

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 理化科

第三名

031618

離子趴趴走--更環保、更輕巧地進行電解、電  
鍍實驗

臺南縣立新化國民中學

作者姓名：

國二 楊力行 國二 陳毓劭 國一 林昱嘉  
國一 謝乙志

指導老師：

蔡志清

中華民國第四十五屆中小學科學展覽會作品說明書科別：

化學科組別：國中組

作品名稱：離子趴趴走--更環保、更輕巧地進行電解、電鍍實驗

關鍵詞：簡易電解裝置，洋菜膠，電解

編 號：

## 摘要

1. 在本實驗裏，以膠水代替水當溶劑，結果較明顯地觀察到電解結果。
2. 在本實驗裏，發現最好的膠劑成分是洋菜。
3. 在本實驗裏，我們用針筒、針頭等器材組裝了【第一代簡易電解裝置】。
4. 在本實驗裏，我們發現當連接的電壓超過3伏特，【第一代簡易電解裝置】的鐵電極就會被分解。
5. 在本實驗裏，我們設定電解速率的單位為 ml/秒。
6. 在本實驗裏，我們發現最適合電解實驗的洋菜濃度是 2% ,硝酸鉀濃度是 1%
7. 在本實驗裏，我們用吸管、銅釘等器材組裝【第二代簡易電解裝置】。
8. 在本實驗裏，我們發現部分物質並不適合當洋菜的染色材料。
9. 在本實驗裏，我們發現銅釘電極間的距離愈大，電解速率反而愈小。
10. 在本實驗裏，我們發現【第二代簡易電解裝置】的電鍍效果比課本裝置好一些；並驗證出最佳電鍍方式為電壓 2 伏特，通電 3 分鐘。

## 壹. 研究動機：

在進行電解質測試的實驗時，我們突發奇想，如果溶劑用膠水代替水，不知會有怎樣的結果？而在尋求解答的過程中，透過與老師的討論，我們發揮創意，運用日常生活的素材，製作出有別於課本的簡易電解裝置。為了讓我們的巧思獲得驗證，我們開始這次的科展。

## 貳. 研究目的：

1. 在（硫酸銅）電解實驗中，用膠水代替水；並檢測出現在負極的藍綠色膠狀物成分。
2. 在電解實驗中，用日常生活常見的其他膠液（太白膠、蕃薯膠、洋菜膠、糖膠）代替水；並與膠水的實驗結果作比較，找出最適合作電解實驗的膠液（含膠劑成分、電解質種類）。
3. 為避免架設儀器測試費時費力，以及改進藥品用量太多的問題，製作【第一代簡易電解裝置】。
4. 使用【第一代簡易電解裝置】，檢測最適合進行（硫酸銅）電解實驗的洋菜濃度、硝酸鉀濃度。
5. 為改進【第一代簡易電解裝置】電解速率很慢的缺點，利用生活上的素材，製作【第二代簡易電解裝置】；並設計實驗確認相關的實驗條件。  
【最小電鍍電壓，最佳洋菜染色離子，最佳電極距離】。
6. 利用【第二代簡易電解裝置】，操作更完美的電鍍。

## 參. 研究藥品與器材：

- 【藥品】：硫酸銅、重鉻酸鉀、氯化亞鈷、硝酸鉀、3ml 的針筒、針頭（鐵材質）、鐵釘、銅釘、鉛筆心、碳棒、洋菜、太白粉、蕃薯粉、砂糖、膠水。
- 【器材】：鱷魚夾、導線、刮杓、秤量紙、安培計、伏特計、電子天秤、電源供應器、石棉心網、酒精燈、透明吸管（鋁箔包、杯水用）。

## 肆. 研究方法與結果（含討論）：

### 實驗一：在（硫酸銅）電解實驗中，用膠水代替水

#### 一. 主題說明：

在（硫酸銅）電解實驗，依照課本的實驗設計，即使通電超過半小時，銅離子在負極聚集的狀況仍不理想；只能勉強看出趨勢。我們於是想到，如果以膠水代替水，則銅離子聚集的情況應該會比較好（溶劑黏滯性大，顯色離子較不易游離電極）。

#### 二. 實驗設計：

##### (1) 控制變因：

溶質	裝置	電源	電極
1.5 g 硫酸銅	仿照課本組裝	6V 的直流電	碳棒

##### 【裝置如圖一】

##### (2) 操作變因：溶劑種類

##### (3) 應變變因：可確認硫酸銅電解完成的所需時間

時間（分）	2	4	6	8	19.3 (19分17秒)	42
瞬間電流 (mA)						
50 ml 膠水	15~17	14~17	12~14	13~15	12~14 (完成！)	
50 ml 水	210~225	210~224	204~216	196~205	204~210	192~198 (完成！)

#### 三. 實驗討論：

1. 由實驗結果可知，以膠水作溶劑雖然通過電流較小，卻可以較早（約 19.3 分確認電解完成；相反的，使用水作溶劑當溶劑雖然通過電流較大，卻較晚（約 42 分）才能確認電解完成。

