

第一階段 研究訓練階段

一、近兩年學校獨立研究課程之規劃：

本校一直將獨立研究課程納入資優教育核心課程，並配合學習內容，由教師逐步引導自學習知識延伸、找尋研究主題、設計相關研究過程。另獨立研究的實施，也提供了資優學生對於人文社會議題有興趣者一個良好的發揮空間，因此，積極鼓勵人人皆可參與獨立研究，故本校訓練及規劃大致如下：

（一）成立資優討論室：

本校為鼓勵資優學生投入獨立研究及科展，設立專屬的研究室，研究室內提供電腦、印表機、單槍及各類相關書籍，使資優學生能有獨立的空間可以進行資料查詢、小組討論、發表演練及簡易實驗。

（二）每學期辦理資優教育講座：

辦理不同內容（科學、生態、數學、語文、情意）的資優教育講座，透過與教授及講師對話的過程，為資優學生注入不同的創意思維。

（三）辦理資優教育校外教學參觀：

輔導室每學期規劃一至二次的資優班校外教學參觀活動，參觀內容包含公共圖書館及博物館運用、大學科學中心、科學展覽會及高中資優（科學）班成果發表會…等，期望透過辦理資優參訪活動，強化資優學生資源運用能力並增長見聞，以儲備獨立研究創作的能量。

（四）辦理教師增能研習：

輔導室於每學年規劃辦理資優教育增能研習，邀請於獨立研究指導領域專家或具豐富實務經驗的教師到校分享獨立研究指導理論及實務，期望透過教師增能，可拓展師生研究的觸角及能力，以不同的視野去探索研究問題，並期在研究過程中達到師生共學、共思及共贏的成效。

二、學校如何提供該生獨立研究訓練

（一）辦理獨立研究說明會：

本校每年為學生辦理獨立研究說明會，讓學生能了解獨立研究的研究過程及方法，包含如何找研究題目、找相關指導老師、研究相關

書籍資料、各科研究方法的介紹、內容撰寫的架構等，並且架設本校獨立研究網站，提供指導老師及學生交流的專區。

(二) 辦理複審說明會、模擬複審訓練：

針對進入獨立研究複審的同學辦理複審說明會，指導學生如何製作簡報並說明複審的注意事項；另外聘請學校各科有經驗的老師們共同為學生做模擬複審的答問訓練，指導學生上台的台風、口語的流暢性並且加強學生研究內容的邏輯性。

(三) 辦理資優班週會：

於每學期辦理資優班週會，請資優班同學上台發表學習成果，經由此過程使學生逐步演練口說報告能力及電腦簡報軟體運用。另在發表過程中，接受其他資優班同學的詢問，以訓練學生批判性、邏輯性思考。

(四) 辦理獨立研究成果發表會：

邀請當年度獨立研究獲獎同學說明獨立研究參賽歷程及心得，並進行研究報告發表，透過分享交流增強校內學生參與獨立研究的意願，並以同儕支持提升學生在研究歷程中相互支持、並提升批判性思考及解決問題的能力。

由於上述措施的推動，本校資優學生參與獨立研究文件數量逐年增加，且年年獲獎，平日之耕耘已有豐碩的成果。

第二階段 獨立研究階段

壹、 研究動機

最近，在科學研習營中看到老師做了一個實驗：把鐵粉撒在磁鐵上，就可以顯現出看不到的磁力線。後來，老師又教了一些有關電學的知識，我們便想到電力線停留在理論階段，無法顯現，但在我們學到電鍍的原理以後，我們發現因為電鍍時金屬離子的移動方向會受到電場影響，因此在負極析出時會形成電力線的形狀，但我還是不知道如何顯現出最明顯的電力線，因此我找了我的同學，開始進行研究。

貳、 擬定正式計畫、 研究問題 及工作進度表

一、 擬定正式計畫

- (一) 確認在濾紙上是否可以呈現出電力線。
- (二) 若計畫(一)可行，則將依序探討電壓、濃度、兩電極之間的距離、直流電與交流電、電極的形式等影響電力線的因素。

二、 研究問題

- (一) 是否能利用電鍍的原理可呈現出電力線
- (二) 比較不同濃度的溶液對其所呈現電力線的形狀。
- (三) 比較不同電壓大小對其所呈現電力線的形狀。
- (四) 比較不同電極之間的距離對其所呈現電力線的形狀。
- (五) 綜合上述，找出能呈現電力線的最佳操作條件。
- (六) 利用上述所實驗出電力線的最佳操作條件，改以銅片當電極，觀察對其所呈現電力線形狀的影響。
- (七) 利用上述所實驗出電力線的最佳操作條件，比較不同電解質對其所呈現電力線形狀的影響。

三、 工作進度表

項目/週次	1-4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
擬定主題													
尋找指導 老師													
準備先備 知識													
彙整文獻													
擬訂計畫													
實驗													
彙整實驗 結果													
下結論 〔討論+打 報告〕													
修改													

