

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 化學科

第三名

030208

探討磁場中不同載流硫酸鹽溶液的轉動效果

學校名稱：高雄市立七賢國民中學

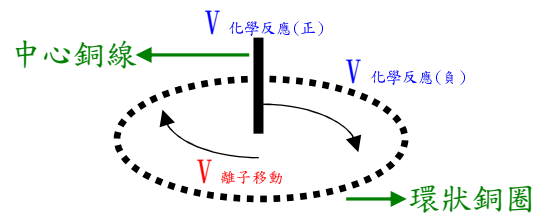
| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 國一 謝瑾安 國二 駱又慈 國二 杜佩柔 | 指導老師： 黃心嫻 謝宜和 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：硫酸鹽、解離、右手開掌定則

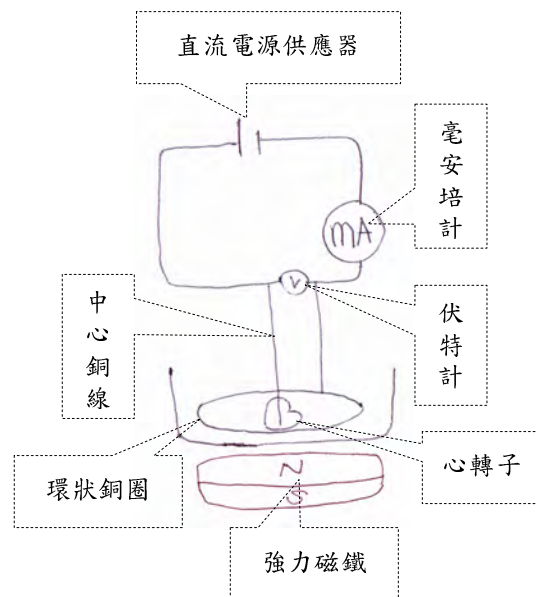
摘要

我們觀察磁場與電場交互作用下使電解質溶液轉動的現象，進而探討溶液轉動效果與溶液中離子的相關化學性質。首先由文獻資料中所提的實驗開始改進儀器設備與實驗方法，使測量轉速方式容易操作與測得數據，並使儀器微型化與減少藥品量，達到節能省碳的目的；並發掘多項影響轉速的變因(中心銅線粗細、電極與磁極的配置、中心銅線與磁鐵中心的相對位置、溶液多寡、濃度、電壓)，掌握因素後，才獲得穩定的數據。

起初求得溶液轉速與電壓大小有正比關係，又發現在相同電壓與濃度時，使用不同硫酸鹽，溶液轉動的轉速不同。其大小關係為 硫酸銅 > 硫酸亞鐵 > 硫酸鋅。經相關實驗探討後，提出 $V_{\text{外}} = V_{\text{化學反應}} + V_{\text{離子移動}}$ 的假設來說明此轉速關係。並以硝酸鹽驗證此假設。在求證過程中，又發現相同濃度且不同鹽類時，解離的離子數目也是影響轉動效果的重要因素之一。



- (1) $V_{\text{外}}$: 由溶液外部的電源供應器所提供的電壓。
- (2) $V_{\text{化學反應}}$: 溶液中進行化學反應所需的電壓 $[=V_{\text{化學反應(正)}} + V_{\text{化學反應(負)}}]$ 。
- (3) $V_{\text{離子移動}}$: 溶液中造成離子移動的兩端電極電壓。



探討磁場中不同載流硫酸鹽溶液的轉動效果

壹、研究動機

我們看到以前科展優勝作品^[2]，內容是在磁場中使硫酸銅溶液通電後，因為正負離子的運動，使溶液會旋轉、可看見了離子的轉動與離子遷移率改變……等等有趣的現象與問題。我們發現這份作品還有值得研究的空間，像是使用不同電解質時溶液的轉動效果。因此從作品中所提到的實驗器材與方法開始做起。經過我們實際操作過程與觀察結果後，發現之前作品的實驗設備操作不易，希望能改進此實驗，所以就開始了這個探究「不同電解質溶液中的離子轉動」。希望能藉由這個轉動現象來探討離子的相關化學性質。

貳、研究目的

- 一、改良儀器設備與改進計時方式。
- 二、找出影響「心轉子」轉速的變因。
- 三、不同濃度、電壓高低與轉速關係。
- 四、不同硫酸鹽溶液與轉速關係。
- 五、探討不同硫酸鹽溶液有不同轉速的原因。
- 六、使用不同硝酸鹽溶液驗證假設是否成立。
- 七、探討所提“假設”的適用性並加深探究。



參、研究設備及器材

器材：

燒杯、漏斗、滴管、量瓶(100ml)、廣用瓶、高斯計、量筒(10ml、25ml、100ml)、玻棒、刮勺、銅線(d=1.0mm、0.8mm、0.5mm)、精密天平、濾紙、毫安培計、伏特計(三用電表)、直流電源供應器、木材少許、鋸子、釘槍、智高材料、Web Cam、數位相機、游標尺、強力磁鐵、廢棄水族箱、原子筆桿、手錶、2B 筆芯、瓦楞板、珍珠板、膠帶、虎頭鉗、銅刷、鱷魚夾、燕尾夾、剪刀、保麗龍粒、膠珠。

藥品：

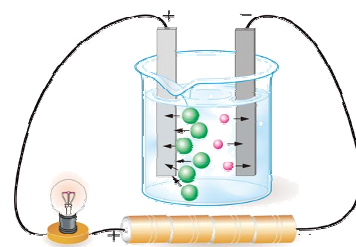
硫酸銅、硫酸亞鐵、硫酸鐵、硫酸鋅、硫酸鉀、硝酸銅、硝酸鐵、硝酸鋅、硝酸鉀、硫酸、醋酸、鹽酸、碳粉。



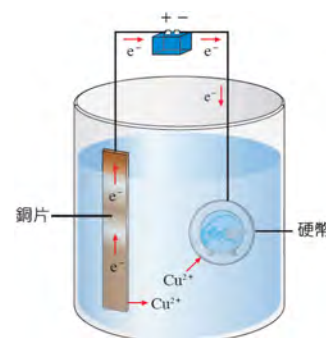
肆、研究過程與方法:

一、理論探討：

(1)離子：離子是指原子由於自身或外界的作用而失去或得到一個或幾個電子。在化學反應中，金屬元素原子失去最外層電子，非金屬原子得到電子，從而使參加反應的原子或原子團帶上電荷。帶電荷的原子叫做離子，帶正電荷的原子叫做正離子，帶負電荷的原子叫做負離子。

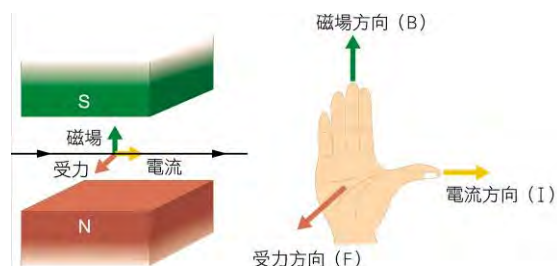


(2)電離說(解離說)：其要點如下：(a)電解質在溶液內生成離子，離子帶有電荷，其帶正電者稱為正離子，帶負電者稱為負離子。(b)強電解質在極稀薄溶液中，常能完全解離為離子而弱電解質則不能完全解離。



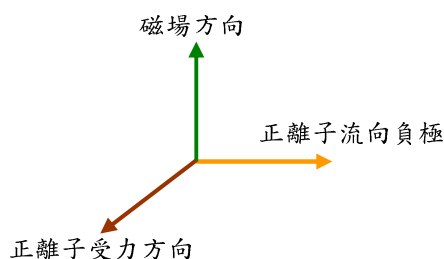
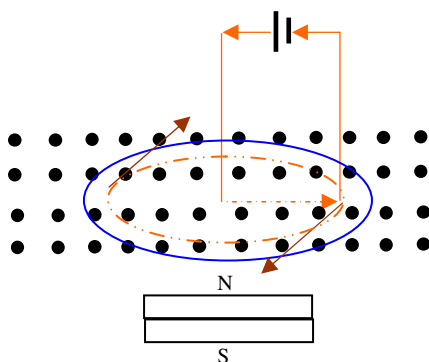
(3)電解與電鍍：**電解** (Electrolysis) 是將電流通過電解質溶液或熔融態物質，而在陰極(cathode)和陽極(anode)上引起氧化還原反應的過程。電化學電池在外加電壓（即充電）時發生了電解過程。所有離子化合物(鹼類、可溶於水的鹽類)都是電解質，因為它們溶在液體中時，離子可以自由移動，所以會導電。**電鍍**是利用電解的原理，以欲鍍金屬為正極，被鍍物為負極，並以含欲鍍金屬的鹽類水溶液為電鍍液，將某金屬鍍在負極的另一材料之表面上。

(4)右手開掌定則：是一個在數學及物理學上使用的定則。是由英國電機工程師約翰·弗萊明 (John Fleming) 於十九世紀末期發明的定則，用來幫助他的學生易如反掌地求出在磁場中移動電荷的受力方向，其中磁場、電流與受力方向三者相互垂直。

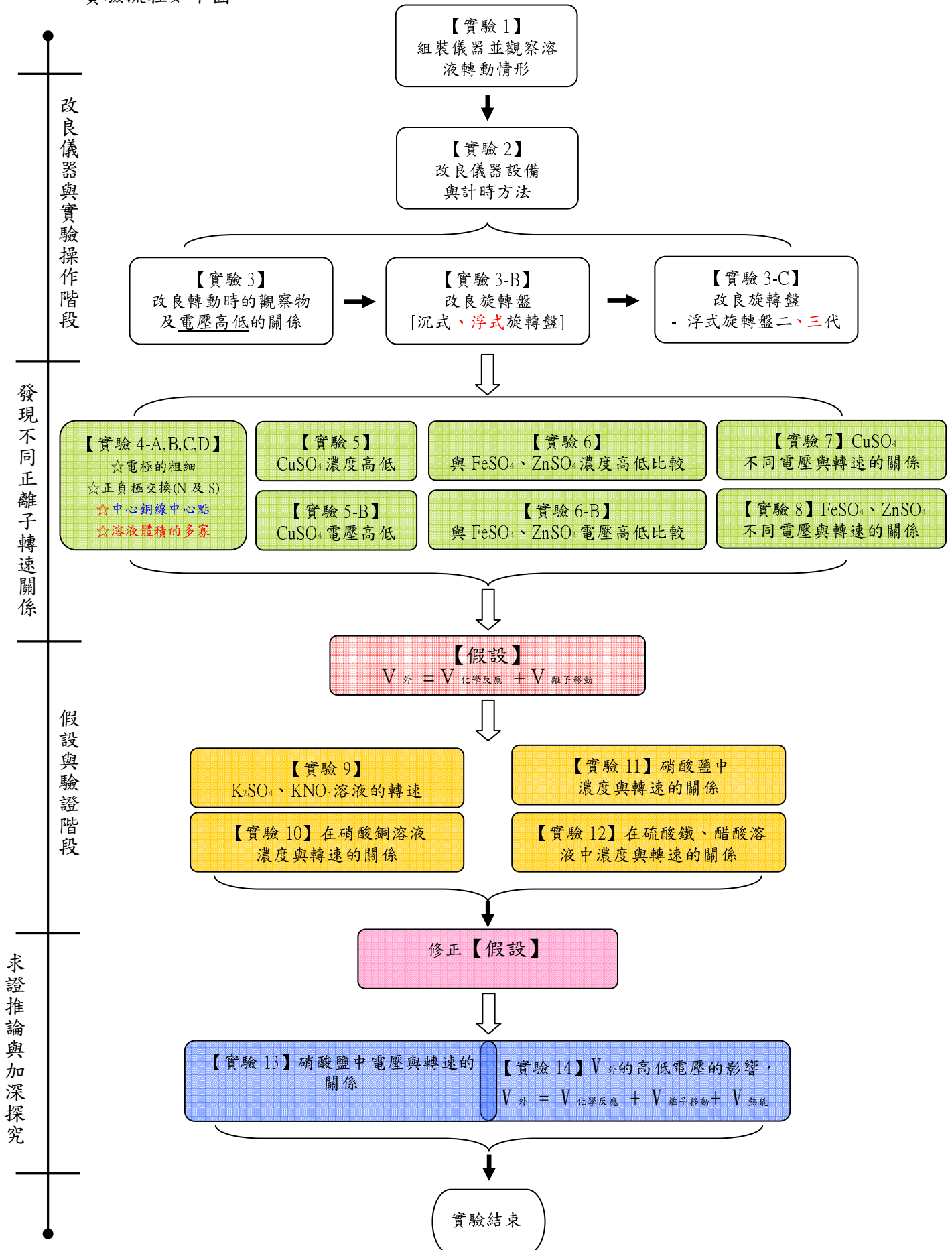


二、實驗原理：

在容器底部外層放置強力磁鐵提供一強力向上磁場，利用在電解液中通入電流(正極：以一根中心銅線做為電極；負極：以另一根銅線纏繞數圈成一個環狀電極)，造成正離子由中心銅線向環形電極移動。此時水平方向的電流與向上磁場相互垂直；根據右手開掌定則，此磁場對移動的離子產生一固定方向的受力，使離子運動方向發生偏轉，開始作以正極的中心銅線為圓心的轉動現象。



實驗流程如下圖：



伍、研究結果與討論

實驗【一】組裝儀器並觀察溶液旋轉的情形

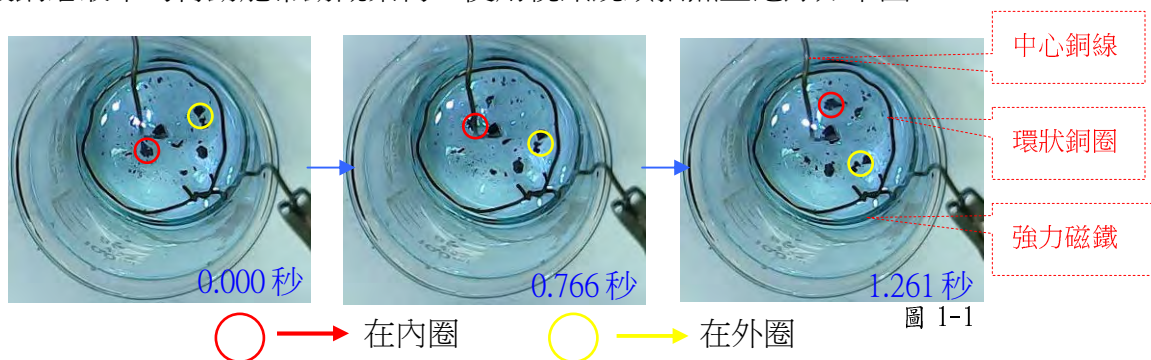
[說明] 依參考資料^[2]的實驗步驟操作，觀察硫酸銅溶液旋轉情形並加以改良實驗。

[步驟]

1. 配製硫酸銅、硫酸亞鐵溶液濃度1M。
2. 以100匝線圈纏繞燒杯提供穩定磁場。
3. 放置20毫升的硫酸銅在燒杯中作為反應地點。
4. 將直流電源供應器正極接在中心銅線，負極接在環狀銅圈，並置於燒杯中。
(註：環狀銅圈需浸泡於溶液中。)
5. 放入觀察物(碳粉)，並打開電源，看看是否發生反應與溶液旋轉的現象。
6. 若溶液開始旋轉，拍照記錄觀察物轉動與秒數關係。

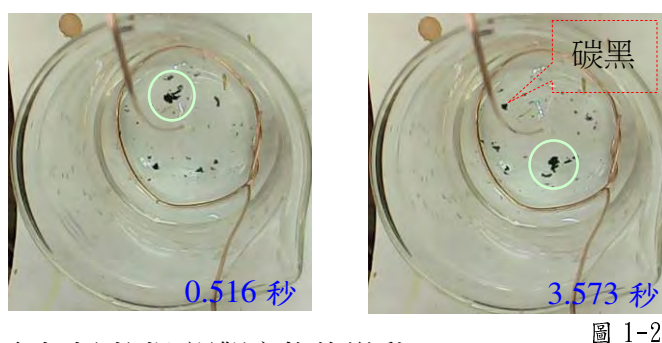
[結果]