2. 膠水組電解完成的判定標準是：  
在負極出現可觀察到的藍綠色膠狀物成分；且膠液內幾乎呈現透明。  
水組電解完成的判定標準是：  
溶液內的藍色部分，明顯地移向負極；溶液幾乎呈現（藍、無）兩種顏色。
3. 關於藍綠色膠狀物的化學成分是什麼？  
（甲）加入鹽酸後藍綠色膠狀物會被溶解  
（乙）加入氫氧化鈉溶液藍綠色膠狀物不受影響  
（丙）把硫酸銅和氫氧化鈉溶液混合，也會產生藍綠色的棉絮狀固體

※因此推定是氫氧化銅。

【反應式： $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 】【如圖二】

實驗二：裝置同實驗一，比較太白膠、蕃薯膠、洋菜膠、膠水、糖膠  
何者較適合選作電解材料；並找出其適用的電解質種類

### 一. 主題說明：

在【實驗一】我們已經知道，膠狀液體雖然較容易呈現離子電解成果；但膠水卻不是最好的選擇，因為會使得銅離子轉變為氫氧化銅。因此我們再以日常生活常見的另外四種膠液（太白膠、蕃薯膠、洋菜膠、糖膠）為溶劑，重作實驗。

### 二. 實驗設計：

(1) 控制變因：

電解質	裝置	電源	電極
1.5 g 硫酸銅	仿照課本組裝	6V 的直流電	碳棒

(2) 操作變因：溶劑種類（水 48.5 克 + 指定材料）【如圖三】

(3) 應變變因：電解完成時間

時間（分）	3% 太白膠	3% 蕃薯膠	3% 洋菜膠	3% 膠水	3% 糖膠
瞬間電流（mA）					
電解完成時間	33分24秒	39分31秒	20分8秒	57分24秒	64分12秒

### 三. 實驗討論：

1. 由實驗結果可知，五種膠液的電解效果是：  
洋菜膠 > 太白膠 > 蕃薯膠 > 膠水 > 糖膠。
2. 使用 3% 的是因為，如果提高指定濃度，則某些種膠液將迅速凝結成膠塊；以下是我們測得五種膠液開始結成硬膠塊的極限濃度。

太白膠	蕃薯膠	洋菜膠	膠水	糖膠
9.1 %	10.7 %	5.5 %	51.0 %	71.4 %

3. 關於什麼種類的電解質適用於洋菜？  
(甲) 銅離子和氫氧根會產生氫氧化銅（藍綠色膠狀物）；所以鹼類不適用。  
(乙) 洋菜和酸性物質（如鹽酸、硫酸）混合後，幾乎維持溶液而無法凝結；酸類也不適用。  
(丙) 中性鹽類幾乎都適用！因為最容易取得的食鹽，當其當膠液濃度高時，電解會產生有毒的氯氣！（ $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ ）

※ 所以我們選擇實驗室最常使用的硝酸鉀。

4. 關於為何五種膠液的電解完成時間都很長（大於 20 分鐘）？
  - (1) 課本給予的電解質反應條件是 0.5M，50ml。
  - (2) 換算成硫酸銅莫耳數是 0.025 莫耳（質量 6.25 克）。
  - (3) 但是溶質加入愈多，銅離子完全移動到負極的時間也隨著增加。
  - (4) 所以我們硫酸銅只加入 0.006 莫耳（質量 1.5 克）。  
※ 為避免電解質太少導致電流小，電解時間延長；不足的 0.019 莫耳我們用硝酸鉀代替（質量 =  $0.019 \times 101 = 1.919$ ；取 2 克）。

### 實驗三：製作【第一代簡易電解裝置】

#### 一. 主題說明：

依照課本的實驗裝置，每次溶液用量都在 50 克以上；而且裝置佔用空間，電解時間至少要三十幾分鐘。為了改進這些缺點，我們組裝【第一代簡易電解裝置】。

#### 二. 裝置設計：

1. 取一 3ml 的針筒，上端中間鑽一直徑 4mm 的孔洞（位置在 1.5 刻度處）。
2. 取一注射針頭，去除後面的塑膠殼和前面的鐵針利端。

3. 將一黑色導線的前端去掉絕緣部分後，和針頭相連接；再以熱溶膠固定之。
4. 重複步驟 2、3，但改接紅色導線。
5. 取第三支注射針頭，去除利端；用酒精燈加熱後，趁熱在針筒下端鑽兩個小孔（位置在 0.5、2.5 刻度處）。
6. 把接好電線的兩支針頭（視同電極）塞入針筒（視同電解槽）的小孔中，用熱溶膠接緊密。【裝置如圖四】