參、 彙整文獻資料

一、電鍍

電鍍大部分常用的用法就是將你想保護的金屬物品度上一層活性較上者低的金屬，來用以防鏽，簡單的說就是把這樣的一個東西鍍上一層金屬，讓它不要生鏽（如下圖）。



既然它對我們這麼地有用，那它是怎麼運作的呢？就讓我來解說吧！

首先我們要先了解電鍍的運作原理。

(一) 電鍍呢，它其實是一種電解反應，換句話說就是溶液中的金屬離子會在負極接受電子而析出，而正極是金屬溶解成金屬離子的地方。

(二) 電鍍需用直流電，被鍍物接在負極，擬鍍金屬接正極，電鍍液需有擬鍍金屬的離子。

(三) 注意事項：

1. 電鍍前必須把被鍍物表面處理乾淨，鏽斑用砂紙磨除，油汗以氫氧化鈉容易洗乾淨。

2. 為了避免銅對環境造成汙染，通常在水溶液中加入銅絲絨，將銅離子還原成銅，再將廢液回收，反應式如下： $Fe + Cu^{2+} \rightarrow Fe^{2+} + Cu$

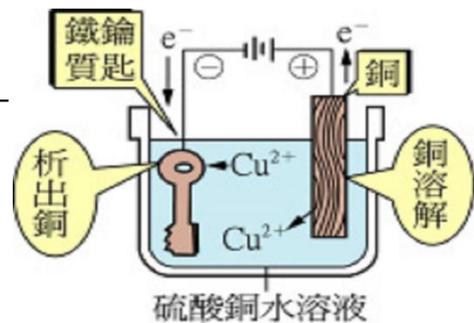
(四) 電鍍的反應式：

1. 硫酸銅解離式： $CuSO_4 \rightarrow Cu^{2+} + SO_4^{2-}$

2. 正極反應： $Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^{-}$

負極反應： $Cu^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Cu$

3. 全反應式： $Cu(\text{正極}) \rightarrow Cu(\text{負極})$



(五) 本實驗使用電鍍負極反應的原理，銅離子會受電場影響，因此析出時會顯現出電力線。

二、莫耳濃度

莫耳濃度 = 莫耳數 / 體積 **[L]**

莫耳數 = 質量 / 分子量

本實驗使用莫耳濃度的原因是化學反應式中的係數（如 $1Cu \rightarrow 1Cu^{2+} + 2e^{-}$ ）表示此藥品的莫耳比（ $Cu:Cu^{2+}:e^{-} = 1:1:2$ ），因為化學反應式與重量百分濃度無關，為了調配化學藥品的劑量，本實驗使用莫耳濃度。

(一) 為了探討不同濃度的溶液（0.05M、0.1M、0.2M）對其所呈現電力線的形狀與不同電解質（硫酸銅、硫酸鋅）對其所呈現電力線的形狀，因此我們查了硫酸銅、硫酸鋅的分子量。

(二) 硫酸銅：分子量 159.609

⇒ 假設調配 50ml、0.05M 的硫酸銅水溶液需要硫酸銅 x 克

$$\text{莫耳數} = \text{質量} / \text{分子量} = X / (159.609)$$

$$\text{莫耳濃度} = (X / 159.609) / (0.05) = 0.05$$

$$\therefore X \doteq 0.4 \text{ (g)}$$

$$\therefore 0.1M \text{ 要 } 0.4 \times 2 = 0.8 \text{ (g)}$$

$$\therefore 0.2M \text{ 要 } 0.8 \times 2 = 1.6 \text{ (g)}$$

(三) 硫酸鋅：分子量 161.47

⇒ 假設調配 50ml、0.05M 的硫酸鋅水溶液需要硫酸鋅 y 克

$$\text{莫耳數} = \text{莫耳數} = \text{質量} / \text{分子量} = Y / (161.47)$$

$$\text{莫耳濃度} = \text{莫耳數} / \text{體積 [L]} = (Y / (161.47)) / 0.05 = 0.05$$

$$\therefore y \doteq 0.4 \text{ (g)}$$

$$\therefore 0.1M \text{ 要 } 0.4 \times 2 = 0.8 \text{ (g)}$$

$$\therefore 0.2M \text{ 要 } 1.6 \times 2 = 1.6 \text{ (g)}$$

三、電力線

法拉第還創立了一種幾何圖像的電力線模型來描述空間各位置的電場性質，甚至在當時，電力線還被認為才是電荷之間有靜電力相互作用的真實媒介。以現代的觀點來看，電力線雖然是不存在的虛擬曲線，但透過電力線的描繪來取代計算空間各個位置的電場，對於我們觀察或理解電荷在其周圍建立的電場性質，有相當的幫助。

電力線 (line of electric force) 是電場中的有向曲線，電力線上各點的切線方向都與該點之電場方向平行。圖 1(a) 為單一正電荷周圍之電力線；圖 1(b) 為單一負電荷周圍之電力線，紅色有向曲線代表電力線。

