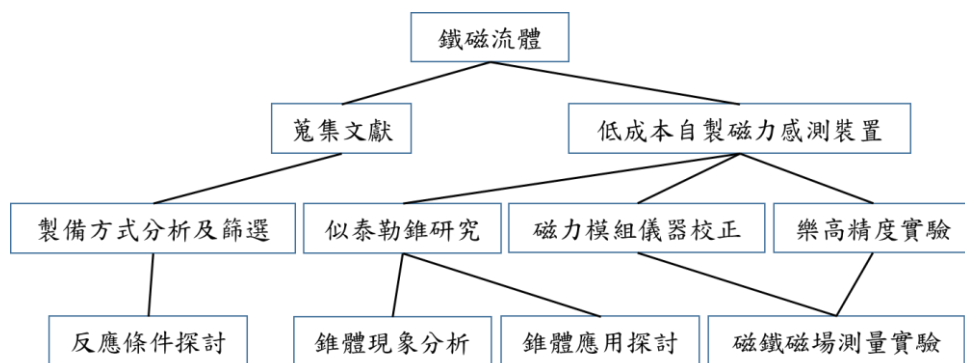


【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：媽媽！我想變成萬磁王！
一、摘要：
鐵磁流體同時具有液體的流動性和固體磁性材料的磁性，由磁性微粒、界面活性劑以及載液混合形成的膠體液體。本報告探討製備鐵磁流體的方式及過程，在化學共沉法中改變滴入氨水的濃度（pH 值），建立一套標準稀釋氨水 pH 值量表，並探討其對產率的影響。本研究使用低成本自製磁力測量裝置，測量磁力數值繪製多張圖表進行分析。從對磁場研究的過程也發現鐵磁流體在受磁鐵吸引時會產生類似泰勒錐之錐體，架設自製觀測設備，觀察多種變因對錐體行為之影響，同時對錐體進行數據分析。此點乃為本研究提出創新科學設計。未來希望應用本研究與微電漿裝置結合，製造出透過操縱磁場控制外觀的裝置，期望改良目前的電漿產生裝置中高汙染且不可撓曲的缺點。
二、探究題目與動機
現代科技日益發達，追求未來便利生活的同時，環保能源與降低汙染為科學研究的首要項目。使用鐵磁流體發電技術的效率有驚人的 60%，相較於火力及核能發電對環境與人體危害的疑慮較小，鐵磁流體也可應用於醫療，利用奈米顆粒磁感應熱療技術治療癌症。此多功能材料在未來會被廣泛應用，但如何能更有效的使用鐵磁流體，檢測材料將為重要課題。本研究希望能使用符合綠色化學原則的實驗方式探討此項材料，減少實驗廢棄物產生，降低對環境的汙染。
三、探究目的與假設
(一)、研究多種鐵磁流體的製備方法及過程（化學共沉法、研磨法、機械粉碎法等），進行統整分析。 (二)、探討化學共沉法製備時 pH 值對鐵磁流體中磁粒四氧化三鐵生成影響。 (三)、透過 Arduino 元件製作磁力感測裝置設備，研究磁鐵產生磁場數值大小及分布空間，並以三維圖形使其視覺化。 (四)、探討不同製作變因（鐵粉濃度、界面活性劑與載液種類、磁場強度）的鐵磁流體受磁鐵磁場作用所產生錐體之外型及上吸反應時間。 (五)、將鐵磁流體生成錐體影片進行數據分析，尋找軌跡方程式等。 (六)、使用鐵磁流體錐體改良微電漿產生裝置。
四、探究方法與驗證步驟
(一)、研究方法 本研究從探討鐵磁流體的製備方法出發，比對出較適合實驗探討的方法後，探討其反應環境對產物的影響，再來藉由自製裝置觀察磁場與鐵磁流體間的關係，發現有趣的錐體現象後進行變因探討與數據分析，再提出錐體之實際應用。



