【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：似黏非黏——鐵磁流體之黏滯性探討

一、摘要：

本研究以各種不同的材料、方式製作鐵磁流體，並藉此了解藥品及其基本特性、危險性。且鑽研多種操縱變因對鐵磁流體之影響，再以相同原理去挖掘其餘製備方式。在實驗結果發現，形成鐵磁流體的物質都脫離不了這三種：鐵磁微粒子、載液、介面活性劑，這種穩定的膠狀液體靜態時無磁性吸引力， 若是置入磁場時則會顯現順磁性，這種既有液體流動性又可展現固體磁性的物質，不僅有相當高的學術研究價值，而在減震、光顯示亦或聲音調節等…多種生活應用上必然也能涵蓋相當廣泛的領域。

二、探究題目與動機

當初在與指導老師討論時想到，曾在高雄科工館參觀時內有展出一項有趣科學展品——鐵磁流體。之後就把這項主意提出來給未來科展方向當作參考，而後來在網路上陸續查出鐵磁流體在科學工程上的應用，其中包含航太、醫學、光學等，可見雖然平時不常聽聞到鐵磁流體，但其應用在生活中的用途算是相當廣泛，也因此引發我們一探究竟的求知慾。

三、探究目的與假設

1. 分析鐵磁流體組合成分及性質。
2. 探討化學共沉法之成效。
3. 比較以不同速率滴定氨水製備鐵磁流體後所產生的結果。
4. 比較以不同介面活性劑製備鐵磁流體後所產生之效果。

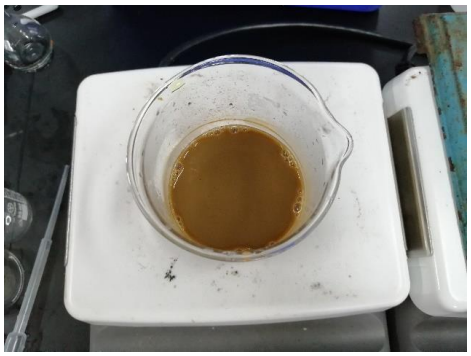
四、探究方法與驗證步驟

一、化學共沉法製備鐵磁流體實驗

1. 分別配置 16 毫升 0.25M 的氯化鐵水溶液、8 毫升 0.25M 的硫酸亞鐵水溶液、50 毫升 0.5M 的氨水。
2. 將 16 毫升 0.25M 的氯化鐵及 8 毫升 0.25 的硫酸亞鐵倒入燒杯中。
3. 以 50 毫升 0.5M 的氨水緩慢滴入錐形瓶中，並攪拌之。
4. 靜置後，將上層的水倒出加入蒸餾水。
5. 清洗產物多次，除去多餘的氨水。
6. 將強力磁鐵至於燒杯底部，吸引磁性微粒子，再將多餘水分倒出。
7. 加入 2 毫升的油酸後，以玻棒充分攪拌均勻。
8. 再加入 4 毫升的乙酸乙酯，亦以玻棒充分攪拌。

在一開始以化學共沉法製備鐵磁流體時，就遇到了一些問題。在氨水全數滴定完畢時，發現燒杯中液體的顏色很不尋常，燒杯中也沒有任何磁性物質(如圖一)。為了找出問題，依序換

了新的氯化鐵、硫酸亞鐵、氨水，最終發現是氨水的問題，經過文獻查詢，其原因是氨水的濃度不足，在 pH 值不夠高的環境下無法生成四氧化三鐵。

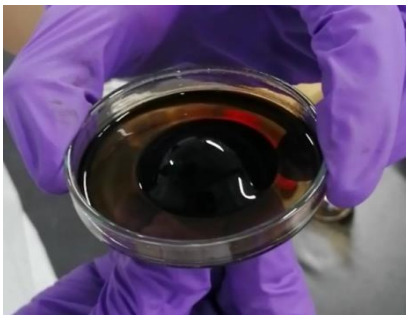


圖一、化學共沉法製備鐵磁流體之異狀(研究者自製)

二、改變氨水滴定速率實驗及比較

對於化學共沉法，除了動手操作實驗外，還有針對滴定氨水的速率作為操縱變因，分別以 50mL/min、10mL/min、5mL/min 來操作。

表一、滴定氨水的時間不同之外觀比較(研究者自製)