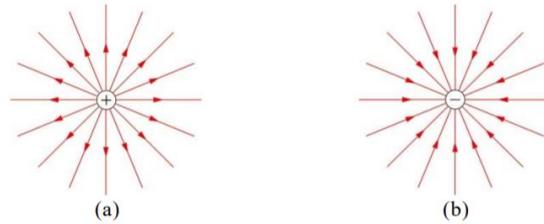


圖 1 (a) 為正電荷(b)為負電荷的電力線分佈

圖 2(a)為鄰近的兩個等量同性電荷周圍之電力線；圖 2(b)為鄰近的兩個等量異性電荷周圍之電力線。由電力線的定義可知，電力線上

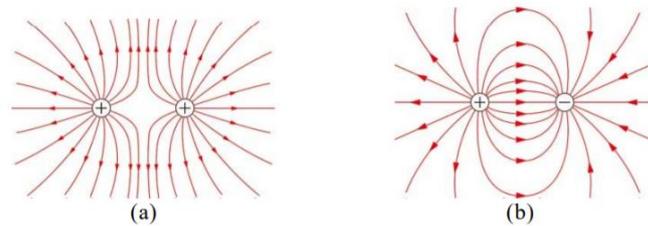


圖 2

各點的切線方向，便是該點電場的方向，因此電力線不會相交。

由圖 2 (b) 可看出電力線由正電荷所發出而中止於負電荷。下圖 3 為電量 $2q$ 與 $-q$ 的兩個異性電荷周圍的電力線，愈接近電荷的電場強度愈大，且其電力線愈密集。法拉第構想由正電荷所發出的電力線數或終止於負電荷的電力線數須正比於其電量，在圖中自電量 $2q$ 的電荷發出的電力線數目是進入到電量 $-q$ 之電荷的電力線數目的 2 倍，而電力線的密集程度代表電場量值。電力線藉由描述電荷在其周圍產生的電場，可以了解電荷在空間所形成的特殊性質。

<p>Figure 3 shows two charges of unequal magnitude and opposite sign. The larger positive charge is labeled $2q$ and the smaller negative charge is labeled $-q$. Red lines with arrows radiate from the $2q$ charge, and some of them terminate at the $-q$ charge. The lines are more densely packed near the $2q$ charge.</p>	<p style="text-align: center;">電力線的概念示意圖</p> <p>Figure 4 is a collection of six diagrams illustrating electric field lines: (a) a single positive charge with lines radiating outwards; (b) a single negative charge with lines radiating inwards; (c) two equal positive charges with lines repelling each other; (d) two unequal positive charges with lines repelling each other; (e) two unequal negative charges with lines repelling each other; (f) two parallel plates with opposite charges, showing uniform field lines between them.</p> <p style="text-align: center;">圖 5-17 電力線的概念示意圖</p> <p style="text-align: center;">第 5 章 電容及靜電</p>
<p>圖三：鄰近的兩個不等量異性電所生之電力線</p>	<p>圖四：常見電力線</p>

四、電場：

(一) 電場定義：凡靜電力所能及的空間，此空間即形成電場

(二) 電場強度：單位電荷所受靜電作用力的大小，即 $E = \frac{F}{Q}$

	MKS 制
E(電場強度)	牛頓/庫侖(N/C)
F(作用力)	牛頓(N)
Q(電量)	庫侖(C)

1. 電場強度具有大小及方向。
2. 正電荷所受作用力的方向即為電場強度之方向。

五、調配溶液注意事項(調配 0.05M 的硫酸銅水溶液 50ml)

- (一) 秤取硫酸銅 0.4 克並置於燒杯 (如圖一)
- (二) 倒約 30 克的水於燒杯中，使其溶解 (如圖二)
- (三) 將調好的硫酸銅水溶液倒入量瓶中 (如圖三)
- (四) 將水加滿至 50ml

		
圖一	圖二	圖三

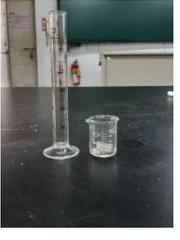
註：絕不可直接把硫酸銅加入 50ml 的水中，會影響體積

肆、資料分析

一、準備器材

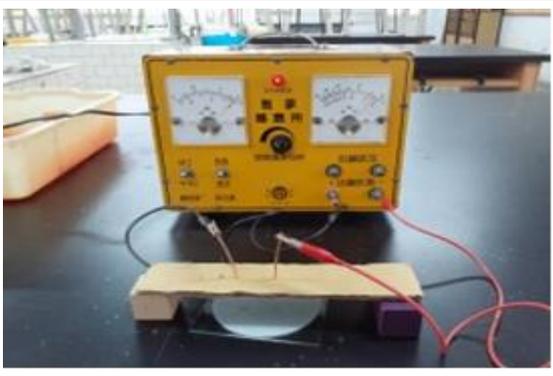
大部分的電鍍都在燒杯內進行，但這樣金屬只能在被鍍物表面析出，無法顯現出我們想看到的電力線，因此經過討論之後，我們決定在濾紙上進行電鍍，因為這樣金屬才會析出在濾紙上，顯現出電