圖一、研究流程圖

(二)、文獻探討

整理多種鐵磁流體製備方法，並彙整各項優缺點如下表一，由於版面限制故呈現少部分。

表一、鐵磁流體製備方式整理

製作方式	優點	缺點
化學共沉法	實驗變因較多，增加實驗彈性。	無明顯缺點。
膠解法	實驗步驟簡易。	只適用於非水系載體的鐵磁流體製作。
機械粉碎法	交給機器製作，減少人力支出。	機械粉碎機取得難度高。
研磨法	直接又簡單的方法。	無法製作出奈米級的超細微粒。
熱分解法	實驗步驟簡單。	超高溫加熱設備取得難度高。

考量各項方法在現階段實作之實際可行性與發展性，本研究主要選定化學共沉法進行研究，其中研磨法實驗步驟簡易，化學共沉法實驗變因多，實驗彈性高。

(三)、化學共沉法

實驗步驟：


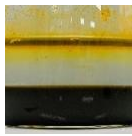
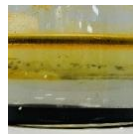
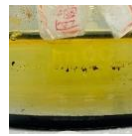
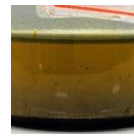
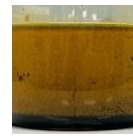
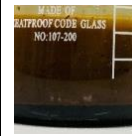





1. 將 0.25M 16mL FeCl_3 (aq) 與 0.25M 8mL FeSO_4 (aq) 混合。
2. 混合鐵水溶液放上加熱攪拌器均勻攪拌，並滴入 0.5M 50mL NH_4OH (aq)，時長約 4~5 分鐘，pH 值 11~12。
3. 將生成 Fe_3O_4 使用磁鐵與 DI water 純化。
4. 加入界面活性劑 2mL $\text{C}_{18}\text{H}_{34}\text{O}_2$ 均勻攪拌。
5. 加入 4mL $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ 均勻攪拌。

反應式： $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + 8\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$

(四)、反應環境探討

研究化學共沉法時發現無法順利製成鐵磁流體，檢查各項實驗步驟後，發現滴加的稀釋氨水為製程重要關鍵。本實驗固定氨水滴加速率、室溫，將 25% 氨水分別取為 0.5/1/2/4/8/16/32mL 稀釋至 50mL 滴入鐵水溶液觀察四氧化三鐵的生成狀態，藉此探討 pH 值對生成鐵磁流體中鐵磁微粒（四氧化三鐵）之影響。將不同濃度稀釋氨水滴入鐵水溶液生成產物使用磁鐵純化並隔水加熱 100 °C，實驗結果整理於下表。*產率計算方式為：(四氧化三鐵質量/純氯化鐵粉+純硫酸亞鐵粉質量)×100%

表二、滴入不同稀釋濃度氨水生成產物整理

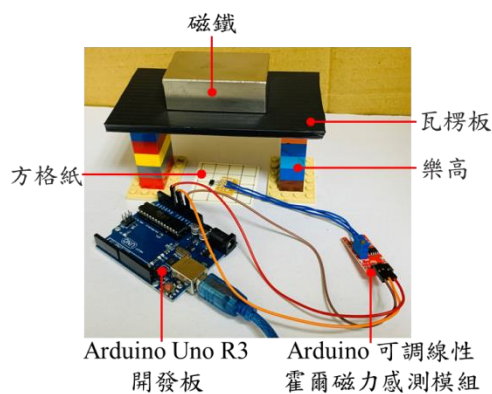
氨水 (mL)	0.5	1	2	4	8	16	32
pH	11.20	11.46	11.71	12.09	12.47	12.83	13.12
滴入氨水後 產物							
純化去水後 產物	-	-					
四氧化三鐵 質量 (g)	-	-	0.452	0.449	0.503	0.476	0.453
產率*	-	-	47.4 %	47.1 %	52.8 %	49.9 %	47.5 %

由實驗結果可以觀察到當滴入稀釋氨水 pH 值低於 11.46 無法生成具磁性四氧化三鐵，氨水 pH 值達 13.12 時生成產物經純化去水後之產物類似三氧化二鐵的褐色。本研究認為導致在不同 pH 值生成不同狀態的氧化鐵原因為，在同一 pH 值中不同狀態的氧化鐵生成速度不一。例如：過高的 pH 值反應環境生成安定的三氧化二鐵速度較快，在本研究指出的 pH 值區間生成四氧化三鐵的速度較快，較低 pH 值生成三氧化二鐵或氫氧化鐵速度較快進而致使四氧化三鐵無法生成。