### 三. 實驗討論：

1. 想電解的膠液是從上端 4mm 的孔洞注入。
2. 為避免膠液結塊後不能平均散開、鋪平；再膠液為冷卻前就應打入電解槽。
3. 所有接連處都不可以有空隙，空隙處應以熱溶膠膠好。
4. 為使得洋菜膠能均勻鋪平整支 3ml 針筒，經過多次測試，我們發現注入 1.5ml 最適當。
5. 和課本裝置的實驗用量（約 50ml）作比較，【第一代簡易電解裝置】縮減為 1.5 ml（減少為 1/33）；符合經濟化、環保化原則。
6. 硫酸銅的用量必須為定值（例如 0.1 克），否則用量愈大，藍柱本來就愈明顯。
7. 所謂電解完成是指『負極確實累積出可以辨識的藍柱』（藍柱直徑約 3mm）。
8. 由於電極（針頭）的材質是鐵，只要連接的電壓超過 3 伏特，就會導致電極分解為黃色的鐵離子【 $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}^-$ 】，使原本的電解實驗複雜化。【因為新生成的鐵離子會混入硫酸銅洋菜膠，然後逐漸移向負極！】【如圖五】
9. 電壓小於等於 3 伏特時，【第一代簡易電解裝置】電極反應式如下  
正極： $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$   
負極： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$

實驗四：用【第一代簡易電解裝置】，測出最適合進行電解實驗的洋菜濃度、硝酸鉀濃度。

#### 一. 主題說明：

在製作電解洋菜膠時，電解質的濃度會響到電解速率；而洋菜濃度除了影響電解速率外，還會影響到洋菜膠的凝結（塊）程度。所以我們必須分別求出其最佳濃度。

#### 二. 實驗設計：

##### ※ 實驗四-1：求最佳洋菜濃度

(1) 控制變因：

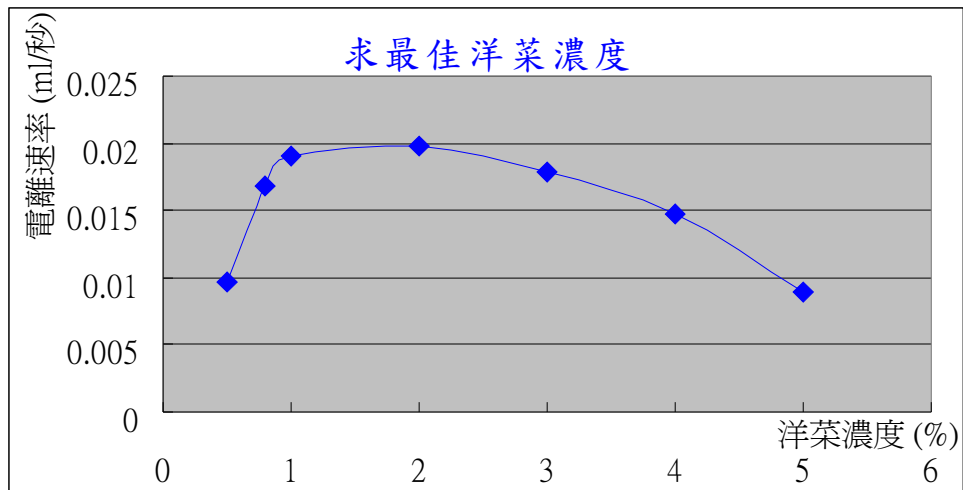


電解質	電解裝置	電源	電極
0.3 g 硫酸銅 0.4g 硝酸鉀	第一代簡易電解裝置 (1.5ml 洋菜膠)	3V 的 直流電	針頭 (鐵電極)

(2) 操作變因：洋菜濃度

(3) 應變變因：電解完成時間

洋菜濃度	0.3%	0.5%	0.8%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
洋菜質量 (g)	0.03	0.05	0.08	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
水質量 (g)	9.97	9.95	9.92	9.9	9.8	9.7	9.6	9.5	9.4	9.3
電解完成時間 (秒)	×	155	89	79	76	84	102	167	×	×
電解速率 (ml/秒)	×	0.00968	0.01685	0.01899	0.01974	0.01786	0.01471	0.00898	×	×



## ※ 實驗四-2：求最佳硝酸鉀濃度

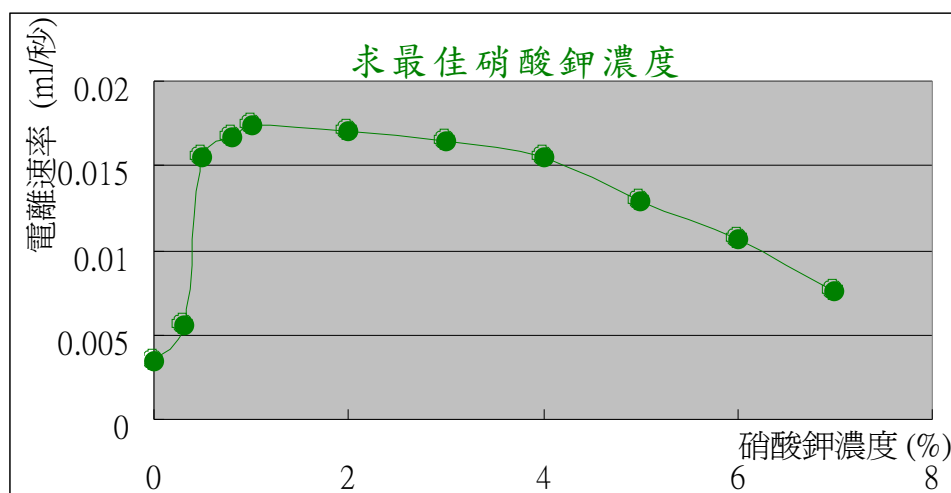
(1) 控制變因：

溶質	電解裝置	電源	電極
0.3 g 硫酸銅 0.2 g 洋菜	第一代簡易電解裝置 (使用 2% 洋菜膠，1.5ml 洋菜膠)	3V 的 直流電	針頭 (鐵電極)