1. 正極中心銅線逐漸變細，負極環狀銅圈光澤消失。
2. 無旋轉的現象。100匝線圈的溫度升高很快，且電源供應器易跳電。
3. 將100匝線圈取下，改成強力磁鐵(N極向上)放置在燒杯正下面。可觀察到溶液正在旋轉的現象。
4. 硫酸銅溶液中的轉動能帶動觀察物，使用視訊鏡頭拍照並紀錄如下圖1-1、1-2：



[討論]

1. 從圖1-1(硫酸銅)中得知，因為碳粉旋轉路徑不同，所以分有內圈與外圈旋轉，且內圈與外圈轉速不同(內圈較快)。觀察物旋轉路徑有時內圈、有時外圈，而且很難控制觀察物投入的量與位置。
2. 從圖1-2(硫酸亞鐵溶液)中得知，觀察物會自己自轉且破裂變形，需時時刻刻注視觀察物的變動。
3. 100匝線圈捲不起來，不易收納。改成強力磁鐵後，就可移除100匝線圈。
4. 要用濾紙過濾碳粉後，硫酸銅溶液才可以再使用。
5. 根據小組討論後，提出未來的觀察物需要有下列特性: (1).不要是粉狀、(2).不破裂變形、(3).易隨著溶液轉動但不自轉、(4).易觀察測量時間、(5).所測的數據要穩定(再現性高)、(6).操作容易、(7).價格不高、(8).可重複使用，減少實驗廢棄物。



實驗【二】改良儀器設備與改進計時方式

[目的] 將儀器設備加以改造，用以達到操作方便且省時、省能減廢、簡易獲得數據為目標。

[結果與討論]

1. 右圖是我們用以觀察溶液轉動的第一代儀器設備，根據實驗操作的需要逐一提出改進之處。
2. 儀器設備改良如下：(共有五點，a-e點)

a. 縮小實驗器具的大小：

因舊的實驗器具須佔用太大空間且兩側木板不穩固，所以我們使用『廢棄水族箱』，並放置木板可調整燒杯的高低，底部溝槽可調整燒杯的左右，透明的壓克力板容易觀察反應。(圖 2-2)

b. 增加“中心銅線”固定器：

將原子筆桿鑽洞使「中心銅線」穿過並以木條及燕尾夾作為銅線的固定器，經由此固定器則中心銅線可對準容器中心，不必花費大量時間在對準上(圖 2-3)(圖 2-4)。

c. 改良的觀察物：

一開始，我們用粉筆灰來觀察，卻發現顏色過淡，不易觀察，於是改為使用碳粉。可是發現碳粉容易暈開，所以改為使用膠珠；

經實驗後發現膠珠重量過重，又嘗試了保麗龍粒；但保麗龍粒的大小不一，旋轉速度也不一致且易結成一團不易隨著溶液轉動。最後，在老師

的建議下，我們改為使用「旋轉盤」(圖2-5)，才改善這個問題。在實驗【三】中，我們將對「旋轉盤」的形狀與材質進行探討。

d. 改善計時方式：

本來以軟體接上視訊鏡頭，拍下實驗進行的過程。因為必須自行觀看照片並讀取照片上的時間，再經計算機計算秒數，所以必須花很多的時間。而現在僅以電子錶計時“旋轉盤轉動 10 圈”的時間，再求平均旋轉一圈的時間，此計時方式非常容易及省時。

- e. 減廢：原用的碳粉，每實驗一次就要更換一次溶液。以轉子計時的方式不用更換溶液，而且可重複使用多次。

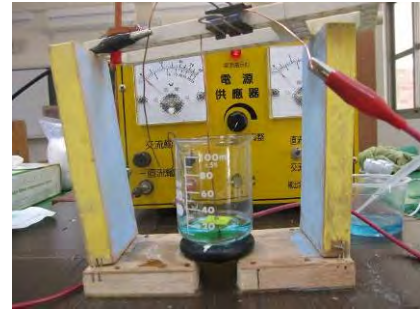


圖 2-1

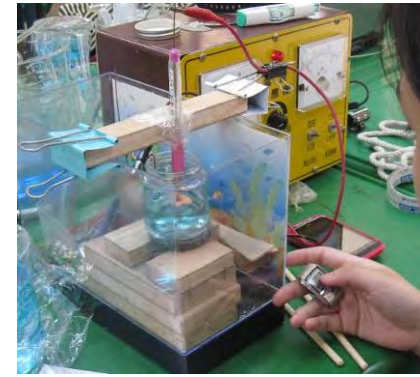


圖 2-2



圖 2-3



圖 2-4

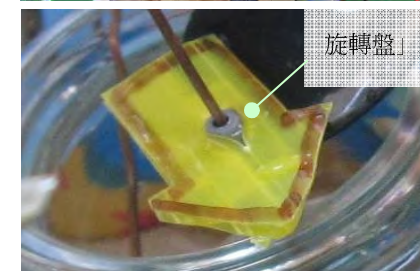
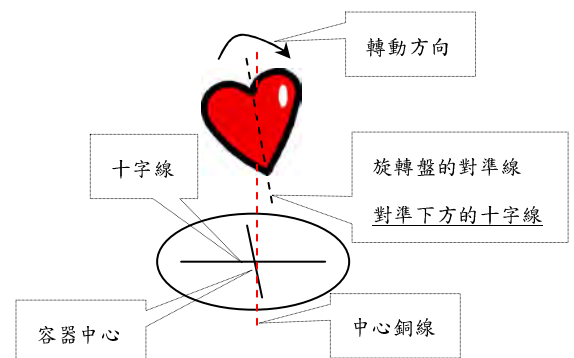


圖 2-5



旋轉盤轉動的示意圖 圖 2-6

實驗【三】改良“觀察物”的形狀與材質，並測量電壓與觀察物轉速大小關係

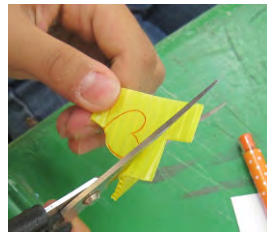
[說明] 經小組成員的討論後，想用溶液的轉動來帶動“轉盤式”的觀察物，藉此測量硫酸銅溶液轉動的效果。

- [步驟] 1. 先製作出沉式旋轉盤與浮式旋轉盤進行觀察轉盤的轉動效果。
 2. 依步驟1的結果，在設計出不同形狀的旋轉盤，依序測量轉動10圈的時間，進行討論。
 3. 從步驟2的結果，測量“效果最好”的旋轉盤轉速與電壓大小的關係。

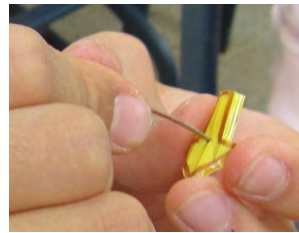
[結果與討論]



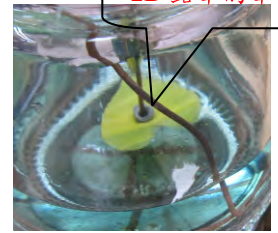
沉式旋轉盤



浮式旋轉盤 - 剪裁



浮式旋轉盤 - 鑽孔

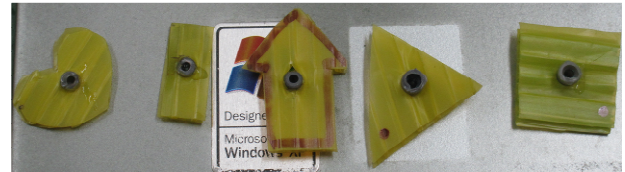


浮式旋轉盤

- 製作“沉式旋轉盤”及“浮式旋轉盤”的成品如上圖所示。
- 在30ml、1M CuSO₄中，比較轉動效果：

| | | |
|---------|----------|------|
| | 沉式 | 浮式 |
| 旋轉盤是否成功 | 失敗(旋轉不順) | 成功旋轉 |

- 當我們確認浮式旋轉盤可隨著溶液轉動而轉動時，又設計出不同形狀的轉盤如右圖。



心形 長方 箭頭 三角 正方

- 依序測量轉動10圈的時間如下表。
 - 從數據得知，不同形狀的轉盤隨著溶液轉動的效果不同。以心形轉盤最快，箭頭轉盤最慢。
 - 電壓愈高，轉盤轉動愈快。
 - 因心形與長方形效果較接近，所以再測試一次。其結果心形較容易隨著溶液轉動。(數據記於實驗日誌中)
 - 銅線的消耗如自動鉛筆芯一般，剪斷溶掉變細的部分(圖3-1)，可省許多銅線用量。

| 各種轉盤 電壓 時間(s) | 心形 | 長方 | 箭頭 | 三角 | 正方 |
|------------------|------|------|-------|------|------|
| 1V(#1) | 34.3 | 38.0 | 83.0 | 57.5 | 51.9 |
| 1V(#2) | 30.7 | 34.3 | 93.0 | 56.5 | 53.1 |
| 1V(#3) | 34.7 | 31.0 | 105.0 | 54.5 | 53.2 |
| 1V(平均) | 33.2 | 34.4 | 93.7 | 56.2 | 52.7 |
| 20V(#1) | 9.4 | 8.5 | 22.4 | 14.5 | 12.3 |
| 20V(#2) | 8.6 | 8.8 | 23.1 | 15.4 | 12.4 |
| 20V(#3) | 8.7 | 9.4 | 23.7 | 15.9 | 12.2 |
| 20V(平均) | 8.9 | 8.9 | 23.1 | 15.3 | 12.3 |

- 中心銅線先穿入心形轉盤後，再對準容器中的十字線中心(圖3-2)，可確保中心點每次轉動的位置。
- 瓦楞板中間層的空隙滲水後，會改變轉速，再改良成珍珠版材質的心形轉盤。

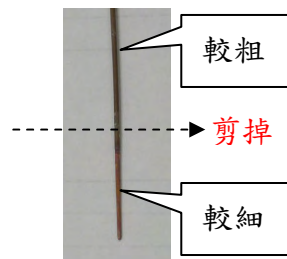


圖 3-1

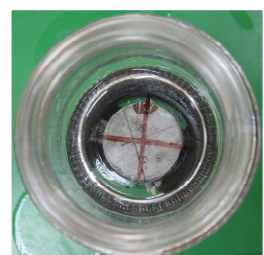


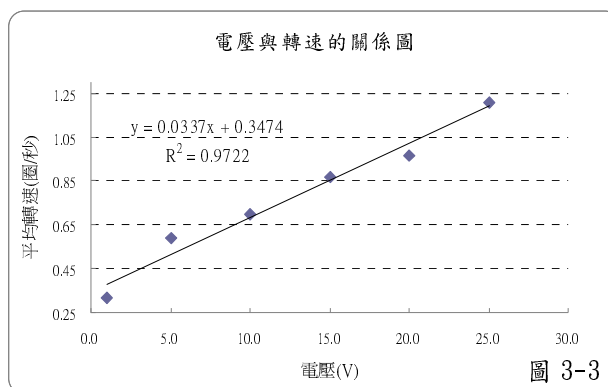
圖 3-2

6. 經討論後決定“效果最好”旋轉盤是浮式心型轉盤，再測電壓為1、5、10、15、20、25V，各測量三次轉動10圈的時間，求得一圈的平均時間後，將時間倒數求得平均轉速。如下表：

| 電壓(V) | 第一次時間 | 第二次時間 | 第三次時間 | 平均時間(s) | 一圈平均時間 | 平均轉速(圈/秒) |
|-------|-------|-------|-------|---------|-------------|-----------|
| 1 | 31.57 | 31.56 | 31.44 | 31.52 | <u>3.15</u> | 0.32 |
| 5 | 16.88 | 16.88 | 17.10 | 16.95 | <u>1.70</u> | 0.59 |
| 10 | 14.36 | 14.30 | 14.37 | 14.34 | <u>1.43</u> | 0.70 |
| 15 | 11.24 | 11.50 | 11.88 | 11.54 | <u>1.15</u> | 0.87 |
| 20 | 10.27 | 10.38 | 10.44 | 10.36 | <u>1.04</u> | 0.97 |
| 25 | 8.06 | 8.45 | 8.30 | 8.27 | <u>0.83</u> | 1.21 |

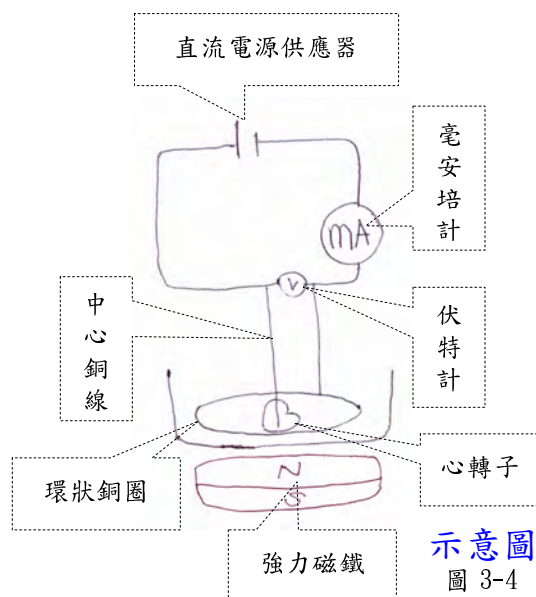
7. 將電壓與平均轉速作圖，並討論。作圖如下：

- 平均轉速會隨著電壓的增加而變快。
- 線性關係為0.97，代表用浮式心型轉盤來測量溶液的轉動是可行性很高的方法。
- 只要供應1V的電壓，就可以觀察到溶液轉動的情形，是很節源的，且溶液的溫度不易受通電影響而使溫度上升。
- 之後我們將浮式心型轉盤稱為「心轉子」。



8. 實驗操作與儀器說明

- 準備直徑 1mm，長度 30cm、80cm 各一根銅線，短銅線穿入中心銅線固定器，成中心銅線；長銅線依容器直徑大小纏繞 5 圈後，放入容器內底部，成環狀銅圈。
- 以膠帶黏貼強力磁鐵 N 極朝上，使其磁鐵中心與容器中心(十字交叉處)對齊。
- 將容器放入壓克力水族箱中，調整中心銅線固定器的位置與容器中心對齊。
- 調整箱內木板高度使其中心銅線有適當長度。
- 依右圖所示將直流電源、毫安培計、伏特計及容器相連接。中心銅線接正極，環狀銅圈接負極。
- 將「心轉子」穿入中心銅線。
- 再將待測電解液緩緩倒入容器(或以滴管滴入)。
- 電壓調至所需大小，等待電壓穩定後，開始計時。



[附記]

為避免容器內殘留上次實驗藥品而影響實驗數據，每次使用前後須以清水清洗瓶內，再以銅刷刷去電鍍在銅圈上的物質。至於中心銅線，待其變細時須以虎頭鉗剪去變細的銅線。



實際圖 圖 3-5

實驗【四-A】中心銅線粗細與「心轉子」轉速快慢的關係。

[說明] 在實驗操作過程中，中心銅線會逐漸溶解掉而變細。那不同直徑的銅線對心轉子轉動的影響為何？

- [步驟] 1. 取三根不同粗細的銅線依粗至細標記為甲、乙、丙。
 2. 以游標尺量取銅線直徑填入表中。
 3. 取用 10ml 0.2M CuSO₄+20mlH₂O 倒入容器中，調整電壓 3V。
 4. 依儀器操作步驟安裝。測量轉動 5 圈的時間，記錄並討論。

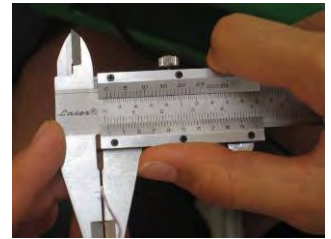


圖 4-1

[結果]

| 銅線粗細 次數 時間 | 甲 | 乙 | 丙 |
|---------------|--------|--------|--------|
| | 1.00mm | 0.80mm | 0.50mm |
| #1 | 21.30 | 16.95 | 14.24 |
| #2 | 21.38 | 16.34 | 14.55 |
| #3 | 21.00 | 16.06 | 14.50 |
| #4 | 21.18 | 16.04 | 14.61 |
| #5 | 21.73 | 16.07 | 14.39 |
| 平均(秒) | 21.32 | 16.29 | 14.46 |
| 平均時間 | 4.26 | 3.26 | 2.89 |
| 平均轉速 | 0.245 | 0.307 | 0.346 |