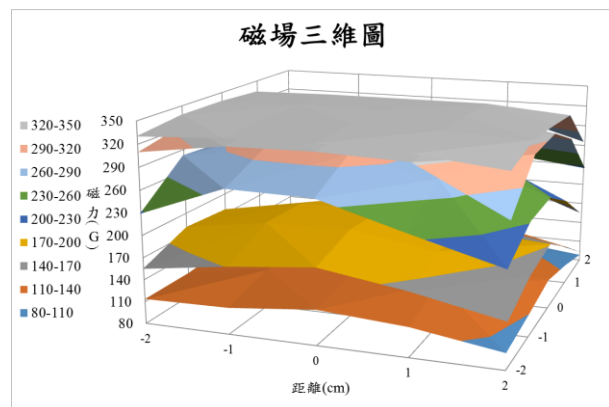
(五)、磁場感測

1. 自製磁力感測裝置與磁場三維圖

為了觀察鐵磁流體在不同磁場強度下的行為，製作了簡易的磁力感測裝置使空間中的磁場分布視覺化。搭建自製磁力感測裝置，使用 Arduino 類比霍爾磁力感測模組（替代高斯計）測量四乘四公分（共二十五個點）的方格紙，測量方格紙的交點取代難度較高的平面無死角磁場測量，平面測量完畢後，再以每 0.95 公分高的樂高加高裝置，初始高度為 0.75 公分，重新測量加高後的平面。最後使用測量完每個平面的磁力數據繪製磁場三維圖。



圖二、自製磁力感測裝置圖



圖三、磁場三維圖

根據以上圖表數值紀錄及磁力三維空間繪圖，發現磁鐵距離感測模組越遠，磁力強度數值下降幅度越大。方格紙的中心 (0,0) 是放置磁鐵的正下方位置，同時也為空間中磁場數值最強位置。藉此本實驗已用一簡單方法自行建立一套可作為下階段磁力研究之基礎的磁力線尺規以供定量分析之基礎，可取代目前市售 FE-2100R 表面磁場分佈測量裝置磁分佈測量儀。

2. Arduino 磁場感測模組校正：

亥姆霍茲線圈通入 2 安培電流製造電磁場，透過公式計算磁場強度理論值為 19.3G，使用 Arduino 磁場感測模組測量數值為 19.6G，再計算兩數值之誤差。

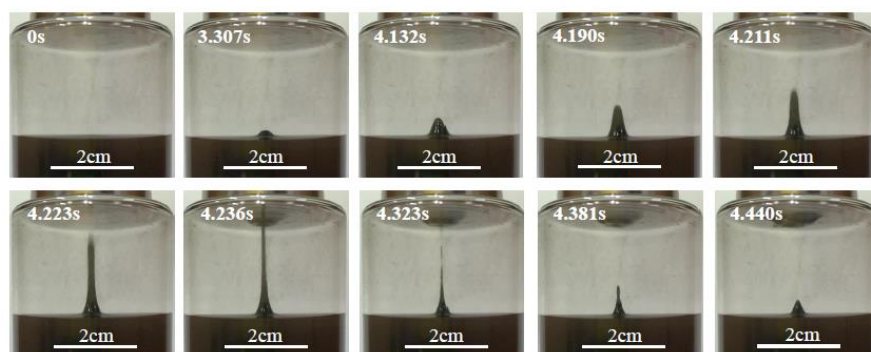
$$\text{理論值} = B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 0.1^2}{2(0.1^2 + 0.14^2)^{3/2}} \approx 19.3\text{G}$$

$$\text{誤差} = \left| \frac{19.6 - 19.3}{19.3} \right| \times 100\% \approx 1.3\%$$

B：磁場數值、 μ_0 ：磁常數、
R：線圈半徑、I：電流、
z：兩線圈距離

(六)、似泰勒錐實驗

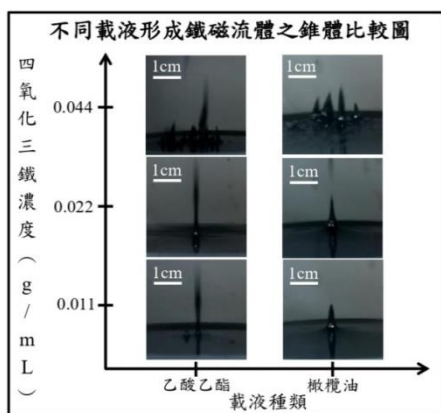
本研究將磁鐵至於流體上方吸引時，鐵磁流體會被吸起一個類似泰勒錐之錐體，待錐體形成到臨界高度後會脫離液面吸附至磁鐵。(由於版面限制，以下實驗均呈現部分)