力線的形狀。

				
燒杯	硫酸銅	量筒	電源供應器	硫酸銅溶液
				
電子秤	試紙	刮勺	滴管	

本實驗所使用的器材

準備完之後，我們實際做了一組實驗（0.05M 2cm 1V）後，發現需要有一個支撐銅棒的東西來支撐銅棒，避免短路。所以我們用了木頭積木和厚紙板，做了一個支撐架，如下圖。

	
自製支撐架(積木+紙板)	電鍍情形

實驗裝置圖

開始進行實驗後（0.05M、2cm、1v），我們發現可能影響實驗結果的可能變因有電壓、濃度、兩電極之間的距離、直流電與交流電、電極的形狀，因此本實驗要比較這些變因（以這些變因為操縱變因）對呈現出的電力線的影響。

二、 使用銅片電鍍

因為銅片一定要是全平的邊緣才可以服貼在濾紙上（以利通電），但我們拿到的銅片都不是平的，因此要用手折一下，並拿鐵鎚輔助敲平。為了讓鱷魚夾可以夾起銅片，所以銅片底端要先凹起來。為了使銅片固定在濾紙上不會翹起來，我們用了膠水，但沒有用，因為膠水碰到水會脫膠，後來我們決定先擺上銅片，底端對齊玻璃墊片尾端，以長尾夾夾住固定，終於解決了問題。

三、 實驗步驟

（一） 電極為銅棒

1. 取 CuSO_4 ，配置成 0.05M 溶液 50 毫升。
2. 重複步驟（1），分別配置 0.1M 溶液 50 毫升、0.2M 溶液 50 毫升。
3. 取二銅棒利用砂紙磨去其表面的氧化層後並以氫氧化鈉清洗，再將其一端磨細以模擬點電荷，並以鐵鎚將銅棒敲，除了確保銅棒垂直於桌面，也可以讓銅棒插在支撐架後較不易晃動。
4. 拿出濾紙，放置於玻璃墊片上，使其均勻沾滿 0.05M 的硫酸銅溶液。
5. 用積木與厚紙板作為支撐架，並使銅棒穿透厚紙板，讓兩銅棒電極距離 2cm。
6. 使用直流電源供應器並調整電壓為 1V。
7. 將兩鱷魚夾分別夾住兩銅棒，打開電源供應器，開始電鍍 2 小時。
8. 將電壓調整為 2V、3V、4V、5V，並重複步驟 1~7。
9. 將兩電極之間的距離改為 3cm、4cm、5cm，並調整電壓為 1V、2V、3V、4V、5V 等共十五組實驗，並重複步驟 1~7。
10. 將 CuSO_4 濃度改為 0.1M，並作電壓 2V、電極距離 3cm；電壓 3V、電極距離 3cm；電壓 4V、電極距離 3cm；電壓 5V、電極距離 3cm 及電壓 2V、電極距離 4cm 等 5 組實驗，並重複步驟 1~7。

11. 將 CuSO_4 濃度改為 0.2M，並作電壓 2V、電極距離 2cm 及電壓 3V、電極距離 2cm 等 2 組實驗，並重複步驟 1~7。

(二) 電極為銅片

1. 重複前實驗步驟 1~3。
2. 利用砂紙磨去銅片電極的表面氧化層並以氫氧化鈉清洗。
3. 以手折銅片，並以鐵鎚輔助將銅片敲平。
4. 為了讓鱷魚夾可以夾起銅片，所以銅片底端要先微微凹起。
5. 以實驗（一）所得能呈現較佳電力線的實驗數據： CuSO_4 濃度 0.05M，電壓 2V、電極距離 3cm 為其操作條件，分別作（+）極銅棒、（-）極銅片；（-）極銅棒、（+）極銅片及（+）極銅片、（-）極銅片等三組實驗。
6. 接上鱷魚夾，打開電源供應器，開始電鍍。

(三) 溶液改為 ZnSO_4

1. 調製溶液濃度分別為 0.05M 及 0.1M 溶液。
2. 重複實驗（一）之步驟 1~7，作實驗條件為濃度 0.05M、電壓 2V、電極距離 3cm 及濃度 0.1M、電壓 2V、電極距離 3cm 等兩組實驗，並比較其實驗結果。

(四) 電流性質改為交流電

1. 重複實驗（一）之步驟 1~7，但電性改為交流電， CuSO_4 溶液濃度 0.05M、電壓 2V、電極距離 3cm，觀察其實驗結果。

伍、研究結果與討論：

一、研究結果

(一) 研究結果總表：(濃度 0.05M)

電壓 電極 距離	1V	2V	3V	4V	5V
	2				
cm					
3					
cm					
4					
cm					
5					
cm					

(二) 研究結果總表：(濃度 0.1M)

電壓 電極 距離	電壓			
	2V	3V	4V	5V
3cm				
				
4cm				
				

(三) 研究結果總表：(濃度 0.2M)