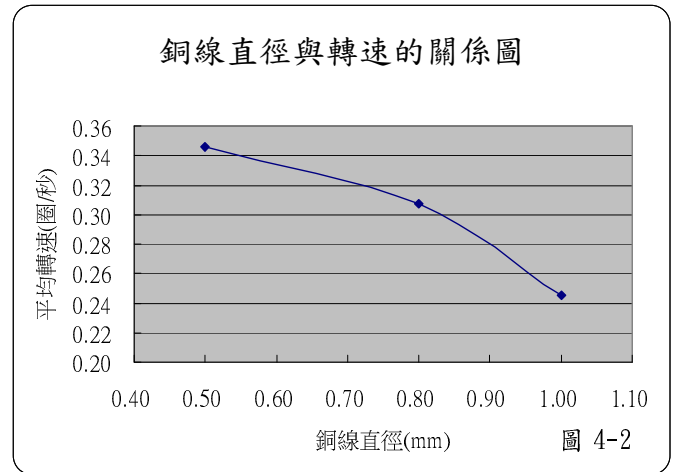


圖 4-2

- [討論] 1. 從獲得的資料得知，銅線越細「心轉子」會轉動越快。
 2. 故一段時間後須將中心銅線更新，及剪除變細部分。不然會使數據變得快些。
 3. 甲銅線就是我們實驗中常用的銅線粗細。

實驗【四-B】觀察交換電極(正、負極)與交換磁極(N、S極)的轉動情形

[說明] 瞭解電極正、負極及磁極N、S極接法對心轉子轉動情形的影響。

[步驟]

- 取用 10ml 0.2M CuSO₄+20mlH₂O 倒入容器中，電壓為 3V。依儀器操作步驟安裝。
- 中心銅線接正極，銅圈接負極。N 極朝上測量一次，再改為 S 極朝上測量一次。
- 中心銅線接負極，銅圈接正極。N 極朝上測量一次，再改為 S 極朝上測量一次。
- 記錄 4 種不同接法轉動 5 圈的時間，並討論之。

[結果]

| 配置情形 次數 時間 | 單位：秒(S) | | | |
|---------------|---------|---------|---------|---------|
| | 中心銅線接正極 | 中心銅線接正極 | 中心銅線接負極 | 中心銅線接負極 |
| | N 極朝上 | S 極朝上 | N 極朝上 | S 極朝上 |
| #1 | 4.64 | 6.68 | 4.07 | 6.41 |
| #2 | 4.95 | 6.45 | 4.21 | 6.62 |
| #3 | 4.45 | 6.33 | 4.07 | 6.94 |
| #4 | 4.57 | 6.54 | 4.25 | 6.35 |
| #5 | 4.42 | 6.38 | 4.32 | 6.38 |
| 平均時間(s) | 4.61 | 6.48 | 4.18 | 6.41 |
| 旋轉方向 | 順時針 | 逆時針 | 逆時針 | 順時針 |

[討論]

1. 很明顯地「N 極朝上」的轉速會比「S 極朝上」快很多。
2. 中心銅線接為負極時，轉速會比接為正極時快。交換電極(正、負極)與交換磁極(N、S 極)的接法，心轉子皆可持續轉動。
3. 在相同電壓、固定濃度時，轉速的快慢是 (N、負) > (N、正) > (S、負) > (S、正)。
4. 當中心銅線接負極時，瞬間銅線被黑色物質包圍住，宛如熱狗般。當切斷電源後，會包圍的物質會掉落在溶液中；中心銅線接正極時，無此現象。但銅環上有粗糙的銅生成。
5. 掉落在溶液中黑色物質的多寡會影響轉速嗎？

實驗【四-C】中心銅線與磁鐵中心相對位置與“心轉子”轉速快慢的關係。

[說明] 瞭解在器材中有哪些因素會影響心轉子轉速。

[步驟]

1. 取用 10ml 0.2M CuSO₄+20mlH₂O 倒入容器中，調整電壓為 3V。
2. 使用中心銅線固定器，依儀器操作步驟安裝，測量心轉子轉動 5 圈的時間。
3. 步驟 2 標記為甲，取中央銅線位置與磁鐵中心點「適當偏移距離」四點分別標記為乙、丙、丁、戊，測量心轉子轉動 5 圈的時間。記錄並討論。

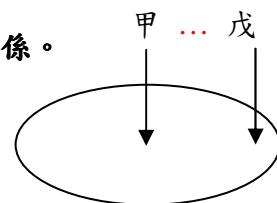


圖 4-C-1

[結果]

| 偏移距離 次數 時間 | 甲 0 cm | 乙 0.125 cm | 丙 0.25 cm | 丁 0.375cm | 戊 0.5 cm |
|---------------|-----------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| #1 | 10.30 | 14.97 | 22.04 | 31.97 | 不轉 |
| #2 | 10.33 | 14.24 | 22.35 | 30.62 | |
| #3 | 10.31 | 14.52 | 21.16 | 30.61 | |
| #4 | 10.12 | 15.06 | 21.49 | 30.91 | |
| #5 | 10.60 | 15.78 | 21.57 | 29.88 | |
| 平均時間(s) | 10.33 | 14.91 | 21.66 | 30.60 | 不轉動 |

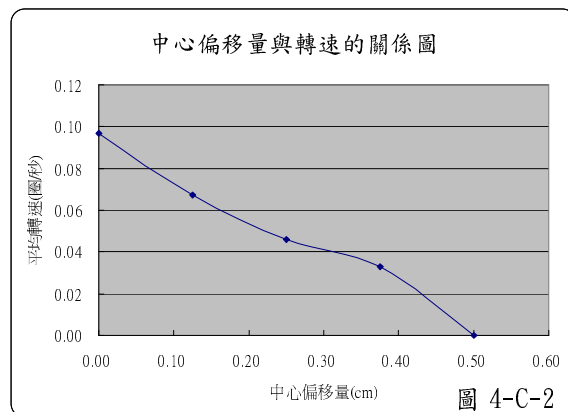


圖 4-C-2

[討論]

1. 從數據中得知，中央銅線與磁鐵中心偏移距離越大時，轉速會變慢，甚至不轉動。不轉動定義為轉速為零。
2. 這「適當偏移距離」是先取偏移距離 0.5cm 為戊，獲得不轉動後，再取中點丙；再分別取[甲、丙]的中點為乙，[丙、戊]的中點為丁。
3. 此變因是我們無意間發現的，因為全部因素都相同下，重做一次所獲得的轉速差異很大。只是將溶液換掉、儀器重新組裝而已。我們經過好多次重複實驗與討論後才發現這一點小改變，就可以影響很巨大。
4. 磁鐵的基本資料(直徑=2.50cm、厚度=0.93cm、磁場強度=18.03mG)

實驗【四-D】硫酸銅水溶液體積多寡與轉速關係

[說明] 離磁極越遠，磁力會越弱；當硫酸銅溶液加入越多時則心轉子會隨著上浮而距離磁極越遠，那心轉子轉速會是如何變化呢？

[步驟]

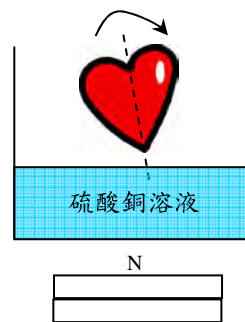


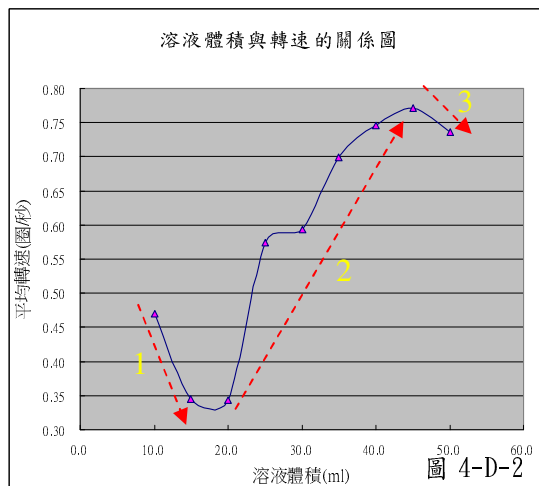
圖 4-D-1

1. 取 0.2M 硫酸銅溶液 10ml，倒入右圖容器中。
2. 電壓為 3V，並完成儀器裝置，測量心轉子轉 5 圈所需時間，記錄並填入表格中。
3. 倒入 5ml 硫酸銅溶液於容器中，再重複步驟 2。
4. 直到溶液體積至 50ml 為止。並討論之。

[結果]

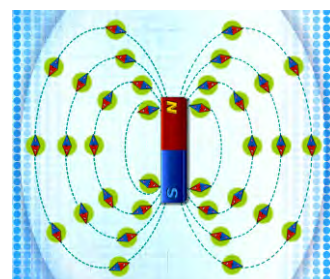
ps: 3V、0.2M

| CuSO ₄ (ml) | 10.0 | 15.0 | 20.0 | 25.0 | 30.0 | 35.0 | 40.0 | 45.0 | 50.0 |
|------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 次數 | | | | | | | | | |
| 時間 | | | | | | | | | |
| #1 | 10.67 | 14.66 | 14.53 | 8.44 | 8.52 | 6.98 | 6.59 | 6.23 | 6.93 |
| #2 | 10.87 | 14.74 | 14.72 | 8.90 | 8.47 | 7.05 | 6.71 | 6.47 | 6.72 |
| #3 | 10.54 | 14.48 | 14.20 | 8.59 | 8.47 | 7.37 | 6.81 | 6.46 | 6.87 |
| #4 | 10.93 | 14.50 | 14.47 | 8.67 | 8.27 | 7.34 | 6.71 | 6.54 | 6.78 |
| #5 | 10.22 | 14.16 | 14.88 | 8.92 | 8.44 | 7.02 | 6.74 | 6.69 | 6.70 |
| 平均時間(秒) | 10.65 | 14.51 | 14.56 | 8.70 | 8.43 | 7.15 | 6.71 | 6.48 | 6.80 |
| 一圈時間(秒) | 2.13 | 2.90 | 2.91 | 1.74 | 1.69 | 1.43 | 1.34 | 1.30 | 1.36 |
| 平均轉速(圈/秒) | 0.47 | 0.34 | 0.34 | 0.57 | 0.59 | 0.70 | 0.74 | 0.77 | 0.74 |



[討論]

1. 溶液體積在 10 至 15ml 時，轉速變慢。推論是離開強磁力區的緣故。可參考右圖磁場形狀。
2. 在 15 至 45ml 時，有一趨勢：「溶液愈多，轉速愈快」。
3. 在 45 至 50ml 時，轉速變慢，推論是磁場強度減弱許多的緣故。



【實驗四的結論】

1. 原本是以計時轉動 10 圈後，再除以 10 求取平均轉速，但因“中心銅線變細會影響轉速”的緣故，改為計時 5 圈時間後，求取平均轉速；為了縮短整個實驗的時間，讓此因素的影響降為最少。
2. 中心銅線接負極時，產生黑色物質的多寡會影響轉速嗎？這問題一直困擾我們。而且在測試實驗時，以酸類為電解質且中心銅線接負極時，會產生氣泡（氫氣），此時心轉子皆轉動不順。為了使心轉子都能轉動，故本實驗中的電路接法皆是「中心銅線接正極，環狀銅圈接負極」。
3. 為了避免中心銅線與磁鐵中心的位置偏差。儘量使兩點對準是很重要的。溶液體積的多寡是影響心轉子轉速的變因之一。因此，我們將溶液體積固定為 30ml，然後抽出 10ml 溶液再加入 10ml 水的稀釋方式來改變濃度，用以探討濃度因素的影響。
4. 隨著溶液轉動電源供應器的電壓會慢慢上升，須隨時調降保持所需的固定電壓。
5. 尚有諸多的變因未探討，例磁場強弱、環狀銅圈的圈數、容器半徑大小…等等。但我們的目標是以化學性質為主。故將上述問題延於日後討論，僅先固定不改變。

【五】硫酸銅濃度高低及轉速關係

[目的] 瞭解硫酸銅溶液濃度高低與心轉子轉速會是如何變化呢？

[步驟]



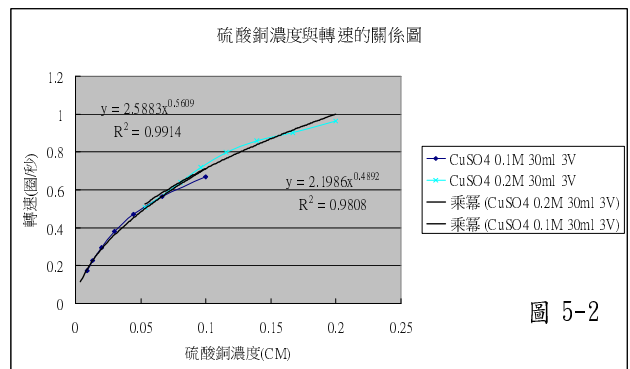
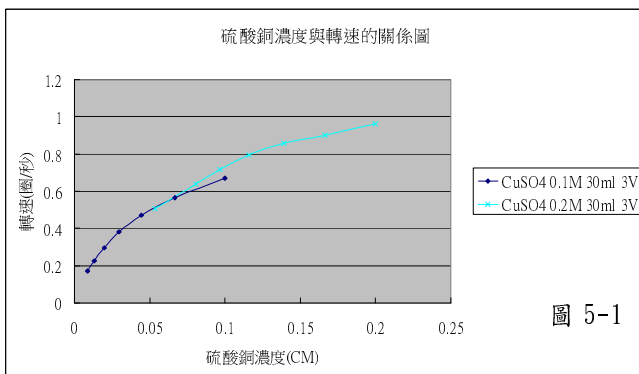
圖 4-2

1. 取硫酸銅溶液 0.1M 30ml，倒入容器中。調整電壓為 3V。
2. 完成儀器裝置後，測心轉子轉動 5 圈所需時間，記錄並填入表格中。
3. 取出 0.1M 硫酸銅 10ml 後。再加水 10ml 倒入容器中，稀釋成不同濃度。
4. 取出 0.2M 硫酸銅 5ml 後。再加水 5ml 倒入容器中，重覆步驟 2、3，共 4-5 次。
5. 更換中心銅線，取硫酸銅溶液 0.2M 30ml，重覆步驟 1-4。記錄並加以討論。

[結果]

| | | 30ml 0.1M CuSO ₄ 3V | | | | | |
|----------------|----|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C _M | 次數 | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 | 0.013 |
| I (mA) | | 80 | 51 | 40 | 30 | 21 | 15 |
| #1 | | 7.66 | 8.99 | 10.73 | 13.12 | 17.10 | 22.00 |
| #2 | | 7.50 | 9.050 | 10.66 | 13.10 | 16.87 | 22.09 |
| #3 | | 7.37 | 8.870 | 10.53 | 13.20 | 16.87 | 22.40 |
| #4 | | 7.47 | 8.760 | 10.70 | 13.00 | 17.00 | 22.42 |
| #5 | | 7.34 | 8.640 | 10.63 | 13.04 | 16.82 | 22.38 |
| 平均(s) | | 7.47 | 8.862 | 10.65 | 13.09 | 16.93 | 22.26 |
| 平均轉速 | | 0.67 | 0.56 | 0.47 | 0.38 | 0.30 | 0.23 |

| | | 30ml 0.2 M CuSO ₄ 3V | | | | | |
|----------------|----|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C _M | 次數 | 0.200 | 0.167 | 0.139 | 0.116 | 0.096 | 0.080 |
| I (mA) | | 150 | 133 | 115 | 100 | 88 | 70 |
| #1 | | 5.14 | 5.50 | 5.94 | 6.29 | 6.90 | 7.70 |
| #2 | | 5.10 | 5.69 | 5.91 | 6.23 | 6.82 | 7.87 |
| #3 | | 5.23 | 5.66 | 5.76 | 6.22 | 7.04 | 7.90 |
| #4 | | 5.28 | 5.41 | 5.76 | 6.40 | 7.11 | 7.89 |
| #5 | | 5.22 | 5.49 | 5.74 | 6.25 | 6.93 | 7.80 |
| 平均(s) | | 5.19 | 5.55 | 5.82 | 6.28 | 6.96 | 7.83 |
| 平均轉速 | | 0.96 | 0.90 | 0.86 | 0.80 | 0.72 | 0.64 |



[討論]

1. 以固定體積，抽取 10ml 溶液加水 10ml 或抽取 5ml 溶液加水 5ml 稀釋溶液濃度。
2. 用此方式獲得的相關係數值很高(0.99 及 0.98)，且兩條曲線可相互連接起來，故可用來說明濃度與轉速的關係。濃度越高轉動越快，但非一次關係。

實驗【五-B】不同電壓下硫酸銅濃度與轉速關係

[目的] 瞭解電壓高低是如何影響心轉子的轉速?