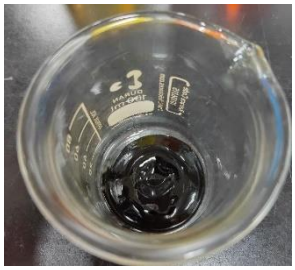
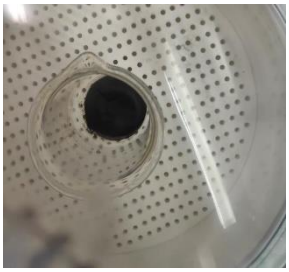
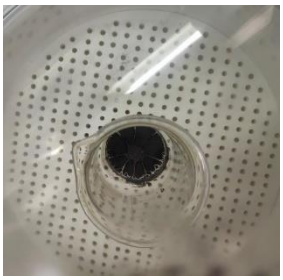
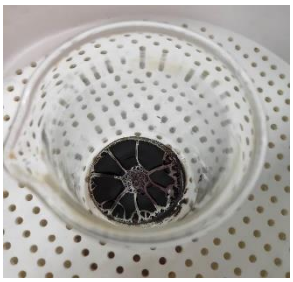
滴定速率 50mL/min	滴定速率 10mL/min	滴定速率 5mL/min
		

表二、滴定氨水的速率不同之性質比較表(研究者自製)

	滴定速率50mL/min	滴定速率10mL/min	滴定速率5mL/min
磁性粒子顆粒大小	大	小	小
流動性	低	高	高
外觀呈現針狀	無	無	有
受磁力影響	弱	強	強
黏稠度	高	低	低

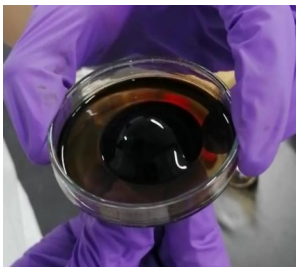
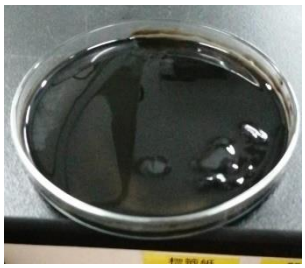
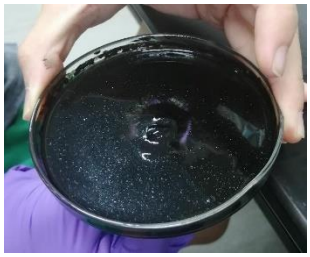
三、解決多於廢液之操作

表三、以乙醇清洗及置入抽氣機效果之比較(研究者自製)

以乙醇純化兩次	抽氣 10 分鐘	抽氣 20 分鐘	抽氣 30 分鐘
			

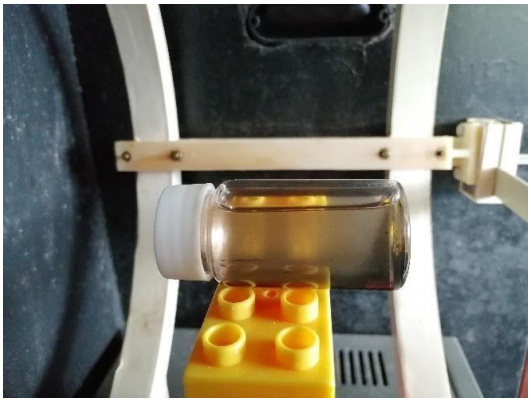
四、改變多種介面活性劑之實驗及比較

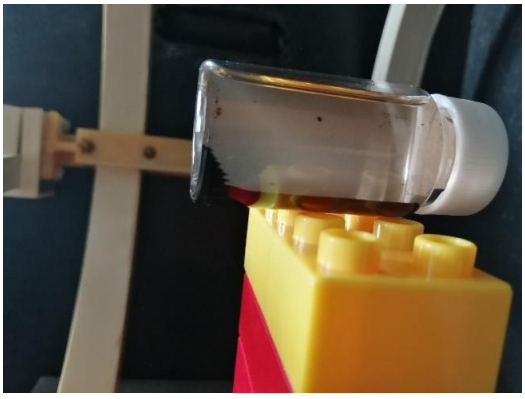
表四、以不同介面活性劑之比較(研究者自製)

油酸	檸檬酸	triton X-100	丁二酸
			

在未來本研究預期測出鐵磁流體在有無磁場情況下之黏滯度，所以鐵磁流體是否均勻混合是非常重要的條件，而介面活性劑是取決於鐵磁流體是否均勻混合的關鍵因素之一，於是分別利用油酸、檸檬酸、triton X- 100、丁二酸等介面活性劑來比較之間流動性的差異，在後續的實驗也有較明確的方向。