電壓 電極 距離	電壓	
	2V	3V
2cm		
		

(四) 研究結果總表：不同電極 0.05M，3cm，2V

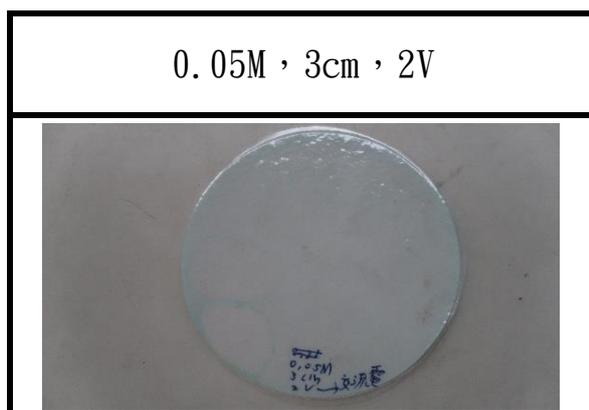
負極 正極	銅棒	銅片
	銅棒	
銅片		
		
		

(五) 研究總結果：硫酸鋅(電極距離 3cm、電壓 2V)

濃度	0.05M	0.1M
3cm 2V		



(六) 實驗結果總表：交流電

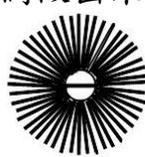


二、 結果與討論：

(一) 根據電力線的性質，在一電場中的電力線共有無限多條，又電力間相互排斥，永不相交因此我們做出來電力線不能太密【如下圖】。



{←太過於密集}



{←條條分明}

所以我們的標準是{較好觀察}:條條分明、清楚、顏色深。

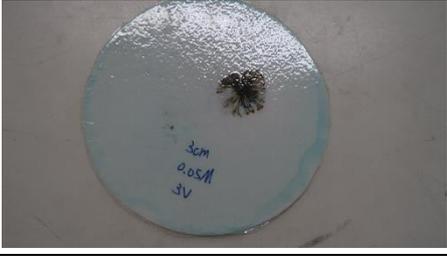
(二) 比較不同電壓：

1. 濃度 0.05M，兩電極距離 2cm

	照片一	照片二
1V		
2V		
3V		
4V		
5V		

結果與討論：由上圖可知一、二伏特是所析出的線條是較好的，三、四、五伏特我們推測可能因電壓較大，接近電極處析出太快，造成銅原子大量堆積在電極附近，所以效果不佳。

2. 濃度 0.05M，兩電極距離 3cm

	照片一	照片二
1V		
2V		
3V		
4V		
5V		

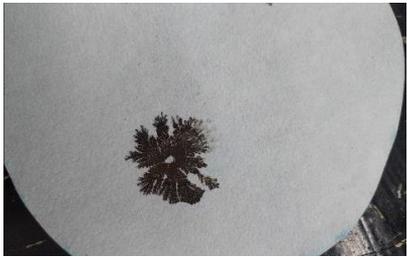
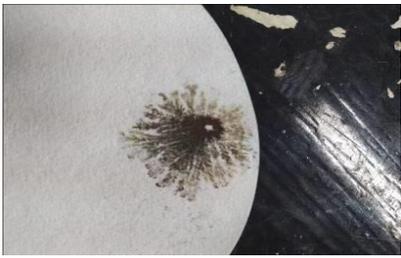
結果與討論：二、三伏特效果不錯，可能是因為電壓適中，讓銅離子慢慢析出導致效果佳，且其中二伏特的狀況密而清楚，三伏特則較為稀疏，但其實兩者狀況都很棒，一、四、五伏特就不太清楚，一伏特可能是因為電壓太小，所以不明顯，四、五伏特跟前面一樣，可能是因為一下子析出太快，所以效果不佳。

3. 濃度 0.05M，兩電極距離 4cm

	照片一	照片二
1V		
2V		
3V		
4V		
5V		

結果與討論：一伏特的效果不佳，顏色太淺，可能是因為電壓太小；二、三、四伏特條條分明、顏色深，效果都很不錯，可能是因為電壓適中，讓銅離子慢慢析出導致效果佳；五伏特可能是因為一下子析出太快，析出部分皆堆積於電極附近，效果不佳。

4. 濃度 0.05M，兩電極距離 5cm

	照片一	照片二
1V	 A circular white electrode with a very faint, small dark spot in the center. Handwritten text on the electrode reads "0.05M", "5cm", and "1V".	 A close-up view of the electrode from the first photo, showing a very faint, small dark spot.
2V	 A circular white electrode with a small, dark, star-shaped deposit in the center. Handwritten text on the electrode reads "0.05M", "5cm", and "2V".	 A close-up view of the electrode from the second photo, showing a small, dark, star-shaped deposit.
3V	 A circular white electrode with a larger, dark, star-shaped deposit in the center. Handwritten text on the electrode reads "0.05M", "5cm", and "3V".	 A close-up view of the electrode from the third photo, showing a larger, dark, star-shaped deposit.
4V	 A circular white electrode with a dark, star-shaped deposit in the center. Handwritten text on the electrode reads "0.05M", "5cm", and "4V".	 A close-up view of the electrode from the fourth photo, showing a dark, star-shaped deposit.
5V	 A circular white electrode with a dark, star-shaped deposit in the center. Handwritten text on the electrode reads "0.05M", "5cm", and "5V".	 A close-up view of the electrode from the fifth photo, showing a dark, star-shaped deposit.