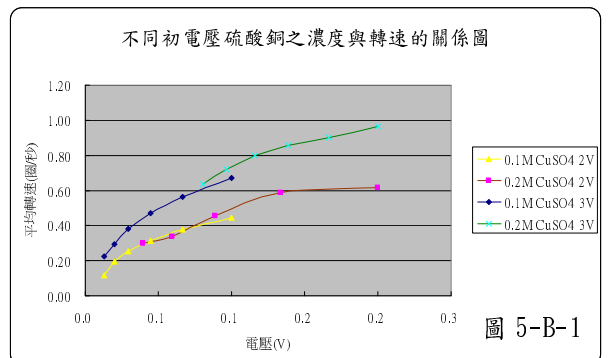
[步驟] 1. 將電壓調為 2V 後，與實驗五的步驟相同。

2. 與實驗五的數據合併後討論之。

[結果]

| | | 30ml 0.1M CuSO ₄ 2V | | | | |
|----------------|------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| C _M | 平均轉速 | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 |
| | | 0.43 | 0.32 | 0.27 | 0.22 | 0.16 |

| | | 30ml 0.2M CuSO ₄ 2V | | | | |
|----------------|------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| C _M | 平均轉速 | 0.200 | 0.167 | 0.139 | 0.116 | 0.096 |
| | | 0.62 | 0.59 | 0.46 | 0.34 | 0.30 |



[討論]

1. 改變電壓後，兩條曲線也可相互連接起來。濃度越高轉速越快，也非一次關係。
2. 雖然調低了 1V，在轉速上的差異仍可清楚的分辨出來。
3. 數據過多，僅以簡表呈現。詳細資料可查閱實驗日誌。

實驗【六】硫酸鋅、硫酸亞鐵濃度高低及轉速關係

[目的] 瞭解硫酸鋅、硫酸亞鐵濃度高低是如何影響心轉子的轉速?

[步驟]

1. 分別取硫酸鋅、硫酸亞鐵溶液 0.1M 30ml，倒入容器中。
2. 與實驗五的相同步驟操作。
3. 再與實驗五之 0.1M 硫酸銅的數據合併後，加以討論。

[結果]

| C _M \ 平均轉速 | 0.1M 3V | | | | | |
|-----------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 | 0.013 |
| CuSO ₄ | 0.67 | 0.56 | 0.47 | 0.38 | 0.30 | 0.23 |
| FeSO ₄ | 0.54 | 0.45 | 0.37 | 0.30 | 0.24 | 0.19 |
| ZnSO ₄ | 0.44 | 0.36 | 0.31 | 0.24 | 0.19 | 0.16 |

※ 數據過多，僅以簡表呈現 單位:圈/秒

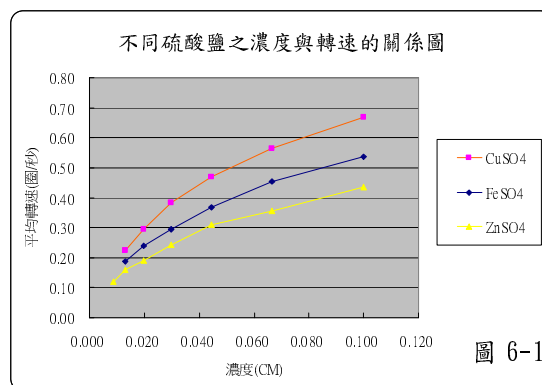


圖 6-1

[討論]

1. 從數據與圖表中得知，在相同的電壓、溶液體積、濃度時，不同的電解質溶液其心轉子轉速的快慢為：硫酸銅 > 硫酸亞鐵 > 硫酸鋅。
2. 這個結果我們無法解釋。這三者僅差正離子不同而已。試想改變一下不同濃度下，再比較一次。
3. 以硫酸銅、硫酸亞鐵、硫酸鋅為溶液時，在環狀銅圈的產物分別是銅、鐵、鋅。因為銅圈上紅銅生成-[銅]；銅圈放置一段時間後會有鐵鏽生成-[鐵]；銅圈上一層銀灰色金屬且不隨時間而變色-[鋅]。



圖 6-2
環狀銅圈 (硫酸銅) 環狀銅圈 (硫酸亞鐵) 環狀銅圈 (硫酸鋅)

實驗【六-B】改變濃度後，硫酸鋅、硫酸亞鐵、硫酸銅濃度高低與轉速關係

[目的] 瞭解不同濃度下，硫酸銅、硫酸亞鐵、硫酸鋅與心轉子轉速的關係。

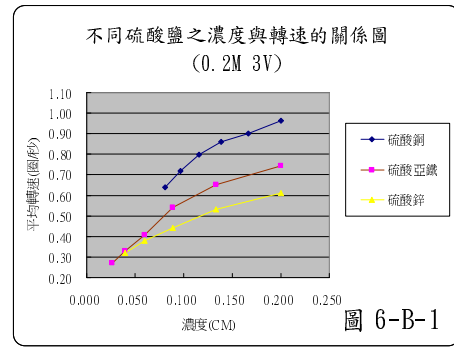
[步驟]

1. 分別取 30ml 0.2M 硫酸鋅、硫酸亞鐵溶液，倒入容器中。
2. 與實驗五的相同步驟操作。
3. 再與實驗五之 0.2M 硫酸銅的數據合併後，加以討論。

[結果]

| | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C_M | | | | | | |
| 平均轉速 | 0.200 | 0.133 | 0.089 | 0.059 | 0.040 | 0.026 |
| $CuSO_4$ | 0.96 | 0.90 | 0.85 | 0.80 | 0.72 | 0.64 |
| $FeSO_4$ | 0.75 | 0.65 | 0.54 | 0.41 | 0.33 | 0.27 |
| $ZnSO_4$ | 0.61 | 0.53 | 0.44 | 0.38 | 0.32 | |

※ 數據過多，僅以簡表呈現 單位:圈/秒

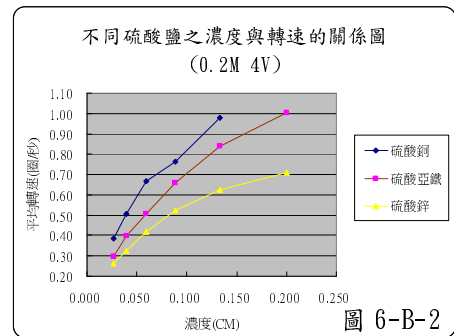


[討論]

1. 從數據與圖表中得知，心轉子轉速的快慢為：硫酸銅 > 硫酸亞鐵 > 硫酸鋅。
2. 接著又改變電壓為 4V 求取心轉子轉速關係。

| | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| C_M | | | | | | |
| 平均轉速 | 0.200 | 0.133 | 0.089 | 0.059 | 0.040 | 0.026 |
| $CuSO_4$ | | 0.98 | 0.77 | 0.67 | 0.51 | 0.38 |
| $FeSO_4$ | 1.00 | 0.84 | 0.70 | 0.51 | 0.40 | 0.30 |
| $ZnSO_4$ | 0.71 | 0.63 | 0.53 | 0.42 | 0.33 | 0.27 |

※ 數據過多，僅以簡表呈現 單位:圈/秒



3. 不隨濃度與電壓的差異，此關係皆存在。硫酸銅 > 硫酸亞鐵 > 硫酸鋅。

實驗【七】硫酸銅溶液在不同電壓與轉速的關係。

[說明] 在實驗三中，發現電壓高低與「心轉子」轉速的線性關係良好。因此，我們將電壓範圍調低至與求得濃度關係的電壓範圍相近，即 1.5~4V。

[步驟]

1. 取 5ml 0.2M 硫酸銅溶液+ 25ml 水，倒入容器中。依儀器操作步驟安裝。
2. 調整電壓為 1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 伏特。分別記錄旋轉 5 圈的時間。
3. 繪出電壓與轉速的關係圖。
4. 取硫酸銅溶液 0.2M 10ml + 20ml 水，重複步驟 1、2、3。
5. 取硫酸銅溶液 0.2M 15ml + 15ml 水，重複步驟 1、2、3。
6. 繪出三種初濃度的不同電壓與轉速的關係圖，並加以討論。

[結果]

5ml 0.2M $CuSO_4$ + 25ml 水

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 電壓(V) | | | | | | |
| 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| #1 | 26.47 | 20.67 | 16.66 | 14.58 | 13.21 | 12.30 |
| #2 | 26.40 | 20.28 | 16.75 | 14.36 | 13.33 | 12.15 |
| #3 | 26.20 | 20.19 | 16.76 | 14.47 | 13.27 | 12.17 |
| #4 | 26.43 | 20.00 | 16.88 | 14.62 | 13.27 | 12.17 |
| #5 | 26.31 | 19.94 | 16.96 | 14.72 | 13.17 | 12.14 |
| 平均(s) | 26.36 | 20.22 | 16.80 | 14.55 | 13.25 | 12.19 |
| 一圈平均 | 5.27 | 4.04 | 3.36 | 2.91 | 2.65 | 2.44 |
| 平均轉速 | 0.19 | 0.25 | 0.30 | 0.34 | 0.38 | 0.17 |

10ml 0.2M $CuSO_4$ + 20ml 水

| | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 電壓(V) | | | | | | |
| 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| #1 | 21.54 | 17.33 | 13.30 | 12.00 | 11.94 | 10.43 |
| #2 | 21.30 | 17.06 | 13.90 | 12.18 | 11.51 | 10.24 |
| #3 | 21.60 | 17.14 | 13.87 | 12.25 | 11.42 | 10.17 |
| #4 | 21.30 | 17.04 | 13.97 | 12.16 | 11.00 | 10.34 |
| #5 | 21.18 | 17.52 | 13.80 | 12.17 | 11.27 | 10.80 |
| 平均(s) | 21.38 | 17.21 | 13.77 | 12.15 | 11.43 | 10.40 |
| 一圈平均 | 4.28 | 3.44 | 2.75 | 2.43 | 2.29 | 2.08 |
| 平均轉速 | 0.234 | 0.29 | 0.36 | 0.41 | 0.44 | 0.48 |

15ml 0.2M CuSO₄ + 15ml 水

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| #1 | 16.59 | 13.25 | 11.08 | 10.34 | 9.19 | 8.60 |
| #2 | 16.50 | 13.67 | 11.18 | 10.51 | 9.14 | 8.90 |
| #3 | 16.44 | 13.44 | 11.35 | 10.34 | 9.97 | 8.70 |
| #4 | 16.36 | 13.10 | 11.60 | 10.34 | 9.07 | 8.60 |
| #5 | 16.57 | 13.15 | 11.57 | 10.49 | 9.33 | 8.46 |
| 平均(s) | 16.49 | 13.32 | 11.35 | 10.40 | 9.34 | 8.65 |
| 一圈平均 | 3.30 | 2.66 | 2.27 | 2.08 | 1.87 | 1.73 |
| 平均轉速 | 0.30 | 0.38 | 0.44 | 0.48 | 0.54 | 0.58 |

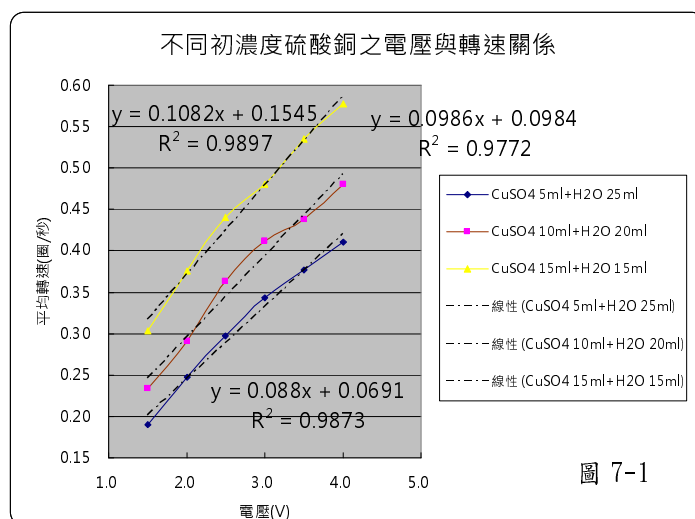


圖 7-1

[討論]

1. 電壓越大則轉速越快，且線性關係很好。
2. 以不同的初濃度探討電壓與轉速的關係，其三條斜線之間有近似相互平行的關係。但細看之後，並不平行。

實驗【八】硫酸亞鐵、硫酸鋅溶液在不同電壓下與轉速的關係。

[目的] 瞭解兩種物質在不同電壓與轉速的關係是否與硫酸銅相似。

[步驟]

1. 取 5ml 0.2M 硫酸亞鐵溶液+ 25ml 水，倒入容器中。依儀器操作步驟安裝。
2. 調整電壓為 1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 伏特。分別記錄旋轉 5 圈的時間。
3. 繪出電壓與轉速的關係圖。
4. 取硫酸亞鐵溶液 10ml 0.2M + 20ml 水 與 15ml 0.2M + 15ml 水，重複步驟 1、2、3。
5. 取硫酸鋅溶液 5ml 0.2M+ 25ml 水、10ml 0.2M+ 20ml 水與 15ml 0.2M+ 15ml 水，重複步驟 1、2、3，並加以討論。

[結果]

1. 硫酸亞鐵的數據：

5ml 0.2M FeSO₄ + 25ml 水

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| #1 | 40.89 | 25.19 | 19.20 | 16.51 | 14.10 | 12.70 |
| #2 | 40.48 | 25.29 | 19.46 | 16.73 | 14.10 | 12.60 |
| #3 | 40.79 | 25.04 | 19.51 | 16.54 | 14.21 | 12.48 |
| #4 | 40.89 | 25.15 | 19.50 | 16.62 | 14.17 | 12.54 |
| #5 | 40.42 | 25.24 | 19.530 | 16.75 | 14.07 | 12.57 |
| 平均(s) | 40.69 | 25.18 | 19.44 | 16.63 | 14.13 | 12.58 |
| 一圈平均 | 8.14 | 5.04 | 3.89 | 3.33 | 2.83 | 2.52 |
| 平均轉速 | 0.12 | 0.20 | 0.26 | 0.30 | 0.35 | 0.40 |

10ml 0.2M FeSO₄ + 20ml 水

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| #1 | 29.03 | 19.49 | 14.30 | 12.58 | 10.85 | 9.76 |
| #2 | 29.57 | 19.27 | 14.43 | 12.60 | 10.83 | 9.87 |
| #3 | 29.27 | 19.40 | 14.64 | 12.56 | 10.99 | 9.94 |
| #4 | 29.50 | 19.54 | 14.48 | 12.70 | 10.96 | 9.88 |
| #5 | 29.40 | 19.39 | 14.46 | 12.50 | 10.73 | 9.78 |
| 平均(s) | 29.35 | 19.42 | 14.46 | 12.59 | 10.87 | 9.84 |
| 一圈平均 | 5.87 | 3.88 | 2.89 | 2.52 | 2.17 | 1.97 |
| 平均轉速 | 0.17 | 0.26 | 0.35 | 0.40 | 0.46 | 0.50 |