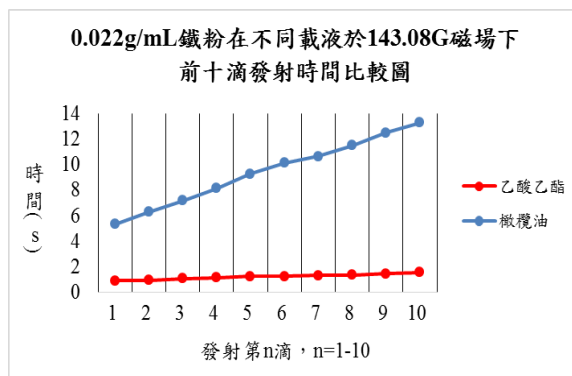
圖四、鐵磁流體似泰勒錐形成流程圖

1. 鐵磁流體製作條件對形成錐體之影響

探討改變鐵磁流體的製作變因對生成似泰勒錐的錐體外型，變因有四氧化三鐵鐵粉質量、界面活性劑種類、載液種類、磁場強度（樂高結構高度），觀察錐體外形的差異，選定實驗再現性高、外型穩定的錐體進行深入探討。



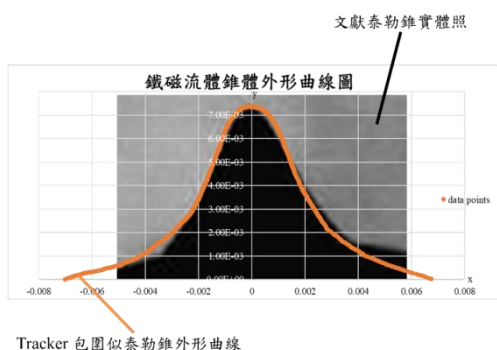
圖五、錐體不同變因實體比較圖



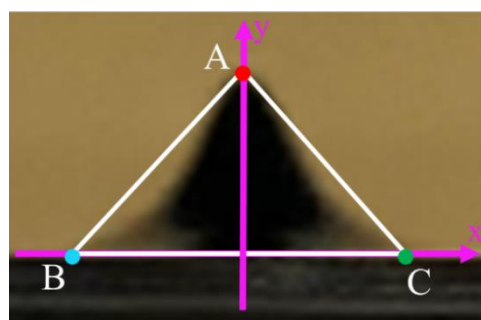
圖六、錐體不同變因發射時間比較圖

2. 似泰勒錐數據分析

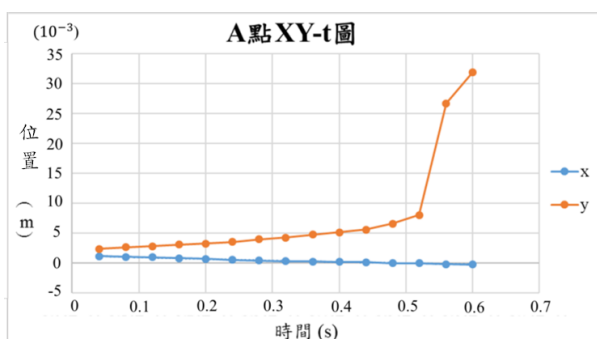
本研究使用 Tracker 軟體分析似泰勒錐影片，繪製出錐體外型曲線，如圖七。設質點計算錐體加速度，會出圖表觀察運動情況，如圖九。接著初步擬合出錐體曲線方程式，如圖十。