五、鐵磁流體置入荷姆霍茲線圈之情形





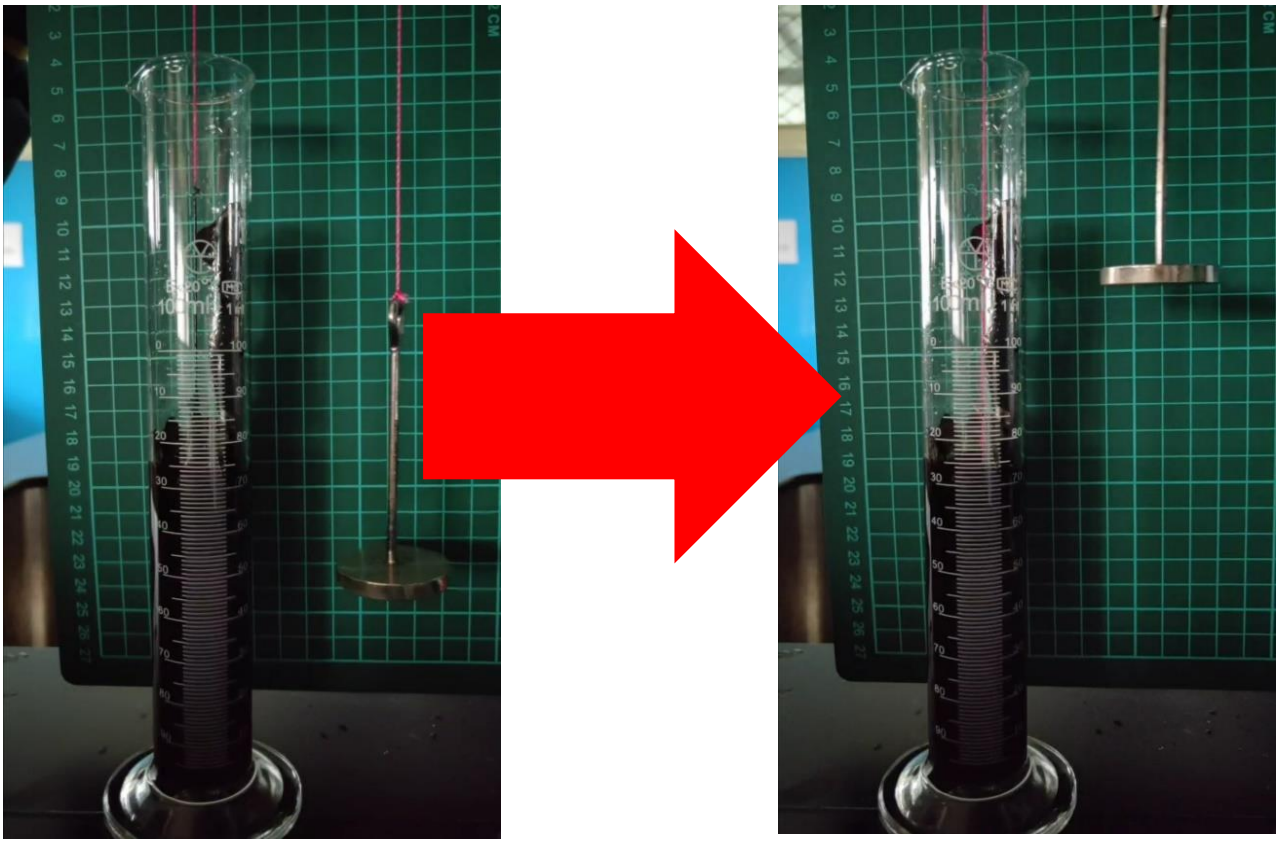
圖二、鐵磁流體置入荷姆霍茲線圈之情形(研究者自製)

針對鐵磁流體性質在有無磁場下之改變，前提是擁有能夠供給一穩定磁場的設備，且易於觀察並能計算出磁場大小，經過查詢及與教授討論，決議出荷姆霍茲線圈可作為我們的實驗器材(如圖二)，此線圈由兩個結構與大小相同的環形線圈組合而成，兩線圈面平行並且共軸，相

距約 7.5 公分，可控制電壓大小(最大 300V)、電流大小(最大 3A)及流向。

六、測得鐵磁流體之黏滯度

為了測得鐵磁流體之黏滯度，我們將細線綁上一不被磁力吸引之小球，搭配重物及定滑輪(如圖三)，再利用相機全程錄影並觀察小球從鐵磁流體之液面至液底的時間及距離，算出剪力和速率，再藉由阻力公式及斯托克斯定律，即可得出黏滯度。



圖三、簡易測量黏度之方法(研究者自製)