15ml 0.2M FeSO₄ + 15ml 水

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| #1 | 18.70 | 13.60 | 11.40 | 9.60 | 8.45 | 7.09 |
| #2 | 18.26 | 13.85 | 11.17 | 9.17 | 8.50 | 7.12 |
| #3 | 18.42 | 13.73 | 11.54 | 9.90 | 8.37 | 7.12 |
| #4 | 18.30 | 13.75 | 11.17 | 9.30 | 8.25 | 7.31 |
| #5 | 18.30 | 13.67 | 11.00 | 9.84 | 8.54 | 7.47 |
| 平均(s) | 18.40 | 13.72 | 11.26 | 9.56 | 8.42 | 7.22 |
| 一圈平均 | 3.68 | 2.74 | 2.25 | 1.91 | 1.68 | 1.44 |
| 平均轉速 | 0.27 | 0.36 | 0.44 | 0.52 | 0.59 | 0.69 |

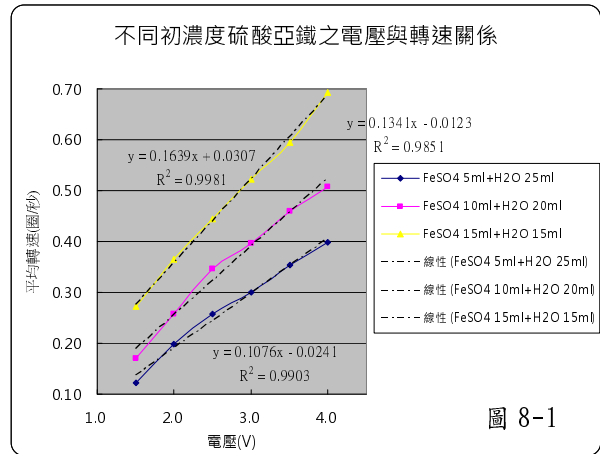


圖 8-1

2. 硫酸鋅的數據： 5ml 0.2M ZnSO₄ + 25ml 水

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 53.97 | 31.40 | 24.64 | 19.80 | 16.82 | 14.72 |
| #2 | 53.65 | 32.45 | 25.11 | 19.82 | 16.63 | 14.86 |
| #3 | 53.39 | 32.05 | 24.12 | 19.75 | 16.75 | 14.78 |
| #4 | 52.46 | 31.95 | 23.81 | 19.67 | 16.61 | 14.71 |
| #5 | 55.64 | 31.29 | 23.27 | 19.80 | 16.83 | 14.85 |
| 平均(s) | 53.82 | 31.83 | 24.19 | 19.77 | 16.73 | 14.78 |
| 一圈平均 | 10.76 | 6.37 | 4.84 | 3.95 | 3.35 | 2.96 |
| 平均轉速 | 0.09 | 0.16 | 0.21 | 0.25 | 0.30 | 0.34 |

10ml 0.2M ZnSO₄ + 20ml 水

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| #1 | 34.80 | 20.50 | 15.63 | 12.49 | 10.90 | 9.60 |
| #2 | 32.27 | 20.27 | 15.79 | 12.34 | 10.91 | 9.35 |
| #3 | 33.31 | 20.44 | 15.62 | 12.52 | 10.66 | 9.60 |
| #4 | 33.35 | 20.61 | 15.25 | 12.26 | 10.71 | 9.47 |
| #5 | 33.87 | 20.38 | 15.26 | 12.13 | 10.84 | 9.21 |
| 平均(s) | 33.52 | 20.44 | 15.51 | 12.35 | 10.80 | 9.45 |
| 一圈平均 | 6.70 | 4.09 | 3.10 | 2.47 | 2.16 | 1.89 |
| 平均轉速 | 0.15 | 0.25 | 0.32 | 0.41 | 0.46 | 0.53 |

15ml 0.2M ZnSO₄ + 15ml 水

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| #1 | 24.42 | 15.44 | 12.47 | 9.44 | 8.24 | 7.69 |
| #2 | 24.39 | 15.93 | 12.56 | 9.53 | 8.14 | 7.38 |
| #3 | 24.76 | 15.15 | 12.64 | 9.30 | 8.02 | 7.46 |
| #4 | 23.86 | 15.94 | 12.32 | 9.30 | 8.60 | 7.33 |
| #5 | 25.64 | 15.91 | 12.47 | 9.90 | 8.75 | 7.11 |
| 平均(s) | 24.61 | 15.67 | 12.49 | 9.49 | 8.35 | 7.39 |
| 一圈平均 | 4.92 | 3.14 | 2.40 | 1.90 | 1.67 | 1.48 |
| 平均轉速 | 0.20 | 0.32 | 0.40 | 0.53 | 0.60 | 0.68 |

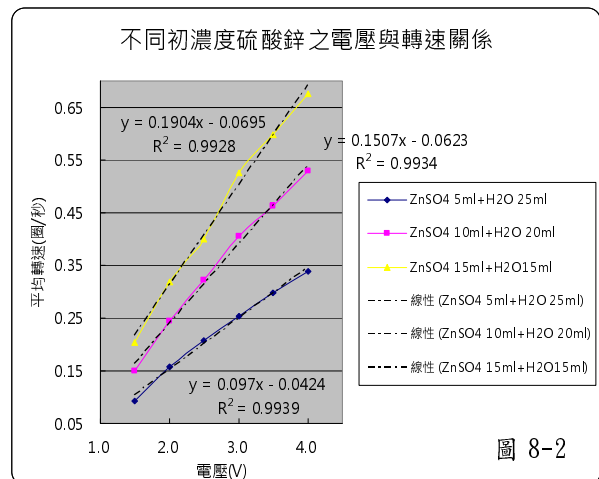


圖 8-2

[討論]

1. 與實驗七有相同的關係。綜合比較實驗七、八的數據可知：在相同電壓與濃度下轉速的快慢為硫酸銅 > 硫酸亞鐵 > 硫酸鋅。
2. 硫酸鋅在做完實驗時負極是鍍上鋅，會不好刷洗，所以每做一次就要換一次銅圈。

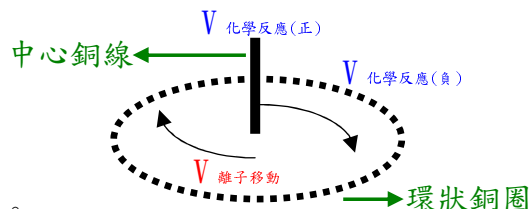
3. 硫酸亞鐵泡好後會有橘黃色沉澱，故吸取上面清澈部份。

【假設】

我們綜合實驗六、實驗七與實驗八的結果：

- (1) 不同的硫酸鹽溶液其心轉子轉速的快慢為：硫酸銅 > 硫酸亞鐵 > 硫酸鋅；
- (2) 以硫酸銅、硫酸亞鐵、硫酸鋅為溶液時，在環狀銅圈的產物分別是銅、鐵、鋅；
- (3) 外加電壓越大，則轉速越快。

進行討論並提出假設加以解釋。



[提出與說明]

假設： $V_{外} = V_{化學反應} + V_{離子移動}$

- (1) $V_{外}$ ：由溶液外部的電源供應器所提供的電壓。
 - (2) $V_{化學反應}$ ：溶液中進行化學反應所需的電壓[$=V_{化學反應(正)} + V_{化學反應(負)}$]。
 - (3) $V_{離子移動}$ ：溶液中造成離子移動的兩端電極電壓。
- a. 使用硫酸鹽類為溶液時，生成的金屬產物是有對應關係的，推論 $V_{化學反應}$ 值大小是與產物有關的[實驗六中]。
 - b. 將上式改為 $V_{離子移動} = V_{外} - V_{化學反應}$ 。當 $V_{外}$ 固定時，在不同電解質中 $V_{化學反應}$ 值越小，則 $V_{離子移動}$ 值越大，故兩端電極電壓越大，造成離子移動快[實驗六中]，因此轉速變快。
 - c. 使用相同電解質時， $V_{化學反應}$ 值應是固定值；當外部電壓變大時， $V_{離子移動}$ 隨之變大，故離子移動的速率也加快[實驗七、八中]。

[推論]

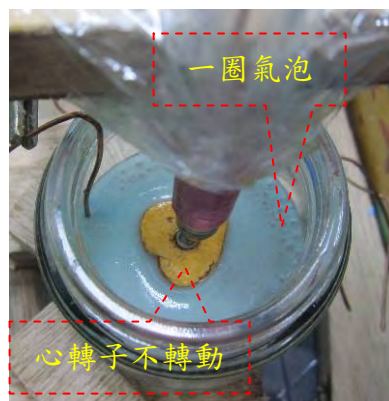
1. 在固定條件下(相同電壓與濃度)測量硫酸鉀與其餘三種溶液(硫酸銅、硫酸亞鐵、硫酸鋅)之轉速，則可預期硫酸鉀之轉速必不同於其餘三種。
2. 使用硝酸鹽溶液，也應該在轉速上會有此大小關係。即 **硝酸銅>硝酸亞鐵>硝酸鋅**。
3. 使用硝酸鹽溶液，外加電壓越大，則轉速越快。

實驗【九】探討 K_2SO_4 、 KNO_3 溶液與轉動關係

- [步驟]
1. 分別取 30ml 0.1M K_2SO_4 溶液，倒入容器中，與實驗五的操作步驟相同。
 2. 再以 30ml 0.1M KNO_3 溶液，倒入容器中。同步驟 1 操作，分別討論之。

[結果]

1. 當 K_2SO_4 為溶液時，容器內產生一圈氣泡(環狀銅圈的上方液面)，整個液面都是氣泡和淡藍色膠狀物，心轉子轉速逐漸變慢，最後停止。



[討論]

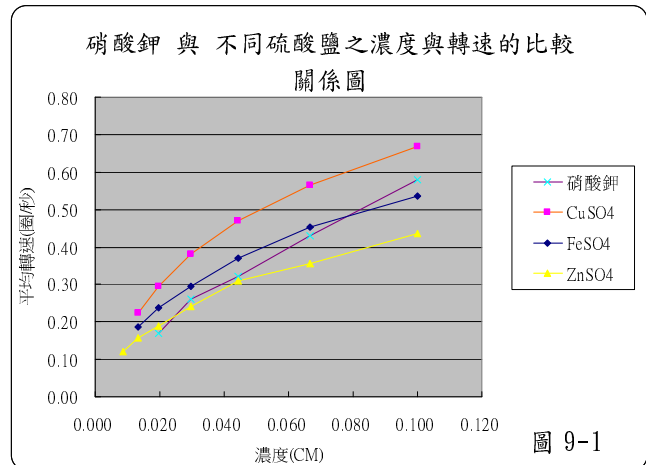
1. 觀察瓶內的 K_2SO_4 液體仍有轉動，只是心轉子無法隨著轉動。
2. 與實驗五的電流數據相互比較(表 9-1)，發現異常多出許多的現象。再加上觀察到的結果與之前的反應不同，推測是通電時，不只是負極產生氫氣正極產生銅離子而且還有其他反應產生。
3. 經討論之後，改用硝酸鉀(KNO_3)取代硫酸鉀(K_2SO_4)來進行反應，所得的資料如上表。再與實驗六

表 9-1

| | 濃度皆為 0.1M，體積 30ml，電壓 3V | | | | |
|--------|-------------------------|------|-----|-----|-----|
| 溶液種類 | 硫酸銅 | 硫酸亞鐵 | 硫酸鋅 | 硫酸鉀 | 硝酸鉀 |
| 電流(mA) | 80 | 60 | 70 | 100 | 90 |

的數據繪製成圖 9-1。

| 30ml 0.1M KNO ₃ 3V | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 濃度 次數 | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 |
| #1 | 8.75 | 11.03 | 15.19 | 19.25 | 30.90 |
| #2 | 8.32 | 11.32 | 15.47 | 19.22 | 29.97 |
| #3 | 8.79 | 11.86 | 15.74 | 19.47 | 30.49 |
| #4 | 8.40 | 11.95 | 15.71 | 19.40 | 29.17 |
| #5 | 8.54 | 11.64 | 15.73 | 19.41 | 29.37 |
| 平均(s) | 8.56 | 11.56 | 15.57 | 19.35 | 29.98 |
| 一圈平均 | 1.71 | 2.31 | 3.11 | 3.87 | 6.00 |
| 平均轉速 | 0.58 | 0.43 | 0.32 | 0.26 | 0.17 |



4. 從上圖得知，當以硝酸鉀為溶液時，轉速與其餘三種溶液不同。因正極反應不同，故轉速也隨之不同。

實驗【十】不同電壓下硝酸銅濃度與轉速關係

[目的]在相同電壓下，硝酸銅溶液也可以用稀釋的方式，探討濃度與轉速的關係且與硫酸銅溶液是否有類似的結果？

[步驟]

1. 取硝酸銅溶液 0.1M 30ml，倒入容器中。調整電壓為 3V。
2. 完成儀器裝置後，測心轉子轉動 5 圈所需時間，記錄並填入表格中。
3. 取出溶液 10ml 後。再加水 10ml 倒入容器中，稀釋成不同濃度。
4. 重覆步驟 2、3，共 4-5 次。
5. 更換中心銅線，取硝酸銅溶液 0.2M 30ml，重覆步驟 1-4。
6. 將電壓調整為 4V，重覆步驟 1-5。記錄並加以討論。

[結果]

| 30ml 0.1M Cu(NO ₃) ₂ 3V | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 濃度 次數 | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 |
| #1 | 5.72 | 6.94 | 8.14 | 10.71 | 13.47 |
| #2 | 5.82 | 6.92 | 8.11 | 10.44 | 13.28 |
| #3 | 5.73 | 6.88 | 8.14 | 10.62 | 13.29 |
| #4 | 5.86 | 6.74 | 8.01 | 10.42 | 13.39 |
| #5 | 5.69 | 6.72 | 8.00 | 10.59 | 13.24 |
| 平均(s) | 5.76 | 6.84 | 8.08 | 10.56 | 13.33 |
| 一圈平均 | 1.15 | 1.37 | 1.62 | 2.11 | 2.67 |
| 平均轉速 | 0.87 | 0.73 | 0.62 | 0.47 | 0.37 |

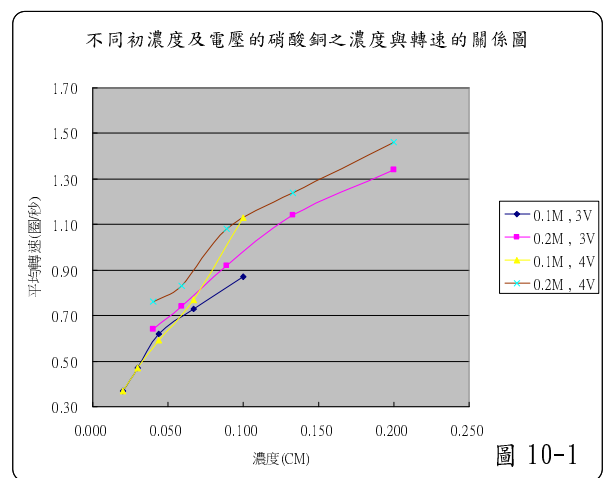
| 30ml 0.2M Cu(NO ₃) ₂ 3V | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 濃度 次數 | 0.200 | 0.133 | 0.089 | 0.059 | 0.040 |
| #1 | 3.87 | 4.50 | 5.38 | 6.79 | 7.89 |
| #2 | 3.74 | 4.21 | 5.24 | 6.91 | 7.71 |
| #3 | 3.56 | 4.20 | 5.27 | 6.84 | 7.90 |
| #4 | 3.74 | 4.65 | 5.90 | 6.61 | 7.65 |
| #5 | 3.75 | 4.36 | 5.31 | 6.67 | 7.98 |
| 平均(s) | 3.73 | 4.38 | 5.42 | 6.76 | 7.83 |
| 一圈平均 | 0.75 | 0.88 | 1.08 | 1.35 | 1.57 |
| 平均轉速 | 1.34 | 1.14 | 0.92 | 0.74 | 0.64 |

| 30ml 0.1M Cu(NO ₃) ₂ 4V | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 濃度 次數 | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 |
| #1 | 4.80 | 6.70 | 8.70 | 10.20 | 13.84 |
| #2 | 4.70 | 6.40 | 8.43 | 10.44 | 13.95 |
| #3 | 4.12 | 6.44 | 8.08 | 10.84 | 13.32 |
| #4 | 4.08 | 6.27 | 8.33 | 10.53 | 13.32 |
| #5 | 4.45 | 6.54 | 8.81 | 10.82 | 13.95 |
| 平均(s) | 4.43 | 6.47 | 8.47 | 10.57 | 13.68 |
| 一圈平均 | 0.89 | 1.29 | 1.69 | 2.11 | 2.74 |
| 平均轉速 | 1.13 | 0.77 | 0.59 | 0.47 | 0.37 |

