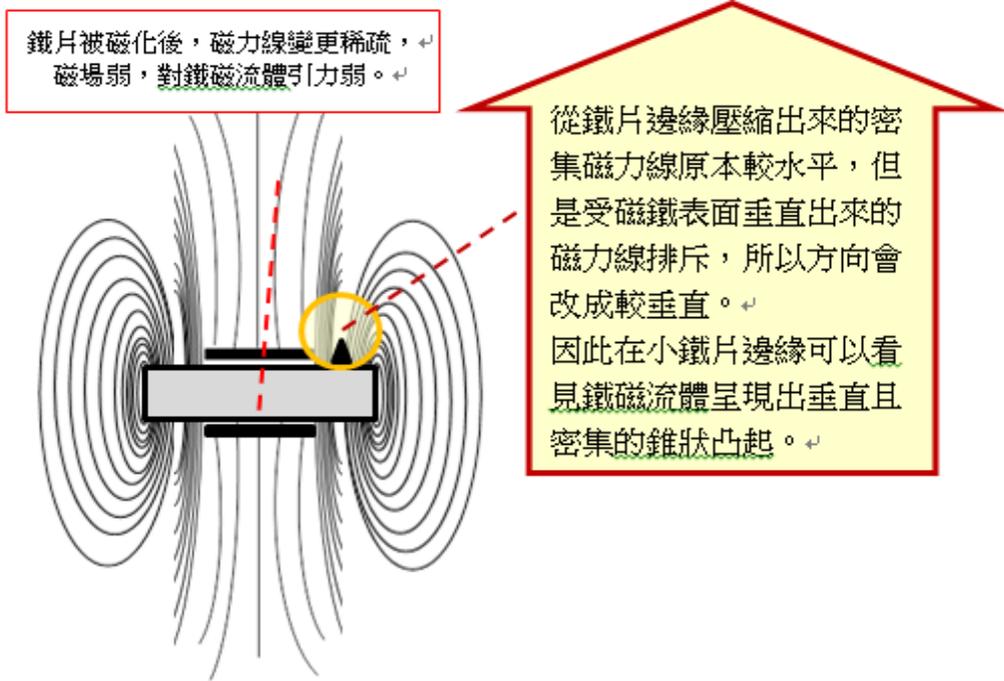
- 一、針對實驗中鐵磁流體會從磁鐵中心流向邊緣及錐狀凸起磁力線集中在磁鐵外緣這二個現象，我們參考有關磁鐵特性的文獻並請教專家後，用圖示呈現我們的推論分析：



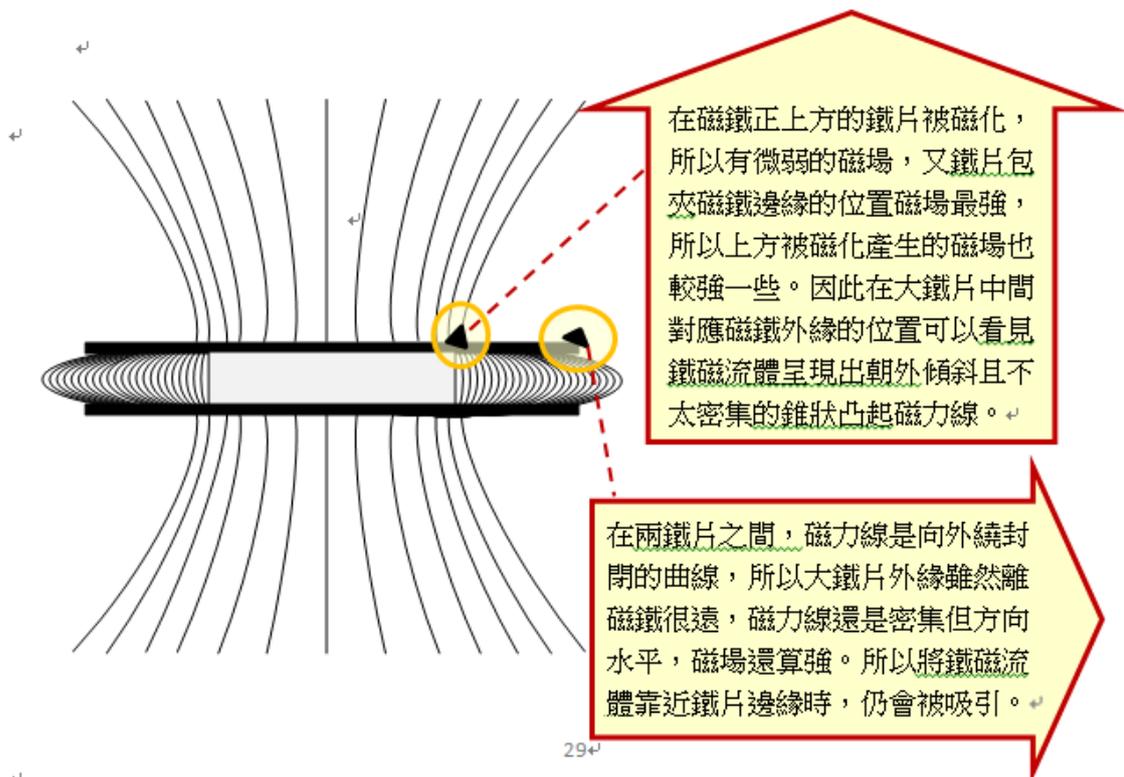
- 二、在加鐵片磁鐵實驗中，鐵磁流體一開始只集中在外緣，中間幾乎沒有錐狀凸起分布，但是將加鐵片磁鐵逐漸遠離鐵磁流體時，中間又開始出現錐狀凸起，遠離一段距離後，鐵磁流體的錐狀凸起又漸漸塌陷消失，只有正中間還有隱約可見的磁力線。針對加鐵片磁鐵錐狀凸起磁力線的變化，以下用圖示呈現我們的推論分析：