(2) 操作變因：硝酸鉀濃度

(3) 應變變因：電解完成時間

硝酸鉀濃度	0	0.3%	0.5%	0.8%	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%
硝酸鉀質量 K (g)	0	0.03	0.05	0.08	0.10	0.20	0.30	0.41	0.52	0.63	0.74
水質量 (g)	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
電解完成 時間 (秒)	432	268	97	90	86	88	91	97	116	141	197
電解速率 (ml/秒)	0.00347	0.00560	0.01546	0.01667	0.01744	0.01705	0.01648	0.01546	0.01293	0.01064	0.00763



### 三. 實驗討論：

1. 在【實驗四－1】裏，洋菜濃度不能設定為 0.25%、0.75%，因為我們無法把溶質精密度量到小數點後第三位（0.025 g 和 0.075 g）。
2. 在【實驗四－1】裏，因 0.3% 濃度太低，洋菜無法結膠，等於電解硫酸銅溶液；而在 6% 和 7% 時，因為濃度太高，洋菜幾乎結成塊狀，也幾乎沒有電解效果。
3. 在之前的【實驗一】時，50 ml 的水內加入硫酸銅 1.5 克，可以得到清楚的實驗指示（電解是否完成）；在【實驗四－1】【實驗四－2】裏，因為水量接近 10ml，所以硫酸銅加入 0.3 克已經足夠。
4. 電解速率關於以【ml/秒】為單位的原因是：
  - （甲）就同一濃度而言，洋菜膠的用量（毫升數）愈多，電解時間就愈久；與其用長度（cm）當單位，不如用體積（ $\text{cm}^3$ ），因為實際上銅離子的移動路線也是 3D 的。
  - （乙）開始通電後，原先平均散佈整塊洋菜的銅離子，到達負極的時間並不完全相同（近的先到，遠的後到）。所謂的電解完成，是指『負極確實累積出可以辨識的藍柱』，當然這是洋菜內的所有銅離子聚集的結果；此時才可以看成是電解完成時間。
5. 由【實驗四－1】可知，洋菜濃度為 2% 時，電解效果最好。  
（電解速率 = 0.01974 ml/秒）
6. 洋菜膠量愈多，電解完成時間也就愈長；因此我們固定洋菜體積為 1.5ml。
7. 由【實驗四－2】可知，硝酸鉀濃度為 1% 時，電解效果最好。  
（電解速率 = 0.01744 ml/秒）
8. 在【實驗四－2】裏，由於每次要求的硝酸鉀濃度不同；但水的質量卻固定是 9.8 克（以便維持洋菜濃度為 2%），所以每次添加硝酸鉀質量 K 必須作適當的調整，以下以 0.3% 為例說明之。
  - （甲）因為  $\text{硝酸鉀濃度} = (\text{硝酸鉀} / \text{硝酸鉀} + \text{水}) \times 100\% = 0.3\%$
  - （乙）所以  $100 K = 9.8 \times 0.3 + 0.3 K$
  - （丙）整理上式 可得  $K = 0.02948$
  - （丁）因為天秤只能精確到小數點後第二位，所以四捨五入成  $K = 0.03$ （克）
9. 在我們尚未借得電子天秤前，對於小數點後第二位的藥品質量，我們曾研擬出一種量測方法：
  - （甲）取一 3ml 的針筒，前端封閉。
  - （乙）將藥品倒入針筒內到刻度（共 30 格）全滿，並且充分壓平。
  - （丙）設 30 格總質量為 P，則單一格即為  $P/30$ 。【如圖六】

## 實驗五：製作【第二代簡易電解裝置】；並設計實驗確認相關之實驗條件【最小電解電壓，最佳洋菜染色離子，最佳電極距離】

### 一. 主題說明：

【第一代簡易電解裝置】雖然改進了課本實驗裝置的缺點（組裝費時費力，藥品消耗量大等…），但還是有不盡完美的地方。**第一：**接連的電壓不能超過3伏特，否則針頭（鐵電極）會被分解，導致鐵離子混入洋菜膠。**第二：**針筒與針頭並不是生活隨手可取得的實驗材料。爲了改善這幾個小瑕疵，我們再設計【第二代簡易電解裝置】；並設計實驗檢測相關的最佳實驗條件。