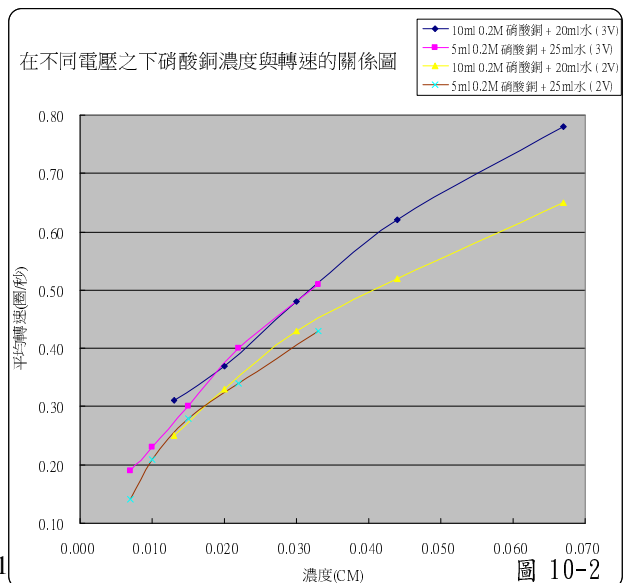
| 30ml 0.2M Cu(NO ₃) ₂ 4V | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 濃度 次數 | 0.200 | 0.133 | 0.089 | 0.059 | 0.040 |
| #1 | 3.67 | 4.23 | 4.95 | 5.43 | 6.55 |
| #2 | 3.25 | 4.18 | 4.63 | 6.15 | 6.75 |
| #3 | 3.40 | 4.13 | 4.60 | 6.34 | 6.69 |
| #4 | 3.47 | 3.97 | 4.57 | 6.33 | 6.27 |
| #5 | 3.30 | 3.67 | 4.32 | 5.98 | 6.67 |
| 平均(s) | 3.42 | 4.04 | 4.61 | 6.05 | 6.59 |
| 一圈平均 | 0.68 | 0.81 | 0.92 | 1.21 | 1.32 |
| 平均轉速 | 1.46 | 1.24 | 1.08 | 0.83 | 0.76 |

[討論]

1. 希望硝酸銅時也能與硫酸銅一樣可以用稀釋的方式進行探討變因。
2. 改變電壓後，兩條曲線並非連接得起來。濃度越高轉速越快，也非一次關係。
3. 目前曲線的相連性不是很好，可能是藥品潮解的問題，潮解的問題正待改善中。
4. 我們整理實驗資料時，發現心轉子轉動五圈時所需時間是在 5~40 秒內時，所測到的數據最穩定(再現性高)。若再加上人的反應時間誤差。很可能就是造成圖 10-1 的原因。潮解問題只要用同一配置成的藥品依不同比例稀釋就可以讓濃度產生高低變化了。因此，我們降低硝酸銅的濃度，重新測量一次。
5. 取甲、乙兩溶液，甲為 0.2M 10ml 硝酸銅 + 20ml 水，乙為 0.2M 5ml 硝酸銅 + 25ml 水，電壓為 3V，依實驗十的實驗步驟操作。降低電壓為 2V，求得丙、丁。
6. 獲得圖 10-2，從圖中可知甲、乙與丙、丁所產生的曲線是可以連接的。故在較低的電壓下及較低濃度的硝酸銅溶液，就可用來探討濃度與轉速的關係。



| | | | | | |
|----------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 甲 | 10ml 0.2M 硝酸銅 + 20ml 水 (3V) | | | | |
| C _M | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 | 0.013 |
| 平均轉速 | 0.78 | 0.62 | 0.48 | 0.37 | 0.31 |
| 乙 | 5ml 0.2M 硝酸銅 + 25ml 水 (3V) | | | | |
| C _M | 0.033 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 |
| 平均轉速 | 0.51 | 0.40 | 0.30 | 0.23 | 0.19 |
| 丙 | 10ml 0.2M 硝酸銅 + 20ml 水 (2V) | | | | |
| C _M | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 | 0.013 |
| 平均轉速 | 0.65 | 0.52 | 0.43 | 0.33 | 0.25 |
| 丁 | 5ml 0.2M 硝酸銅 + 25ml 水 (2V) | | | | |
| C _M | 0.033 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 |
| 平均轉速 | 0.43 | 0.34 | 0.28 | 0.21 | 0.14 |



實驗【十一】不同硝酸鹽與轉速關係。

[目的] 求證在硝酸鹽溶液中，心轉子轉速的快慢是否為：硝酸銅 > 硝酸亞鐵 > 硝酸鋅。

[步驟]

1. 分別取 10ml 0.1M 硝酸銅、硝酸亞鐵、硝酸鋅溶液+ 20ml 水，各別倒入容器中。調整電壓為 3V。
2. 完成儀器裝置後，測心轉子轉動 5 圈所需時間，記錄並填入表格中。
3. 取出溶液 10ml 後。再加水 10ml 倒入容器中，稀釋成不同濃度。
4. 重覆步驟 2、3，共 4-5 次。
5. 更換中心銅線，調整電壓為 2V，重覆步驟 1-4。

[結果] 1.在實驗中，應使用硝酸亞鐵 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ 來做實驗，但廠商未賣硝酸亞鐵，且向鄰近高中借藥品也借不到。故使用硝酸鐵 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 。

10ml 0.1M $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ + 20ml 水 3V

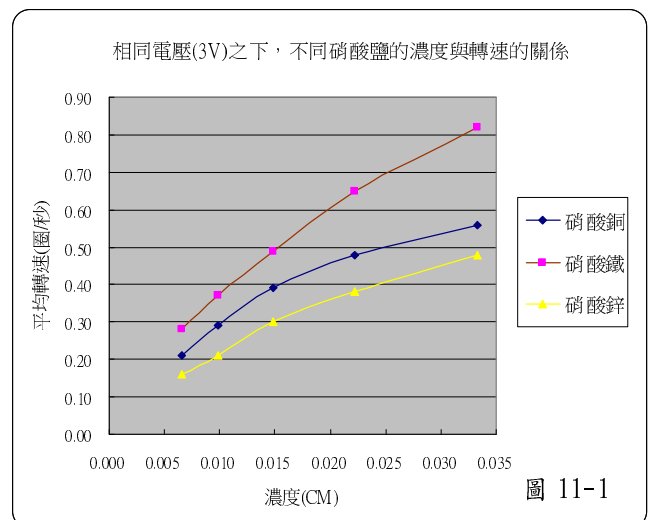
| 濃度 次數 | 0.033 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 8.89 | 10.54 | 12.93 | 17.97 | 24.33 |
| #2 | 8.94 | 10.56 | 12.74 | 17.02 | 24.99 |
| #3 | 8.86 | 10.36 | 12.93 | 17.01 | 24.12 |
| #4 | 8.97 | 10.24 | 12.94 | 17.15 | 24.02 |
| #5 | 8.86 | 10.43 | 12.95 | 17.13 | 24.27 |
| 平均(s) | 8.90 | 10.43 | 12.90 | 17.26 | 24.35 |
| 一圈平均 | 1.78 | 2.09 | 2.58 | 3.45 | 4.87 |
| 平均轉速 | 0.56 | 0.48 | 0.38 | 0.29 | 0.21 |

10ml 0.1M $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ + 20ml 水 3V

| 濃度 次數 | 0.033 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 6.31 | 7.67 | 10.59 | 13.40 | 17.76 |
| #2 | 6.06 | 7.80 | 10.02 | 13.16 | 17.91 |
| #3 | 6.04 | 7.70 | 10.14 | 13.80 | 17.87 |
| #4 | 6.11 | 7.70 | 10.15 | 13.22 | 17.62 |
| #5 | 6.15 | 7.73 | 10.22 | 13.23 | 17.99 |
| 平均(s) | 6.13 | 7.72 | 10.22 | 13.37 | 17.83 |
| 一圈平均 | 1.23 | 1.54 | 2.04 | 2.67 | 3.57 |
| 平均轉速 | 0.82 | 0.65 | 0.49 | 0.37 | 0.28 |

10ml 0.1M $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ + 20ml 水 3V

| 濃度 次數 | 0.033 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 10.72 | 13.64 | 16.58 | 23.39 | 30.87 |
| #2 | 10.17 | 13.13 | 16.93 | 23.25 | 30.75 |
| #3 | 10.84 | 13.31 | 16.54 | 23.47 | 30.23 |
| #4 | 10.26 | 13.07 | 16.78 | 23.47 | 30.51 |
| #5 | 10.08 | 13.04 | 16.79 | 23.60 | 30.80 |
| 平均(s) | 10.41 | 13.24 | 16.72 | 23.44 | 30.63 |
| 一圈平均 | 2.08 | 2.65 | 3.34 | 4.69 | 6.13 |
| 平均轉速 | 0.48 | 0.38 | 0.30 | 0.21 | 0.16 |



10ml 0.1M Cu(NO₃)₂ + 20ml 水 2V

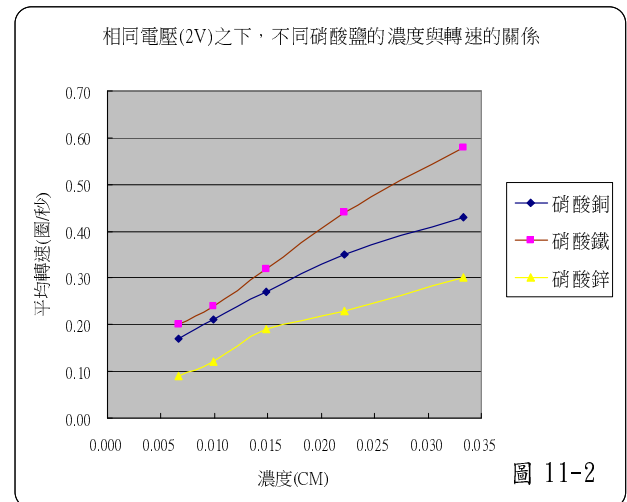
| 濃度 次數 | 0.033 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 11.94 | 14.80 | 18.47 | 23.11 | 30.00 |
| #2 | 11.74 | 14.40 | 18.54 | 23.30 | 30.20 |
| #3 | 11.56 | 14.23 | 18.35 | 23.12 | 30.09 |
| #4 | 11.27 | 14.17 | 18.21 | 23.41 | 30.47 |
| #5 | 11.11 | 14.27 | 18.54 | 23.52 | 29.57 |
| 平均(s) | 11.52 | 14.37 | 18.42 | 23.29 | 30.07 |
| 一圈平均 | 2.30 | 2.87 | 3.68 | 4.66 | 8.01 |
| 平均轉速 | 0.43 | 0.35 | 0.27 | 0.21 | 0.17 |

10ml 0.1M Fe(NO₃)₃ + 20ml 水 2V

| 濃度 次數 | 0.033 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 8.70 | 11.92 | 15.30 | 20.61 | 25.15 |
| #2 | 8.90 | 11.07 | 15.63 | 20.44 | 25.42 |
| #3 | 8.54 | 11.00 | 15.64 | 20.67 | 25.81 |
| #4 | 8.64 | 11.48 | 15.55 | 20.80 | 25.34 |
| #5 | 8.61 | 11.32 | 15.17 | 20.82 | 25.72 |
| 平均(s) | 8.68 | 11.36 | 15.46 | 20.67 | 25.49 |
| 一圈平均 | 1.74 | 2.27 | 3.09 | 4.13 | 5.10 |
| 平均轉速 | 0.58 | 0.44 | 0.32 | 0.24 | 0.20 |

10ml 0.1M Zn(NO₃)₂ + 20ml 水 2V

| 濃度 次數 | 0.033 | 0.022 | 0.015 | 0.010 | 0.007 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 16.09 | 21.56 | 26.72 | 41.82 | 47.99 |
| #2 | 16.38 | 21.71 | 26.44 | 42.85 | 53.59 |
| #3 | 16.28 | 21.36 | 26.86 | 40.03 | 50.51 |
| #4 | 16.97 | 21.51 | 26.59 | 40.04 | 58.58 |
| #5 | 16.44 | 21.32 | 26.65 | 40.53 | 59.90 |
| 平均(s) | 16.43 | 21.49 | 26.65 | 41.05 | 54.13 |
| 一圈平均 | 3.29 | 4.30 | 5.33 | 8.21 | 10.83 |
| 平均轉速 | 0.30 | 0.23 | 0.19 | 0.12 | 0.09 |



[討論]

- 由實驗得知，在電壓 2V、3V 時，溶液轉速皆是硝酸鐵 > 硝酸銅 > 硝酸鋅。與我們推測的結果關係(硝酸銅 > 硝酸亞鐵 > 硝酸鋅)有些不同。因此，分成兩部分進行說明：轉速上 A. 硝酸銅 > 硝酸鋅完全正確。B. 硝酸鐵 > 硝酸銅是錯誤的。
- 我們就以硝酸亞鐵與硝酸鐵的解離方程式進行比較：
 硝酸亞鐵 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{NO}_3^-$ ； 硝酸鐵 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{NO}_3^-$
 兩個在負極上的產物都是鐵，但硝酸亞鐵解離後的離子數是 3 個，硝酸鐵解離後的離子數是 4 個。是不是解離後的離子數是越多，轉速會越多快呢？因此，另做 (0.1M) 硝酸銅與 (0.1M) 硝酸鋅的數據。再把硫酸銅與 (0.1M) 硝酸銅以及硫酸鋅與 (0.1M) 硝酸鋅做一比較【資料從實驗六取得】。

3V 單位:圈/秒

| 平均轉速 \ C _M | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CuSO ₄ | 0.67 | 0.56 | 0.47 | 0.38 | 0.30 |
| Cu(NO ₃) ₂ | 0.87 | 0.73 | 0.62 | 0.47 | 0.37 |

3V 單位:圈/秒

| 平均轉速 \ C _M | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ZnSO ₄ | 0.44 | 0.36 | 0.31 | 0.24 | 0.19 |
| Zn(NO ₃) ₂ | 0.64 | 0.53 | 0.39 | 0.30 | 0.22 |

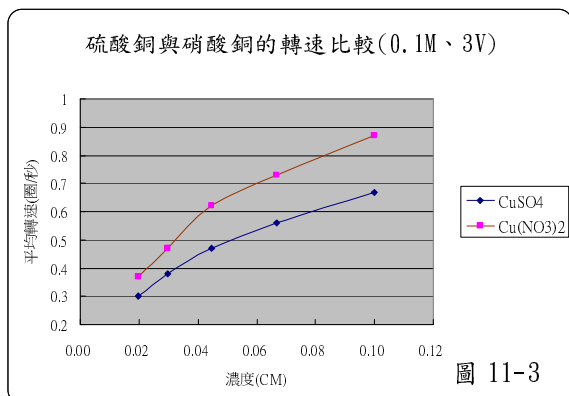


圖 11-3

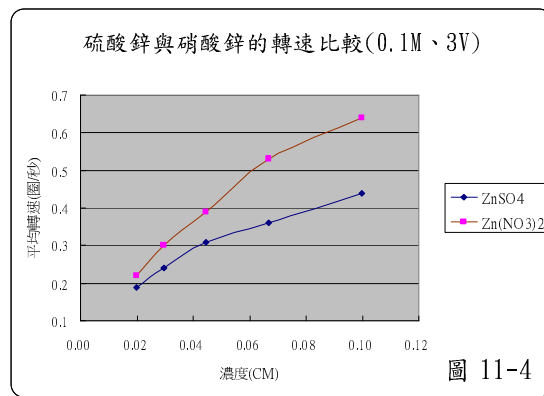


圖 11-4

3. 由上兩圖得知，同一濃度時硝酸鹽是很明顯比硫酸鹽轉速快。所以推論：在相同濃度時，解離後的離子數越多，轉速會越快。
4. 我們繼續推論出兩點：相同電壓與濃度之下，硫酸鐵會是最快，醋酸會是最慢。因為相同濃度(C_M)時，硫酸鐵可解離較多離子數(5 倍)，故推論最快；而醋酸是因解離度較小(<1)，故推論最慢。