結果與討論：一伏特顏色太淡，不清楚，效果不佳。二、三、四、五伏特顏色深，且條條分明，五伏特最清楚，比其它電壓更好，可見當使用較大電壓時，拉大電極的距離可獲得較佳的電力線分布。

(三) 比較不同電極距離

1. 濃度 0.05M，電壓 1V

	照片一	照片二
2cm	 A petri dish with a 2cm electrode distance. The agar surface shows a distinct, fan-shaped green bacterial growth pattern. The dish is labeled with '0.05M', '2cm', and '1V' in red ink.	 A close-up view of the petri dish from photo 1, showing the detailed structure of the green bacterial growth.
3cm	 A petri dish with a 3cm electrode distance. The green bacterial growth is much smaller and less distinct. The dish is labeled with '0.05M', '3cm', and '1V' in black ink.	 A close-up view of the petri dish from photo 1, showing the smaller green bacterial growth.
4cm	 A petri dish with a 4cm electrode distance. The green bacterial growth is very small and barely visible. The dish is labeled with '0.05M', '4cm', and '1V' in black ink.	 A close-up view of the petri dish from photo 1, showing the very small green bacterial growth.
5cm	 A petri dish with a 5cm electrode distance. The green bacterial growth is almost invisible. The dish is labeled with '0.05M', '5cm', and '1V' in black ink.	 A close-up view of the petri dish from photo 1, showing the almost invisible green bacterial growth.

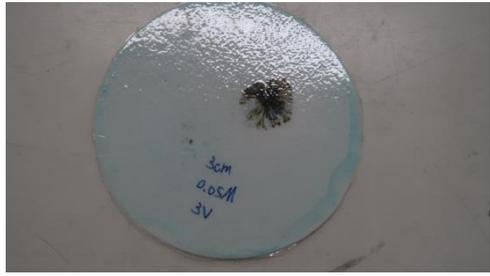
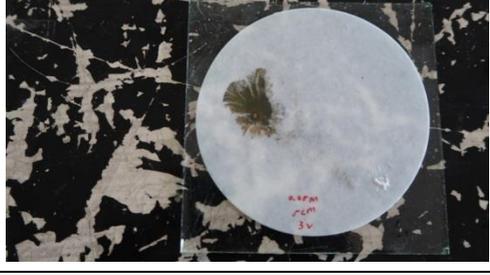
結果與討論：由圖可知只有兩公分比較明顯，我們推測因為電壓較小必須近距離效果才較明顯，當距離遠時，電阻大，效果就差了。

2. 濃度 0.05M，電壓 2V

	照片一	照片二
2cm		
3cm		
4cm		
5cm		

結果與討論：我們可以發現當電壓 2V 時，電極距離 2~5 公分的各組，效果均不錯，推測原因為電壓適中，離子可以慢慢排列析出。我們發現其中又以 3 公分、2V 最好。

3. 濃度 0.05M，電壓 3V

	照片一	照片二
2cm		
3cm		
4cm		
5cm		

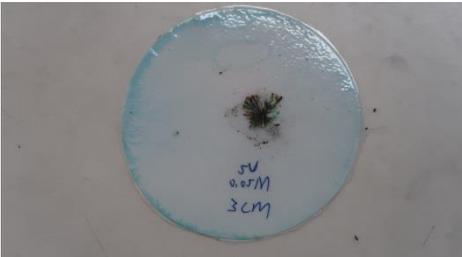
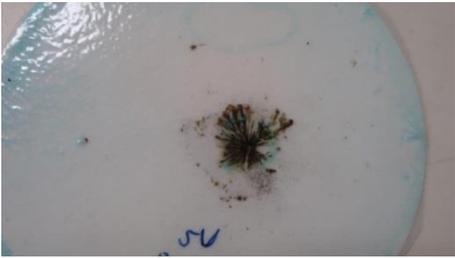
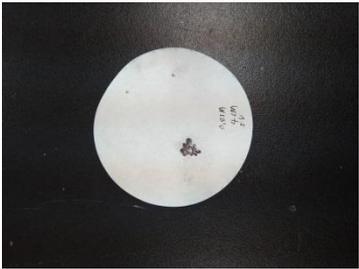
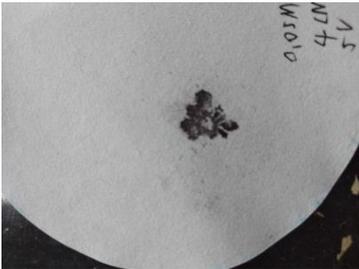
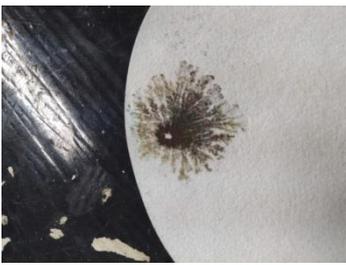
結果與討論： 在此一對照組中我們可以發現，當電壓為 3V 時，除 2cm 效果不佳外，其餘效果皆不錯，但又以 3cm 效果最好，推測其可能原因與前述幾個實驗類似，電壓適中且距離又適中時效果最好。