### 二. 裝置設計：

1. 準備一隻透明吸管（質地硬的比較好，可取自鋁箔包飲料或杯水，沖水洗乾淨），剪成10cm長。
2. 拿一滴管（或針筒），吸取0.75 ml的洋菜膠從側邊打入吸管。
3. 調整洋菜膠位置（吹氣或推擠），使其位於吸管中間。
4. 在洋菜膠的頭尾兩端內側4mm處，畫上記號。
5. 取出洋菜膠，在打上記號的地方鑽出細洞（可利用縫衣針或加熱過的針頭）。
6. 在細洞內插入銅釘。
7. 之後再使用時，直接把實驗用的（0.75ml）洋菜膠打入，使其兩端與銅釘（電

極）相接觸即可。【裝置如圖七】

### ※ 實驗五-1：求【第二代簡易電解裝置】的最小電鍍電壓

(1) 控制變因：

電解質	洋菜濃度	電解裝置	電極
0.3 g 硫酸銅 0.1g 硝酸鉀	水 9.8 克 + 洋菜 0.2 克 (每次打入 0.75 ml)	第二代簡易 電解裝置	銅電極

(2) 操作變因：電壓數值

(3) 應變變因：銅釘（正極）是否分解（為銅離子）

電壓（伏特）	3	1	0.75	0.7	0.65	0.5
銅釘是否分解	是	是	是	是	否	否

※ 實驗五-2：求【第二代簡易電解裝置】的最佳洋菜染色離子

(1) 控制變因：

電解質	洋菜濃度	電解裝置	電極	電壓
0.0012 莫耳的 洋菜染色離子 0.1g 硝酸鉀	水 9.8 克+洋菜 0.2 克 (每次打入 0.75 ml)	第二代簡易 電解裝置	銅電 極	0.5 伏特

(2) 操作變因：不同種類的洋菜染色離子

(3) 應變變因：

電解完成的所需時間（形成直徑約 3mm 的離子色柱）。【如圖八】

化合物名稱	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	CoCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	KMnO <sub>4</sub>
分子量	250	238	294	158
化合物質量	0.3 克	取 0.3 克 【0.2856】	取 0.4 克 【0.3528】	取 0.2 克 【0.1896】
離子色柱	藍柱	紅柱	無法形成	無法形成
需要時間	13 分 18 秒	12 分 45 秒	×	×
電解速率 (ml/秒)	0.00094	0.00098	×	×

※ 實驗五-3：求【第二代簡易電解裝置】的最佳電極距離

(1) 控制變因：

電解質	洋菜濃度	電解裝置	電極	電壓
0.3 克的 氯化亞鈷 0.1g 硝酸鉀	水 9.8 克 + 洋菜 0.2 克 (每次打入 0.75 ml)	第二代簡易 電解裝置	銅電 極	3 伏特

(2) 操作變因：兩銅釘（電極）間的距離【如圖九】

(3) 應變變因：電解完成的所需時間（形成直徑約 3mm 的藍柱）。

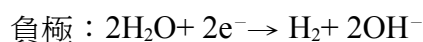
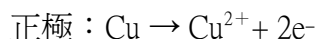
代號	甲管	乙管	丙管	丁管
電極距離	1 cm	3 cm	5 cm	7 cm
需要時間	52 秒	107 秒	187 秒	294 秒
電解速率 (ml/秒)	0.01442	0.00701	0.00401	0.00255

### 三. 實驗討論：

- 由【實驗五-1】可知，當通電電壓大於 0.7 伏特，不只是進行電解反應（形成離子色柱）。還會發生電鍍反應【正極銅釘被分解，負極銅釘附上銅】。  
正極： $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$       負極： $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$  【如圖十】
- 【實驗五-1、五-2、五-3】所採用的 2% 洋菜和 1% 硝酸鉀，是在【實驗四-1、四-2】所得到的最佳實驗條件。而 0.3 g 硫酸銅則是按照【實驗一】等比率縮減。
- 以透明吸管代替針筒，是我們的實驗創意，至少它有以下優點：  
(甲) 生活隨手可得（鋁箔包、杯水等...），屬於資源回收再利用。  
(乙) 再減少實驗用量（0.75 ml），是【第一代簡易電離裝置】的 1/2；課本裝置的 1/66。
- 使用銅釘代替（鐵）針頭是因為：  
(甲) 銅的活性比鐵小很多，較不易氧化（生鏽）。  
(乙) 即使正極分解，也是釋放出銅離子，實驗仍然單純（使用電壓不受限制）。  
(丙) 比針頭更容易取得（五金店、賣場等...）。
- 剛開始我們測試染色離子，是以加入同質量（都是 0.3 克）來進行實驗。可是洋菜膠配製完成後，我們很快就發現，含過錳酸鉀的洋菜膠顏色過深；和老師討論後，我們於是了解到應該是以『同莫耳數』來處理較適當。

### 6. 重鉻酸鉀的電解實驗和硫酸銅、氯化亞鈷的相異點是：

(甲) 電極板的反應式如下



(乙) 由於正極會吸引  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ，所以正極附近會出現灰褐色的重鉻酸銅（ $\text{CuCr}_2\text{O}_7$ ）固體。【如圖十一】