實驗【十二】在硫酸鐵、醋酸溶液濃度與轉速的關係

[目的] 驗證實驗十一的推論，相同濃度時，解離後的離子數是越多，轉速會越多快。

- [步驟]
1. 分別取 0.1M 30ml 硫酸鐵與溶液，倒入容器中。調整電壓為 3V。
 2. 完成儀器裝置後，測心轉子轉動 5 圈所需時間，記錄並填入表格中。
 3. 取出溶液 10ml 後。再加水 10ml 倒入容器中，稀釋成不同濃度。
 4. 重覆步驟 2、3，共 4-5 次。更換中心銅線，取 0.1M 30ml 醋酸，重覆步驟 1-4。
 5. 與實驗六的數據合併後繪圖並討論。

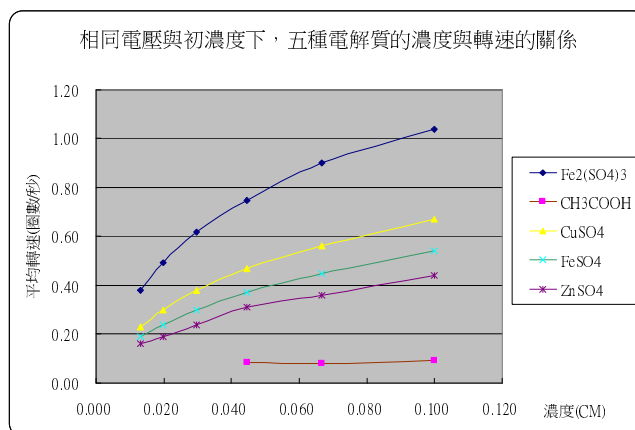
[結果]

30ml 0.1M 3V

| C _M | 0.100 | 0.067 | 0.044 | 0.030 | 0.020 | 0.013 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 平均轉速 | | | | | | |
| Fe ₂ (SO ₄) ₃ | 1.04 | 0.90 | 0.75 | 0.62 | 0.49 | 0.38 |
| CH ₃ COOH | 0.09 | 0.08 | 0.08 | | | |
| CuSO ₄ | 0.67 | 0.56 | 0.47 | 0.38 | 0.30 | 0.23 |
| FeSO ₄ | 0.54 | 0.45 | 0.37 | 0.30 | 0.24 | 0.19 |
| ZnSO ₄ | 0.44 | 0.36 | 0.31 | 0.24 | 0.19 | 0.16 |

[討論]

1. 相同電壓與濃度下，硫酸鐵轉得最快，醋酸轉得最慢。此結果與我們的推論相同。
2. 因為電壓是 3V、濃度是 0.1M 時，CH₃COOH 的轉動十分不明顯，故將電壓提升為 4V，濃度為 0.4M 來測量醋酸溶液的轉速。
3. 針對解離度的因素來說應該找解離度小於 1 的金屬硫酸鹽來測量，但此物質不易取得，故以醋酸來代替此理想物質。



實驗【十三】探討不同硝酸銅、硝酸鐵、硝酸鋅溶液中電壓與轉速的關係。

[目的] 在硝酸鹽溶液中，在不同電壓與轉速的關係上應與硫酸鹽溶液有相近的關係。

[步驟]

1. 取硝酸銅溶液 0.2M 5ml + 25ml 水，倒入容器中。依儀器操作步驟安裝。
2. 調整電壓為 1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0 伏特。分別記錄旋轉 5 圈的時間。
3. 繪出電壓與轉速的關係圖。
4. 取硝酸銅溶液 0.2M 10ml + 20ml 水，重複步驟 1、2、3。
5. 取硝酸銅溶液 0.2M 15ml + 15ml 水，重複步驟 1、2、3。
6. 繪出三種不同初濃度的電壓與轉速的關係圖，
7. 再以硝酸鐵、硝酸鋅溶液重複步驟 1-6 並加以討論。

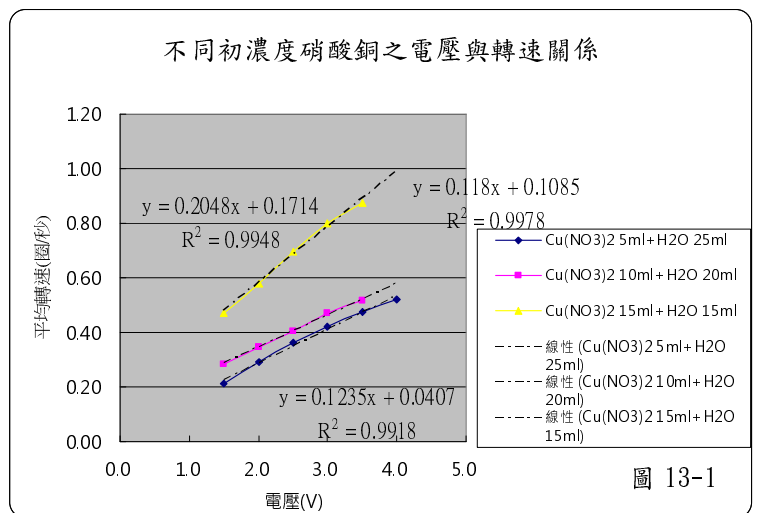
[結果]

1. 硝酸銅的數據：

| 5ml 0.2M Cu(NO ₃) ₂ + 25ml H ₂ O | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| #1 | 23.41 | 17.27 | 13.86 | 11.94 | 10.63 | 9.10 |
| #2 | 23.57 | 17.28 | 13.78 | 11.87 | 10.50 | 9.87 |
| #3 | 23.64 | 17.25 | 13.97 | 11.92 | 10.58 | 9.50 |
| #4 | 23.30 | 17.20 | 13.80 | 11.74 | 10.51 | 9.68 |
| #5 | 23.35 | 17.27 | 13.77 | 11.90 | 10.47 | 9.67 |
| 平均(s) | 23.45 | 17.25 | 13.84 | 11.87 | 10.54 | 9.56 |
| 一圈平均 | 4.69 | 3.45 | 2.77 | 2.37 | 2.11 | 1.91 |
| 平均轉速 | 0.21 | 0.29 | 0.36 | 0.42 | 0.47 | 0.52 |

| 10ml 0.2M Cu(NO ₃) ₂ + 20ml H ₂ O | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| #1 | 17.48 | 14.60 | 12.53 | 10.94 | 9.61 | 5.14 |
| #2 | 17.71 | 14.71 | 12.34 | 10.73 | 9.60 | 5.07 |
| #3 | 17.66 | 14.77 | 12.48 | 10.64 | 9.60 | 5.44 |
| #4 | 17.33 | 14.37 | 12.29 | 10.22 | 9.93 | 5.02 |
| #5 | 17.77 | 14.10 | 12.52 | 10.70 | 9.65 | 5.20 |
| 平均(s) | 17.59 | 14.51 | 12.43 | 10.65 | 9.68 | 5.95 |
| 一圈平均 | 3.52 | 2.90 | 2.49 | 2.13 | 1.94 | 1.19 |
| 平均轉速 | 0.28 | 0.35 | 0.40 | 0.47 | 0.52 | 0.84 |

| 15ml 0.2M Cu(NO ₃) ₂ + 15ml H ₂ O | | | | | | |
|---|-------|------|------|------|------|------|
| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
| #1 | 10.67 | 8.50 | 7.29 | 6.37 | 5.49 | 4.17 |
| #2 | 10.45 | 8.90 | 7.15 | 6.04 | 5.98 | 4.30 |
| #3 | 10.80 | 8.54 | 7.16 | 6.20 | 5.66 | 4.28 |
| #4 | 10.32 | 8.69 | 7.10 | 6.23 | 5.94 | 4.42 |
| #5 | 10.65 | 8.65 | 7.33 | 6.43 | 5.54 | 4.29 |
| 平均(s) | 10.58 | 8.66 | 7.21 | 6.25 | 5.72 | 4.29 |
| 一圈平均 | 2.12 | 1.73 | 1.44 | 1.25 | 1.14 | 0.86 |
| 平均轉速 | 0.47 | 0.58 | 0.69 | 0.80 | 0.87 | 1.17 |



2. 硝酸鐵的數據：

5ml 0.2M Fe(NO₃)₃ + 25ml H₂O

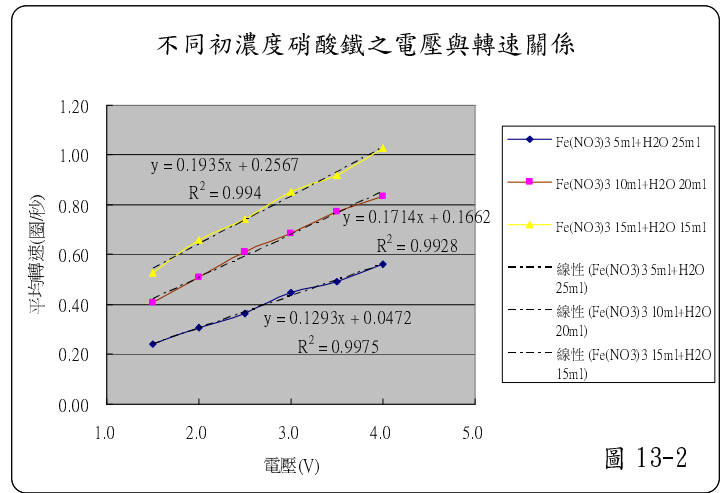
| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|------|------|------|------|
| #1 | 14.48 | 11.64 | 9.75 | 8.62 | 8.00 | 7.47 |
| #2 | 14.30 | 11.44 | 9.88 | 8.77 | 8.82 | 7.32 |
| #3 | 14.16 | 11.78 | 9.94 | 8.99 | 8.12 | 7.41 |
| #4 | 14.43 | 11.68 | 9.67 | 8.96 | 8.72 | 7.98 |
| #5 | 14.70 | 11.74 | 9.95 | 8.84 | 8.29 | 7.13 |
| 平均(s) | 14.41 | 11.66 | 9.84 | 8.84 | 8.39 | 7.46 |
| 一圈平均 | 2.88 | 2.33 | 1.97 | 1.77 | 1.68 | 1.49 |
| 平均轉速 | 0.35 | 0.43 | 0.51 | 0.57 | 0.60 | 0.67 |

10ml 0.2M Fe(NO₃)₃ + 20ml H₂O

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|------|-------|------|------|------|------|
| #1 | 8.90 | 6.98 | 6.11 | 5.14 | 4.94 | 4.41 |
| #2 | 8.44 | 6.93 | 6.13 | 5.14 | 4.57 | 4.17 |
| #3 | 8.14 | 6.94 | 6.02 | 5.15 | 4.50 | 4.22 |
| #4 | 8.48 | 7.03 | 6.04 | 5.23 | 4.65 | 4.20 |
| #5 | 8.78 | 7.30 | 6.04 | 5.06 | 4.91 | 4.18 |
| 平均(s) | 8.55 | 7.04 | 6.07 | 5.14 | 4.71 | 4.24 |
| 一圈平均 | 1.71 | 1.411 | 1.21 | 1.03 | 0.94 | 0.85 |
| 平均轉速 | 0.59 | 0.71 | 0.82 | 0.97 | 1.06 | 1.18 |

15ml 0.2M Fe(NO₃)₃ + 15ml H₂O

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|
| #1 | 6.44 | 5.57 | 4.67 | 4.17 | 4.06 | 3.85 |
| #2 | 6.53 | 5.74 | 4.57 | 4.36 | 4.00 | 3.59 |
| #3 | 6.84 | 5.82 | 4.50 | 4.14 | 3.96 | 3.90 |
| #4 | 6.87 | 5.66 | 4.44 | 4.46 | 3.91 | 3.56 |
| #5 | 6.67 | 5.69 | 4.90 | 4.37 | 3.91 | 3.27 |
| 平均(s) | 6.67 | 5.70 | 4.62 | 4.30 | 3.97 | 3.63 |
| 一圈平均 | 1.33 | 1.14 | 0.92 | 0.86 | 0.79 | 0.73 |
| 平均轉速 | 0.75 | 0.88 | 1.08 | 1.16 | 1.26 | 1.38 |



3. 硝酸鋅的數據：

5ml 0.2M Zn(NO₃)₂ + 25ml H₂O

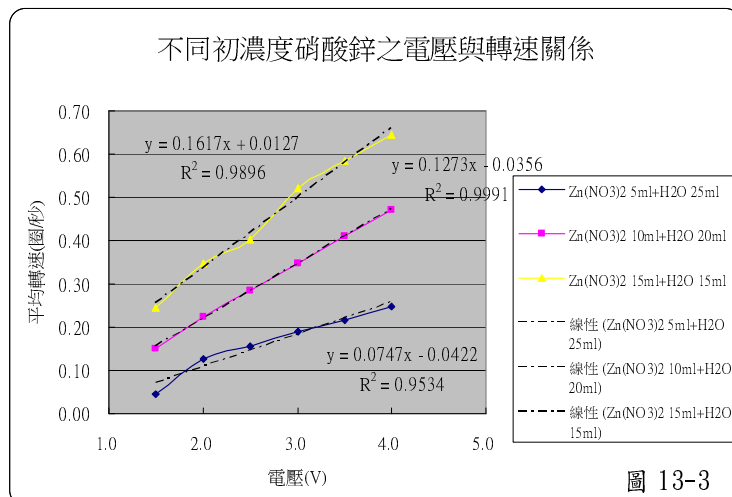
| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 115.80 | 39.65 | 31.97 | 26.48 | 23.36 | 20.07 |
| #2 | 100.01 | 40.06 | 32.22 | 26.33 | 23.03 | 20.10 |
| #3 | 115.11 | 39.81 | 31.99 | 26.86 | 23.24 | 20.50 |
| #4 | 112.14 | 39.76 | 32.07 | 26.34 | 23.24 | 20.09 |
| #5 | 99.96 | 39.40 | 31.71 | 26.70 | 23.21 | 20.30 |
| 平均(s) | 108.60 | 39.74 | 31.99 | 26.54 | 23.22 | 20.21 |
| 一圈平均 | 21.72 | 7.95 | 6.40 | 5.31 | 4.64 | 4.04 |
| 平均轉速 | 0.046 | 0.126 | 0.156 | 0.188 | 0.215 | 0.247 |

10ml 0.2M Zn(NO₃)₂ + 20ml H₂O

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| #1 | 33.90 | 22.08 | 17.91 | 14.18 | 12.25 | 10.54 |
| #2 | 33.07 | 22.66 | 17.29 | 14.40 | 12.24 | 10.92 |
| #3 | 33.04 | 22.44 | 17.68 | 14.29 | 12.10 | 10.45 |
| #4 | 33.17 | 22.17 | 17.50 | 14.26 | 12.17 | 10.70 |
| #5 | 33.53 | 22.29 | 17.54 | 14.79 | 12.25 | 10.42 |
| 平均(s) | 33.34 | 22.33 | 17.58 | 14.38 | 12.20 | 10.61 |
| 一圈平均 | 6.67 | 4.47 | 3.52 | 2.88 | 2.44 | 2.12 |
| 平均轉速 | 0.15 | 0.22 | 0.284 | 0.35 | 0.41 | 0.47 |