◎斯托克斯定律：$v = \frac{2}{9}\frac{(\rho_p - \rho_f)}{\mu} g R^2$

其中：

μ(黏滯度)：所求

v(速度) $\approx 15.5(\frac{cm}{s})$：以軟體tracker追蹤重物而得

ρ_p(物體密度) $\approx 10.74(\frac{g}{cm^3})$ ：以物體重量及體積之比值而得

ρ_f(流體密度) $\approx 0.96(\frac{g}{cm^3})$ ：以流體重量及體積之比值而得

g(重力加速度) $\approx 9.8(\frac{m}{s^2})$ ：已知

R(半徑) $\approx 1.0(cm)$ ：以尺測得球體之直徑

藉由實驗得出的數據及斯托克斯定律，可計算出：

$$v = \frac{2}{9}\frac{\rho_p - \rho_f}{\mu} gR^2$$

$$\Rightarrow 15.5 = \frac{2}{9} \times \frac{(10.74 - 0.96)}{\mu} \times 9.8 \times 1^2$$

$$\Rightarrow 69.75\mu = 9.78 \times 9.8 = 95.844$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{95.844}{69.75} \approx 13.74(\frac{kg}{m \times s})$$

五、結論與生活應用

一、化學共沉法之成效

在上述的製備鐵磁流體之手法中，特別針對化學共沉法做比較深入的研究。實驗過程中我們發現滴入油酸及乙酸乙酯時油水不互溶，使得周圍產生多於廢液的問題，不過利用抽氣機將多餘的水分抽乾，不僅解決了多於廢液的問題，也讓抽乾之後的四氧化三鐵粉更方便秤重，易於掌控後製作業的比例分析。

二、不同速率滴定氨水之比較及討論

實驗結果可發現，滴定氨水的速率不同，生成物的外觀和性質也有所不同。從實驗中可大致得出概論，我們認為快加氨水時比慢加氨水時得到的磁性顆粒粒徑較大，且分散穩定性比慢加氨水時要差，也許是因為快加氨水時瞬間形成的晶核太多，來不及擴散而容易凝結導致顆粒相對較大、不穩定而沉降；再者，也許是純化過程中，未將流體內多餘的水過濾乾淨，導致後來分別滴入油酸及乙酸乙酯時發生油水不互溶，四周產生多於廢液的現象。

三、不同介面活性劑製備鐵磁流體之成效

經實驗觀察後發現，利用油酸和 triton X-100 能使整個鐵磁流體均勻混和，不過檸檬酸和丁二酸無法鐵磁流體均勻混和，於是這兩者不列入未來實驗的考量之中，而在油酸和 triton X-100 之間比較，由於 triton X-100 較黏稠，製作出的鐵磁流體流動性也相對低。

四、簡易測量黏度之成效及討論

本研究設計的簡易方法最終計算出鐵磁流體的黏滯係數大約等於 13.74，但由於不確定是否符合實情，未來打算針對已知黏滯度之藥品帶入本研究設計的實驗中，再計算出是否符合，以得知設計的實驗是否完善。

五、未來展望及應用

本研究對於鐵磁流體黏滯度的檢測由於存在不少難以掌控的因素，在實驗時也較難直接地取得數據，例：在測量下沉速度時由於管徑稍小，使小球受到的阻力增加；以尺無法精準地測量球體之直徑等，在計算上的誤差也是不好避免的。因此經過與老師的討論過後，可以嘗試以同一種方式測量水及各種藥品之黏滯度，再以其藥品之真實密度加以比較。

在每一組實驗後，幾乎是透過肉眼觀察來做比較，較少絕對的數據，因此我們在未來希望可以操作或自行製作一些儀器設備來檢測每一組的鐵磁流體，像是測出它的黏度、磁力，或是當磁鐵靠近時的磁力線分布……，日後若可穩定測量鐵磁流體之黏滯度，再將此搭配荷姆霍茲線圈加入磁場並比較，甚至控制不同強度、電流等變因，進而延續更深入的研究。

參考資料

1. 王思雅、王暄荏與盧淑君。跳舞的黑色精靈－論磁性流體的製作與在磁場中的表現。

取自。https://www.shs.edu.tw/works/essay/2015/03/2015033012262984.pdf

2. 王鳳英(2017)。界面活性劑的原理與應用。高立出版社：王鳳英
3. 維基百科。2021 年 1 月 7 日，取自。https://en.wikipedia.org/wiki/Stokes%27_law
4. 吳怡臻、姜甜香、蔡筱萱。鐵磁流體之製備與研究。

取自。https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race- 1/49/pdf/030213.pdf

5. 臺灣化學教育。邱姿蓉、黃蕙君（2014 年 12 月 13 日)。趣味化學玩具：神奇鐵磁流體的玩法與合成。

取自。http://chemed.chemistry.org.tw/?p=4118