- (丙) 由於負極產生的氫氣會逐漸推開洋菜膠，所以電解效果也跟著逐漸變差甚至停止。【如圖十二】
- (丁) 由於負極產生氫氧根（變成鹼性環境），所以負極附近的洋菜逐漸由橙色轉為黃色。【反應式： $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  (橙) +  $\text{OH}^- \rightarrow 2\text{CrO}_4^{2-}$  (黃) +  $\text{H}^+$ 】  
【如圖十三】
- (戊) 由甲~丁可知，使用【第二代簡易電解裝置】操作重鉻酸鉀的電解實驗受到干擾因素非常多；因此只適合作為定性（觀察現象）的教材，定量的測量有執行上的困難。（測量誤差容易產生）

### 7. 過錳酸鉀的電解實驗和硫酸銅、氯化亞鈷的相異點是：

- (甲) 電極板的反應式如下  
正極： $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$   
負極： $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3\text{e}^- \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- (乙) 因為  $\text{MnO}_4^-$ （紫色離子）會被轉變成  $\text{MnO}_2$ ，所以洋菜膠內逐漸出現黑色固體顆粒；而電流也將逐漸減小。【如圖十四】
- (丙) 當  $\text{MnO}_4^-$ （紫色離子）被消耗完畢，則負極接著發生新反應  
正極： $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$   
負極： $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$  【如圖十四】
- (丁) 由甲、丙可知，反應發生的順序（難易程度）：  
過錳酸根的變換反應 > 水的分解（產生氫氣）反應。
- (戊) 由甲~丁可知，使用【第二代簡易電解裝置】操作過錳酸鉀的電解實驗受到干擾因素還是非常多；因此也是只適合作為定性（觀察現象）的教材。

8. 承 6 和 7，重鉻酸鉀和過錳酸鉀並不適合當洋菜染色材料，但硫酸銅、氯化亞鈷則較適合。
9. 由實驗數據可知，兩銅釘（電極）間的距離愈大，電解速率愈小。
10. 求最佳電極距離時，我們使用氯化亞鈷當洋菜染色材料的原因是，銅離子形成的藍柱在粉紅色洋菜膠內相對更為明顯。

### 實驗六：利用【第二代簡易電解裝置】，操作更完美的電鍍。

#### 一. 主題說明：

由於【第二代簡易電解裝置】是以導電洋菜膠代替導電水溶液。雖然會造成電流變小，電解反應較慢完成；但相對的電解成果【正負兩極發生的化學反應現象；極化現象】也維持較久。我們又想到，課本的電鍍實驗也是要求操作時應注意維持適當大小的電流【電流太小，實驗時間被拉長；電流太大，反而只會得到黑



色的氧化銅】。因此我們嘗試把【第二代簡易電解裝置】和電鍍實驗作連結；期望能促使電鍍實驗更加完美。

## 二. 實驗設計

### ※ 實驗六：求【第二代簡易電解裝置】的最佳電鍍電壓

(1) 控制變因：

膠液成分	電解裝置	電源	電極距離
0.1 g 硝酸鉀 0.2 g 洋菜 0.3 g 硫酸銅 9.8 g 水	第二代簡易電解裝置 (使用 2% ，0.75ml 洋菜膠)	直流電	7 cm

(2) 操作變因：電壓量值（至少要大於 0.7 伏特）

(3) 應變變因：紅銅的產生情況

電壓（伏特）	0.5	1	1.5	2	2.5	3
通過電流（mA）	0.5~0.8	0.8~1	1.~1.5	1.5~2	2~2.5	2~2.5
銅釘上圍出漂亮的紅圈時間	不會！	約 6 分	約 4 分	約 3 分	約 1.5 分	不能圍出
開始出現黑色氧化銅的時間	不會！	不會！	約 35 分	約 15 分	約 2 分	一直都有

## 三. 實驗討論：

1. 連接電壓至少要大於 0.7 伏特，才能發生電鍍反應；小於 0.7 伏特，則純粹只是電解反應【正負離子向負正兩極移動！】。
2. 電極距離選擇 7cm 的原因是，電解速率較小，實驗控制比較容易。

3. 和課本的電鍍實驗裝置【裝置如圖十五】作比較：
- (甲)【第二代簡易電解裝置】消耗藥品量少，組裝材料容易取得；卻可以得到更漂亮、致密的銅（紅棕色）。
- (乙)以相同的電壓（2伏特），都通電2分鐘，產生紅銅的視覺效果是：  
第二代簡易電解裝置（排列緊密，紅棕明顯） > 課本裝置+銅片電極（排列緊密，紅棕不明顯） > 課本裝置+碳棒電極（鬆散，紅棕尚可）  
 【如圖十六、十七、十八】