三、 加小鐵片後，鐵片正下方的磁力線被壓縮到鐵片邊緣，且方向與磁鐵表面平行，但是鐵片邊緣外側，有未被鐵片覆蓋的磁鐵所形成的垂直向上的磁力線，所以使得從鐵片邊緣壓縮出來的密集磁力線又被排斥向上(如下圖所示)，所以小鐵片邊緣的磁力線最密集，且方向是與磁鐵表面垂直。



四、 加大鐵片後，鐵片正下方的磁力線被壓縮，且方向與磁鐵表面平行，但磁力最強的位置還是在磁鐵邊緣 (如下圖所示)，所以大鐵片感應被磁化時，還是在磁鐵正上方的位置磁場最強，對鐵磁流體的引力最大。



## 柒、研究結論

經過這段時間的研究，我們愈來愈了解鐵磁流體這個物質的奇妙特性，雖然研究過程有遇到一些挫折或困難，不過也都努力克服了！以下，便將我們的研究成果做歸納，提出結論：

- 一、除了鐵粉，鐵磁流體也可以感應磁鐵的磁場，並能顯現將磁力線、磁場強弱等這些抽象的理論模型，具體的呈現出來，非常適合當作研究磁學現象的工具。而鐵磁流體更有以下 2 項優勢，所以是非常好的磁力線觀測器：
  1. 鐵磁流體的優勢在它對磁場強弱的感應非常敏銳，而且具有可流動的特性，容易從磁場弱的位置向磁場強的位置流動，可動態呈現磁鐵上各部位的磁場強弱差異；而且在磁場強弱差異越大時，流速也會越快。
  2. 鐵磁流體更容易以計算分布面積和錐狀凸起數量的量化的方式顯現磁力線概念。
- 二、鐵磁流體感應磁鐵磁場時，可將抽象的磁力線概念以具體的錐狀凸起現象顯現出來。
  1. 當「鐵磁流體」分布的位置與磁力線的方向垂直時(也就是對應到磁鐵最強的 N、S 兩磁極時)，會產生錐狀凸起的現象。產生的錐狀凸起越密集、越細小，代表所感應到的磁力越大；產生的錐狀凸起越疏鬆、越高大，代表所感應到的磁力反而是越小的。
  2. 當「鐵磁流體」分布的位置與磁力線的方向平行時，則不會產生錐狀凸起的現象。但是我們仍可以觀察到鐵磁流體有聚集和隆起的現象，越集中則代表磁力越強。
- 三、把磁鐵磁極端由遠而近靠近鐵磁流體，鐵磁流體感應磁場所顯現的錐狀凸起磁力線分布範圍及面積會越來越集中，並由稀疏變密集、從少變多、從粗變細。而且錐狀凸起的磁力線數量也似乎和距離平方成反比有關係。
- 四、運用鐵磁流體的分布範圍和錐狀凸起的形狀變化進行分析，可以解釋磁鐵加鐵片時以及通電線圈中間插入鐵棒時，磁吸力增強的原因：
  1. 被鐵片包住那一面(或是線圈和鐵棒接觸內側)，磁力線被壓縮轉向，從與磁鐵表面垂直轉向變平行，所以磁場變弱，對鐵磁流體的磁吸力減弱。
  2. 被鐵片包夾的側面，原本只有與表面成弧形或平行的磁力線通過，但是鐵片將磁極一面的磁力線壓縮，使所有磁力線從磁鐵和鐵片接縫處出來(或是從通電線圈和鐵棒接縫處出來)，狹小縫隙處出來的磁力線與磁鐵側面呈垂直，又單位面積通過的磁力線變密集，因此磁場會變強，對鐵磁流體的磁吸力變強。

### 研究有感：

在經歷這一系列的研究後，我們對於鐵磁流體雖然有了不少認識，但也深深覺得對於鐵磁流體顯現的錐狀凸起磁力線變化現象仍有許多值得深入探究的內涵，就如同蘇軾在『題西林壁』這首詩所提的『橫看成嶺側成峰，遠近高低各不同。不識廬山真面目，只緣身在此山中。』恰恰符合我們實際觀察到的現象，也剛好反映我們此刻的心境——只緣身在“磁”“山”中！

## 捌、參考資料

1. 蔡振明。液態磁場觀察器製作。科學教育跨縣市社群。
2. 磁力線。中華百科全書。
3. 鐵磁流體。台中教育大學科學遊戲實驗室。
4. 磁力線。教育部數位教學資源
5. 強力磁鐵。國立台灣師範大學物理系的物理教學示範實驗教室。
6. 何堃山。趣味電氣科學實驗。文笙出版社。2004。

## 【評語】 080114

1. 題材演示新穎，具有吸引力。
2. 能改變相關變因，定性描述結果。
3. 同學能通力合作，團隊精神佳。