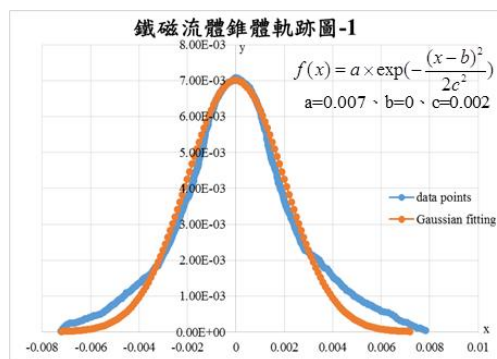
Tracker 包圍似泰勒錐外形曲線



圖八、質點示意圖



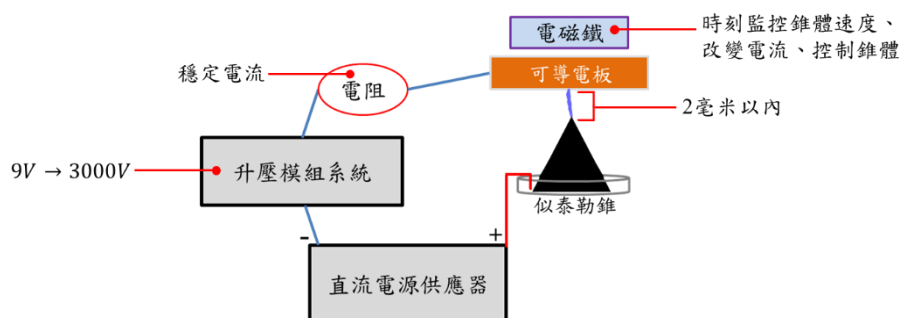
圖九、運動分析圖



圖十、錐體曲線擬合方程式

3. 錐體應用

控制磁場固定住錐體形狀，並通電產生電漿，改善電漿產生裝置，利用此來克服電漿顯示螢幕面板的限制，並取代汞蒸氣的使用，製作更環保的裝置。



圖十一、鐵磁流體似泰勒錐產生電漿設計圖

五、結論與生活應用

- (一)、經文獻探討及實驗認為化學共沉法是最適合實驗探討的鐵磁流體製作方式。
- (二)、本研究指出氨水 pH 值乃為製備鐵磁流體時的關鍵因素，pH 值在 11.71-12.83 生成四氧化三鐵效果較佳，pH 12.47 生成四氧化三鐵產率較高。
- (三)、為觀察鐵磁流體在磁場下的行為，本研究自製了低成本的磁力感測裝置，以 Arduino 類比霍爾磁力感測模組取代高斯計，樂高取代光學平台架設裝置。
- (四)、將磁鐵放置於鐵磁流體上方，鐵磁流體液面中受到磁場作用最強的一個點會被吸成一個錐體，此錐體外形極度類似於泰勒錐，將其取名為似泰勒錐。
- (五)、為了觀察改變鐵磁流體製作變因對似泰勒錐上吸反應的影響，進行了多組實驗，發現實驗條件為鐵磁流體四氧化三鐵鐵粉濃度 0.022g/mL、油酸 10mL、橄欖油 35mL、磁鐵距五層樂高 (磁場強度 143.08G) 時產生的錐體較易於觀察、分析。
- (六)、利用 Tracker 軟體設質點包圍似泰勒錐外圍形成曲線與文獻中泰勒錐比對，發現外形吻合。並追蹤錐體運動軌跡，繪出 XY-t、V-t、a-t 圖分析運動過程。
- (七)、未來希望能完善似泰勒錐觀察裝置的功能，使用 Tracker 軟體求得整個錐體加速度，並紀錄錐體質量，透過計算構建出整個錐體在空間中的受力情形，剖析似泰勒錐形成過程，並計算出鐵磁流體的黏滯度、密度、流體力學等。
- (八)、未來希望完善似泰勒錐的相關計算，設計出一套簡易計算鐵磁流體相關數據的系統。另外將似泰勒錐可塑形的特性應用在電漿上，克服電漿顯示面板的外型限制，以及減少有毒性的汞蒸氣使用，對綠色化學盡一份心力。

參考資料

- 李德才 (2010)。磁性液體密封理論及應用。北京市：科學出版社。
- 邱姿蓉、黃蕙君 (2015)。趣味化學玩具：神奇鐵磁流體的玩法與合成。臺灣化學教育。
- 楊馥瑜 (2018)。應用於檢測水溶液中金屬離子之微電漿裝置之設計 (碩士論文)。臺北：國立臺灣大學化學工程系。