4. 由實驗數據可知，如果要使用【第二代簡易電解裝置】同時進行電解（銅離子聚集在負極）和電鍍（得到紅棕色的純銅），理想的選擇是：
- ※ 電壓2伏特（電流1.5~2 mA），通電3分鐘；電壓2.5伏特雖然只要1.5分鐘，但因電流較大，稍不注意就會出現黑斑（氧化銅）。
- ※ 也就是：

	紅銅產生中	紅銅維持時間	開始產生氧化銅的黑斑
2伏特	0 ~ 180秒	180 ~ 900秒	900秒後
2.5伏特	0 ~ 90秒	90 ~ 120秒	120秒後

5. 在實驗數據裏，兩項指數的意義是：
- (甲) 銅釘上圍出漂亮的紅圈 = 銅釘上附上一層規則、紅棕色的銅金屬。
- (乙) 開始出現黑色氧化銅 = 銅釘上附上一層不規則、黑色的氧化銅。
- 【如圖十九】
6. 雖然相同的時間內，正極分解出的銅離子，和洋菜膠移向負極的銅離子是等量的。但是因為洋菜膠內聚集在負極附近的銅離子，即使斷電了也無法立刻散開（這點和硫酸銅水溶液不同，水溶液一旦斷電，銅離子立刻恢復自由而散開；水溶液因為銅離子並沒有減少，會立刻回復成原來的顏色深度），所以使用完的洋菜膠不方便再重覆利用。

## 伍. 實驗結論：

1. 在【實驗一】裏，我們發現以膠水作溶劑雖然通過電流較小，卻可以較明顯地觀察到電解結果。
2. 在【實驗一】裏，我們發現使用膠水作溶劑在負極會出現藍綠色膠狀物；並透過實驗檢測得知成分是氫氧化銅。
3. 在【實驗二】裏，我們發現日常生活常用五種膠液的電解效果是 洋菜膠 > 太白膠 > 蕃薯膠 > 膠水 > 糖膠。
4. 在【實驗二】裏，我們發現最適用洋菜的電解質是中性鹽類；並且為避免氯氣析出，決定使用硝酸鉀而不是食鹽。
5. 在【實驗三】裏，我們用針筒、針頭等器材組裝了【第一代簡易電解裝置】以改進【課本電解裝置】的藥品耗量大、組裝費時費力等缺點。
6. 在【實驗三】裏，經過實驗檢測，我們發現當連接的電壓超過3伏特，就會導致鐵電極分解為黃色的鐵離子。
7. 在【實驗四】裏，考慮到電解速率和洋菜體積、離子3D移動有很大關係，我們決定以（ml/秒）為單位。
8. 在【實驗四】裏，經過實驗檢測，我們發現最適合電解實驗的洋菜濃度是2%，硝酸鉀濃度是1%。
9. 在【實驗五】裏，我們用吸管、銅釘等器材組裝【第二代簡易電解裝置】以改進【第一代簡易電解裝置】的鐵電極分解限制，取材不易等因素。
10. 在【實驗五】裏，我們發現（1）重鉻酸鉀和過錳酸鉀不適合當洋菜的染色材料，但硫酸銅、氯化亞鈷則較適合（2）兩銅釘電極間的距離愈大，電解速率反而愈小。
- 十一. 在【實驗六】裏，我們發現在實驗材料，提供電壓、電量都完全相同的情況下，電鍍效果的排序是：第二代簡易電解裝置 > 課本裝置+銅片電極 > 課本裝置+碳棒電極。
- 十二. 在【實驗六】裏，經過實驗檢測，我們發現當電壓2伏特（電流1.5~2mA），通電3分鐘，可以得到最理想的電鍍結果（銅釘上覆蓋的紅銅最漂亮）。

## 陸. 參考資料：

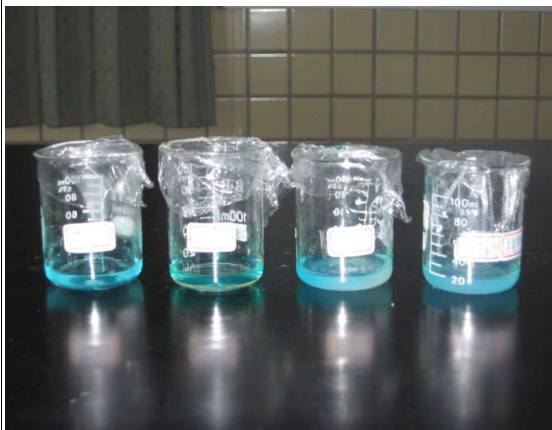
1. 南一書局/國中自然與生活科技第四冊/第二章酸鹼鹽，第三章氧化還原/民國九十四年二月。
2. 國立編譯館/國中理化第三冊/第十三章電解質/民國九十一年八月。