4. 濃度 0.05M，電壓 4V

	照片一	照片二
2cm		
3cm		
4cm		
5cm		

結果與討論：由上我們發現 4cm 及 5cm 兩組效果皆不錯，且又以 4cm 這一組效果最好，我們推測因為這一組的電壓較強，所以 4cm、5cm 才能造成適宜的電流，析出效果佳，而 2cm 及 3cm 則與前面一樣，一下子析出太快反而效果不明顯。

5. 濃度 0.05M，電壓 5V

	照片一	照片二
2cm		
3cm		
4cm		
5cm		

結果與討論：由上我們發現 5cm 這組效果最佳，推測原因與上述雷同，因為這一組的電壓更強，所以 5cm 才能造成適宜的電流，析出效果佳。

綜合上述實驗：我們覺得當 CuSO_4 濃度 0.05M，電壓 2V、電極距離 3cm 效果最佳。

(七) 研究結果總表：(濃度 0.1M)

電壓 電極 距離	2V	3V	4V	5V
	3cm			
				
4cm				
				

結果與討論：由上圖可以觀察得到，當濃度為 0.1M 時，所呈現的圖形效果均不明顯，僅 5V 較佳，推測原因可能是，當溶液濃度較大時，銅原子一下子析出太快反而效果不明顯。致使效果不佳。

(八) 研究結果總表：(濃度 0.2M)

電壓 電極 距離	2V	3V
	2cm	



結果與討論:由上圖可以觀察得到，當濃度為 0.2M 時，所呈現的圖形效果均不明顯，推測原因與前述一樣，可能是當溶液濃度較大，銅原子一下子析出太快反而效果不明顯。

(九) 比較不同電極 (CuSO₄ 濃度 0.05M，電壓 2V、電極距離 3cm)

負極 \ 正極	銅棒	銅片
	銅棒	
銅片		

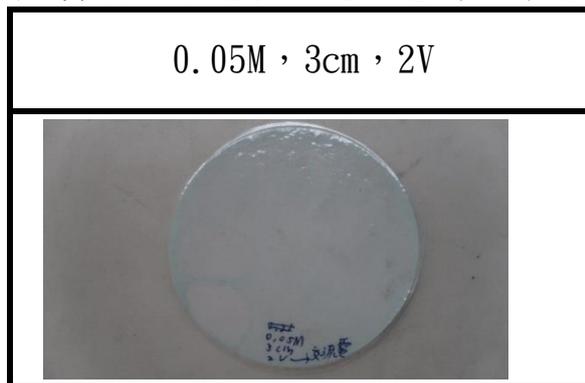
結果與討論: 我們僅以實驗 (一) 所得結論 CuSO₄ 濃度 0.05M，電壓 2V、電極距離 3cm 為其操作條件，改變電極形狀，並與碳棒的情況做比較，一樣電鍍 2 小時，感覺效果都還不錯，都能呈現出平行電場的形狀，或許通電久一點可呈現出更佳的效果。

(五) 比較不同電解質

濃度	0.05M	0.1M
3cm 2V		
		

結果與討論:我們試著改變不同的電解質，看效果一不一樣，以實驗(一)所得結論 CuSO_4 濃度 0.05M，電壓 2V、電極距離 3cm 為基礎，再做另一組 0.1M 的對照組，結果發現情況差不多，當濃度變大，效果反而不好。

(六) 實驗結果總表：交流電（碳棒電極）



結果與討論:雖然文獻探討中告訴我們，電鍍一定要用直流電，可是我們想像看能不能利用濾紙而製造出兩電極棒均會呈現電力線，結果證明理論是對的，用交流電根本不會有任何效果。

陸、 評鑑與檢討

(一)關於尋找研究動機

我們都知道了磁力線的顯現只要有鐵粉和磁鐵就行了，碰巧，我們最近學到了關於電力線的知識，我們就想：「那電力線要怎麼顯現呢？」因為這個原因，驅使我們去做這個實驗。

(二)關於擬定正式計畫、研究問題及工作紀錄表的問題

1. 擬定正式計畫：剛開始不知道要從何下手，直到我們想到「電場是電的作用範圍」，那是不是可以用電鍍來顯現電場。於是我們就和指導老師開始了討論，由於組員間的時間配合較難，所以花了一些時間才完成計畫表。
2. 研究問題：決定要用電鍍顯現電場後，我們發現大部分的電鍍都在燒杯內進行，但這樣金屬只能在被鍍物表面析出，無法顯現出我們想看到的電力線，經過討論之後，我們決定在濾紙上進行電鍍，因為這樣金屬才會析出在濾紙上，顯現出電力線的形狀，所以我們就先嘗試做了一組實驗(0.05M 2cm 1V)，看看跟我們預期的有沒有一樣，結果真的可以顯現出來，真是太好了！

一做實驗我們就發現需要有一個支撐銅棒的東西來支撐銅棒，避免短路。所以我們用了木頭積木和厚紙板，做了一個支撐架，如實驗裝置圖。開始進行實驗後(0.05M、2cm、1V)，我們發現可能影響實驗結果的可能變因有電壓、濃度、兩電極之間的距離、直流電與交流電、電極的形狀，因此本實驗要比較這些變因(以這些變因為操縱變因)對呈現出的電力線的影響。

(三)關於彙整相關文獻的問題

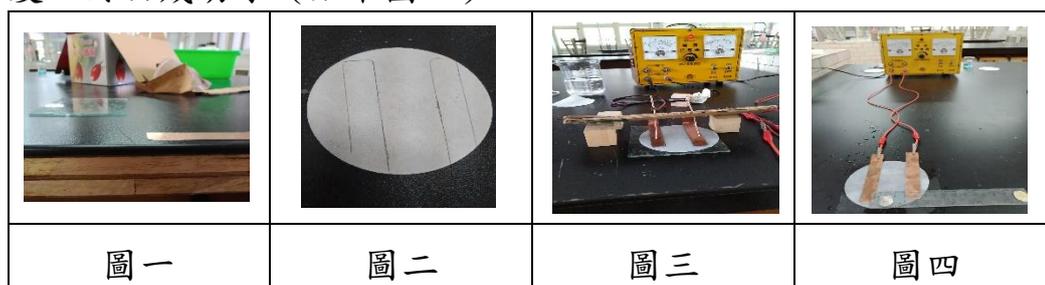
當實驗進行時，並非一次即能順利完成，所以一次沒有成功就重新操作，經過不斷實驗及修正，我們終於完成了顯現電力線的實驗。同時開始彙整實驗結果，其中發現有些實驗不如預期，必須重新進行，並經過多次修正，再將較佳的成果彙整並進行討論，發現問題時大膽假設、小心求證，除了上網蒐集相關佐證資料，並與同學互相討論外，亦同時請教指導老師，以確定實驗結果之正確性。

(四)資料分析的問題

在整個實驗操作過程中，我們也紀錄了一些問題，並想辦法去

解決。

1. 硫酸銅溶液會因為氣溫而蒸發，而影響其濃度與實驗結果。在寒假時(氣溫較低)，硫酸銅溶液蒸發較慢，到了暑假(氣溫較高)，因硫酸銅溶液蒸發較快，在實驗的過程中，若沒有一直用滴管加溶液進去使濾紙保持濕潤，濾紙甚至會乾掉。
2. 銅棒表面每天都會氧化，故每天需使用砂紙磨擦表面，以去除氧化層，並用氫氧化鈉清洗。
3. 電源供應器之電壓(位)於實驗時需定時檢查，以免電位不穩定而影響實驗結果。
4. 在使用銅片當電極時，我們拿到的銅片是彎彎曲曲，為了使銅片保持平直，可完全貼合在桌面上(如下圖一)，我們著實費了一番功夫，除了用榔頭輕輕敲打，還用重的書本幫忙壓平，當它平整後，還要把它固定在濾紙上，因為銅片不像銅棒架住後就不容易移動，除了在濾紙上做記號(如下圖二)，我們還嘗試過用銅棒幫忙導電(如下圖三)，結果效果不佳，也用過利用膠水把銅片黏在濾紙上，結果等溶液加進去後，銅片就脫落移動了，最後我們想到在銅片的一端將它折彎使其符合鱈魚夾的高度，終於成功了(如下圖四)。



(五) 提出研究結果與討論的問題

1. 根據電力線的性質，在一電場中的電力線共有無限多條，又電力間相互排斥，永不相交，因此我們做出來電力線不能太密【如下圖】。



{←太過於密集}



{←條條分明}

所以我們的標準是{較好觀察}:條條分明、清楚、顏色深。

2. 做完整個研究後，除了學到很多寫實驗報告的技巧外，我們更學到了如何用科學方法提出我們的論點以及一些做實驗時的注意事項、技巧等，連打字排版技巧都進步了，收穫十分豐富。

柒、 參考資料

一、 電容與靜電

http://163.28.10.78/content/vocation/control/tp_nh/ee/tp_nh/7/3.htm

二、 高中選修物理(上) 電場與電力線

<https://moodle.fg.tp.edu.tw/~tfgcoocs/blog/wp-content/uploads/2015/12/%E9%AB%98%E4%B8%89%E7%89%A9%E7%90%8663%E9%9B%BB%E5%A0%B4%E8%88%87%E9%9B%BB%E5%8A%9B%E7%B7%9A%E8%AA%B2%E6%9C%AC.pdf>

三、 國中自然與生活科技 三下(第六冊)康軒版

四、 田扶助(1994)電化學：基本原理及應用。五洲出版社。頁178~180、184~186。