圖一：仿照課本架設實驗裝置，溶劑分別使用膠水和水。



圖二：電解硫酸銅膠水溶液時，在負極附上的氫氧化銅。



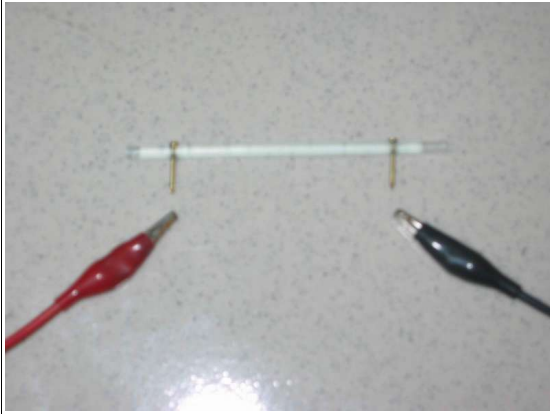
圖三：太白膠、蕃薯膠、洋菜膠、糖膠（由左向右）加入硫酸銅。



圖四：第一代簡易電解裝置（使用針筒、針頭等材料...）



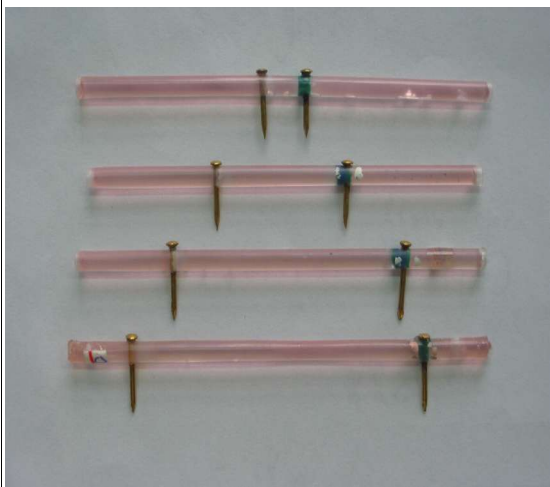
圖五：負極出現可分辨的藍柱，鐵電極（正極、針頭）卻因電壓超過3伏特而分解為鐵離子。



圖六：自製的精細質量（小數點後第二位）測量裝置。



圖七：第二代簡易電解裝置（使用吸管、銅釘等材料…）

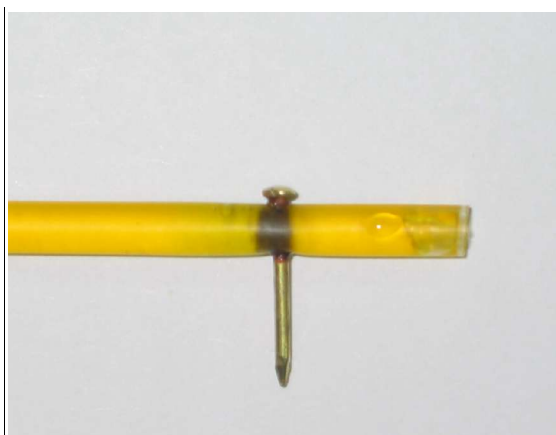


圖八：第二代簡易電解裝置的電解完成狀態（形成直徑約3mm的離子色柱）



圖九：四種不同電極距離的第二代簡易電解裝置。

圖十：當通電電壓大於0.7伏特，不只是進行電解反應（形成離子色柱），還會發生電鍍反應。



圖十一：電解重鉻酸鉀洋菜，正極附近出現灰褐色的重鉻酸銅固體。



圖十二：電解重鉻酸鉀洋菜，負極產生的氫氣會逐漸推開洋菜。



圖十三：因為負極放出氫氧根，所以附近的重鉻酸鉀洋菜由橙變黃。



圖十四：電解過錳酸鉀洋菜，先會出現二氧化錳；然後改出現氫氣並推開洋菜。





圖十五：課本的電鍍裝置。



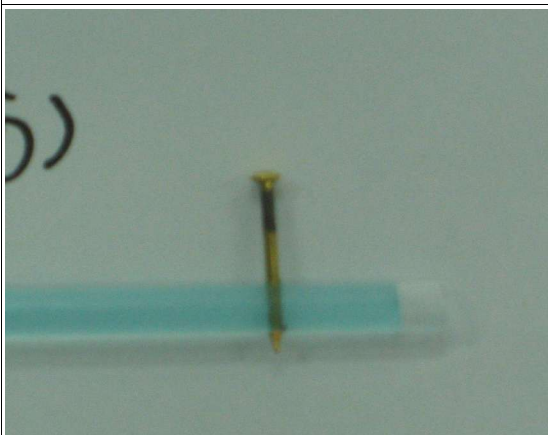
圖十六：課本的電鍍裝置（以碳棒作電極），鍍銅的視覺效果較差。



圖十七：課本的電鍍裝置（以銅片作電極），鍍銅的視覺效果中等。



圖十八：第二代簡易電解裝置，鍍銅的視覺效果較好。



圖十九：電壓太大或通電太久，  
都很容易把紅銅鍍成黑色的氧化  
銅。



中華民國第四十五屆中小學科學展覽會  
評 語

---

國中組 理化科

第三名

031618

離子趴趴走--更環保、更輕巧地進行電解、電  
鍍實驗

臺南縣立新化國民中學

評語：

第二代簡易電解裝置有相當創意且具推廣之  
可行性。