15ml 0.2M Zn(NO₃)₂ + 15ml H₂O

| 電壓(V) 次數 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|-------------|-------|-------|-------|------|------|------|
| #1 | 20.86 | 14.52 | 12.38 | 9.06 | 8.65 | 7.83 |
| #2 | 20.17 | 14.54 | 12.44 | 9.67 | 8.39 | 7.54 |
| #3 | 20.91 | 14.58 | 12.46 | 9.79 | 8.73 | 7.90 |
| #4 | 20.22 | 14.44 | 12.54 | 9.79 | 8.28 | 7.97 |
| #5 | 20.04 | 14.14 | 12.10 | 9.65 | 8.75 | 7.62 |
| 平均(s) | 20.44 | 14.44 | 12.38 | 9.59 | 8.56 | 7.76 |
| 一圈平均 | 4.09 | 2.89 | 2.48 | 1.92 | 1.71 | 1.55 |
| 平均轉速 | 0.24 | 0.35 | 0.40 | 0.52 | 0.58 | 0.64 |



[討論]

1. 硝酸銅、硝酸鐵、硝酸鋅皆使用三種不同初濃度來進行「不同電壓與轉速的關係」，皆呈現出電壓越大則轉速越快，且兩者的線性關係良好。
2. 濃度越高轉速也越快。

實驗【十四】外部高低電壓(V_外)對「假設」的影響

[說明] 當實驗完後處理容器時，感覺到容器有點溫度上升。那電流的熱效應會影響轉動的效果嗎?故探討此問題。

[步驟]

1. 取硫酸銅溶液 0.2M 10ml + 20ml 水，倒入容器中。依儀器操作步驟安裝。
2. 實驗前先以溫度計量取室溫與容器的液體溫度。
3. 調整電壓為 1.5、2.0、2.5、3.0、3.5 伏特，分別記錄旋轉 5 圈的時間，並計算平均轉速。電壓調整後，隨之量取容器的液體溫度並記錄。
4. 調整電壓為 1.5、5.0、10.0、15.0、20.0 伏特。重複步驟 1 至 3。
5. 繪出電壓與溫度的關係圖。

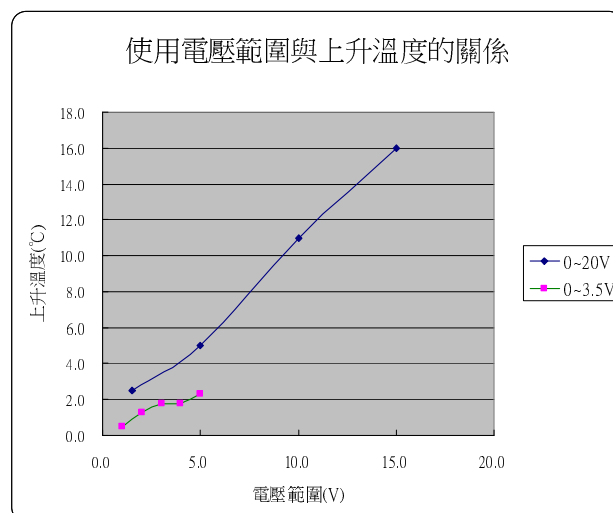
[結果]

10ml 0.2M CuSO₄ + 20ml H₂O 室溫 30.7°C

| 電壓(V) 轉速與溫度 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 |
|----------------|------|------|------|------|-----|
| 溫度(°C) | 31.2 | 32.0 | 32.5 | 32.5 | 34 |
| 上升溫度(°C) | 0.5 | 1.3 | 1.8 | 1.8 | 2.3 |

10ml 0.2M CuSO₄ + 20ml H₂O 室溫 29.0°C

| 電壓(V) 轉速與溫度 | 1.5 | 5.0 | 10.0 | 15.0 | 20.0 |
|----------------|------|------|------|------|------|
| 溫度(°C) | 31.5 | 34.0 | 40.0 | 55.0 | |
| 上升溫度(°C) | 0 | 2.5 | 8.5 | 23.5 | |



[討論]

1. 經測量溶液上升溫度後，發現電流的熱效應是會消耗一些電能。
2. 當增加的電壓越大，電流熱效應會越明顯。故設計實驗測量轉速時，需儘量提高儀器的靈敏度，才可降低使用的電壓範圍，就可以減少電能轉成熱能的影響。
3. 測量時，兩個操作兩實驗時的室溫是不同；一為 30.7°C，另一為 29.0°C。
4. 當電壓為 15V 時，溫度已達 55°C；故停止操作，避免溶液溫度太高發生危險。
5. 溶液的溫度上升，應與通電的時間長短有關。因為是依據操作步驟來量取溫度，故視為是相等的通電時間，來量取溫度變化的。
6. 為了忽略電流熱效應的影響，需在較低電壓下實驗，此時 $V_{外} = V_{化學反應} + V_{離子移動}$ 就可以成立了。

陸、實驗討論

一、實驗操作的部分問題

a. 強力磁鐵 N 極與 S 極問題：

我們原先沒發現磁鐵 N 極與 S 極也會影響轉速結果，只是在做了實驗【四-B】之後才發現，原來影響轉速的變因還有一個，就是磁鐵的 N 極與 S 極。從數據中明顯的看出，N 極轉速比 S 極轉速快了約 1~2 秒。原先我們做實驗【四-B】時，只是想確認 N 極與 S 極、正極負極倒接的旋轉方向，沒想到意外發現了這種關係。可以放心的是，因強力磁鐵皆以膠帶黏貼於容器下，我們做實驗時皆無拆下磁鐵，所以可以確認的是，我們做實驗時皆是以 N 極那一面朝上，不會影響實驗數據準確度。

b. 中心銅線偏離問題：

正當我們實驗中，「心轉子」的轉速就突然就改變了，而我們也不了解原因為何？後來，我們才發現搖晃、移動到中心銅線，使它偏離了的磁鐵中心點後，轉速就會改變。所以，我們才做了實驗【四-C】。發現只要將銅線偏離一點點距離，轉速就會改變，甚至有不轉的情形。因此我們在容器外以奇異筆劃上兩條互相垂直的線，以兩線交接處，做為中心銅線統一對準的位置，這樣可以有效避免此問題。另外因避免液體折射問題，須先穿入心轉子再將中心銅線對準後才可以倒入溶液。

c. 節省能源、減廢減碳：

因實驗中我們使用了許多不同種類的金屬鹽類溶液，不同種類的金屬皆會電鍍在負極銅圈上。為了怕影響到實驗結果，都會將銅圈以銅刷清洗過，再繼續使用。甚至像鋅之類的電鍍物，因為無法以銅刷刷掉，所以就只能使用一次，這是實驗中需注意的事。另外，因為中心銅線會漸漸變細，所以這個實驗須避免使用高濃度的金屬鹽溶液，以免銅線變細過快，所以皆是使用低濃度金屬鹽溶液。同樣的，只使用最多 4V 的電壓，這樣不僅節省能源，也可以電流降低，使實驗的操作更加安全。

d. 心轉子：

自從我們發展出「心轉子」，讓溶液轉動來帶動心轉子轉動。兩個轉動的互動關係良好(幾乎是正比)。所有實驗皆是使用同一個心轉子，並做記號的那一面朝上。這樣就可以避免心轉子狀態不一的疑慮。

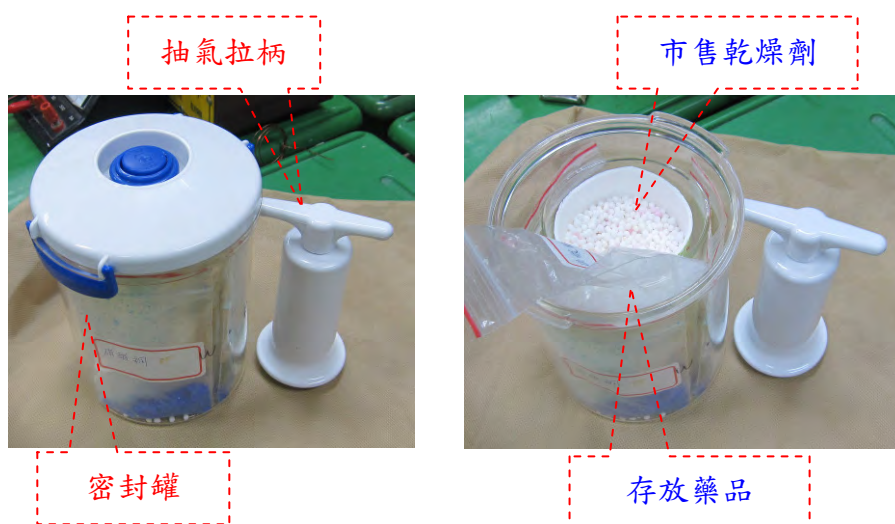
e. 配製出不同濃度溶液時間問題：

若每次配製出所需的濃度，十分費時且須大量玻璃容器。當想出以稀釋方式

來解決不同濃度時，變得省時省力，又可不必更動中心銅線，真是一舉數得。但是在測定變因之前，需先行測驗一下電壓與濃度範圍是否可行。

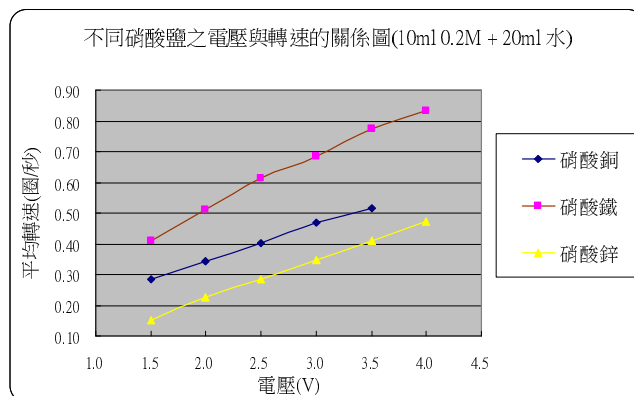
f. 藥品潮解問題：

因實驗需要，我們向鄰近高中借取了硝酸銅、硝酸鐵、硝酸鋅等的藥品。沒想到才借回來不到一個禮拜，所有藥品(除了硝酸銨以外)皆潮解了。因水在低壓時會蒸發成為水蒸氣，我們拿來了真空抽氣筒，每次用完藥品就要將其放回桶中，抽出裡面的水蒸氣且放入市售乾燥劑，來解決潮解問題。



二、在電源供應器上已經有個伏特計為何增設另一個伏特計呢? A. 起初我們發現指針會跳動，且刻度較大不易控制成一個定值。 B. 想要知道容器外兩端的電壓是多少。 C. 數位型可以簡化控制的手續，因刻度較小(0.01V)較精確調整。

三、從實驗【十三】中取 0.2M 10ml 的硝酸銅、硝酸鐵與硝酸鋅+20ml 水的實驗資料繪製上圖，得知：在不同硝酸鹽且不同電壓與轉速的中，溶液轉速也是硝酸鐵 > 硝酸銅 > 硝酸鋅。



四、硫酸亞鐵與硝酸鐵之問題與討論

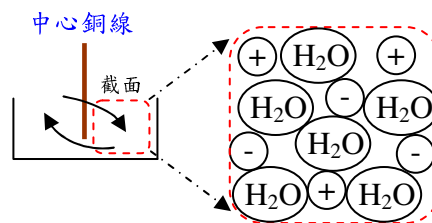
為了證明電解質水溶液轉速硫酸銅 > 硫酸亞鐵 > 硫酸鋅的關係，我們特地麻煩老師去高中借了許多藥品，諸如硝酸銅、硝酸鋅、硝酸鐵和硝酸銨等在國中不常見到的化學藥品。後來在實驗做完之後我們才發現，當初借來的並非是「硝酸亞鐵」，而是「硝酸鐵」。原先我們認為這不會對做出的實驗有什麼太大的影響，沒想到在做出實驗、將三組數據加以合併的時候才發現硝酸鐵轉速超過硝酸銅轉速的情形發生。後來我們討論過後，認為這是因為粒子數量多寡的問題。硝酸鐵可解離出四個離子，但硝酸銅卻只解離出三個離子，因此我們推論是硝酸鐵粒子較多進而影響轉速。至於粒子數量多寡影響轉速的問題，我們在下面將提出更完整的解釋。

五、我們嘗試將解離的離子數(n 值)放入我們之前所提的假設之中。

a. 若放入 $V_{\text{外}}$ 之中，則 $n \times V_{\text{外}} = V_{\text{化學反應}} + V_{\text{離子移動}}$ 。當 $V_{\text{外}}$ 固定時， $V_{\text{化學反應}}$ 為定值， $V_{\text{離子移動}}$ 會隨著 n 值變大而變大。但不合理之處為 $V_{\text{離子移動}} > V_{\text{外}}$ 。

b. 若放入 $V_{\text{化學反應}}$ 之中，則 $V_{\text{外}} = V_{\text{化學反應}}/n + V_{\text{離子移動}}$ 。當 $V_{\text{外}}$ 固定時， $V_{\text{離子移動}}$ 會隨著 n 值變大而變大。但不合理之處為 $V_{\text{化學反應}}$ 與產物的種類有關，與離子數目的多寡無關。

c. 若放入 $V_{\text{離子移動}}$ 之中，當磁場中離子移動時，其受力的方向可用右手開掌定則來說明，不斷地在離子移動的垂直方向作用而使離子旋轉，故 $V_{\text{離子移動}}$ 與離子轉速($\omega_{\text{離子}}$)有關。我們想像出：在某一溶液轉動截面中，若離子數目越多就可帶動越多水分子數轉動，故整個溶液就容易轉動，所以溶液轉速就越快。因此經過討論後的修正是為：



$$V_{\text{離子移動}} = \frac{k}{n} \omega_{\text{離子}}, \quad k \text{ 為常數、} n \text{ 為解離的離子數目、} \omega_{\text{離子}} \text{ 為轉速}$$

故代入後為修改為：
$$V_{\text{外}} = V_{\text{化學變化}} + \frac{k}{n} \omega_{\text{離子}} \quad \dots\dots\dots \text{公式(1)}$$

就可以合理解釋本實驗的結果，但缺點是尚未完全驗證。

六、在國中課程有提到金屬的活性大小為 $Zn > Fe > Cu$ ，當變成離子狀態時，其活性大小為 $Cu^{2+} > Fe^{2+} > Zn^{2+}$ ，在本實驗中的環狀銅圈反應正是 $X^{2+} + 2e^- \rightarrow X$ ， $X = (Cu、Fe、Zn)$ 可析出金屬。若離子狀態越穩定，所需的電壓應越大才能迫使其反應成金屬。從公式(1)中得知，當外部提供一固定低電壓時，若 $V_{\text{化學變化}}$ 越大時，則轉速越慢($V_{\text{化} Zn^{2+}} > V_{\text{化} Fe^{2+}} > V_{\text{化} Cu^{2+}}$)。以實驗七、八的 10ml 0.2M 的硫酸銅、硫酸亞鐵、硫酸鋅+20ml 為例，從數據中得知：「電壓變大則轉速隨之變大，且有不錯的線性關係」，如右表；若將公式(1)視為 $y=b+ax$ 。b

| 電壓(V) 溶液種類 | 趨勢線 | R ² | b 值 |
|-------------------|------------------|----------------|---------|
| CuSO ₄ | y=0.0986x+0.0984 | 0.9772 | 0.0984 |
| FeSO ₄ | y=0.1341x-0.0123 | 0.9851 | -0.0123 |
| ZnSO ₄ | y=0.1507x-0.0623 | 0.9939 | -0.0623 |

值就等同於 $V_{\text{化學變化}}$ 的含意，b 值越小，則所需的電壓應越大才能迫使其反應成金屬。在實驗七、八中另兩個濃度裡也有相同的關係存在。

柒、結論

- 一、我們發展出“浮式轉盤”(心轉子)，讓實驗可以簡易測量磁場與電場交互作用下的溶液轉速，並發現多項影響轉速的變因(中心銅線粗細、電極與磁極的配置、中心銅線與磁鐵中心的相對位置、硫酸銅溶液多寡、濃度、電壓)……等等。
- 二、當以不同硫酸鹽為溶液時，其轉速關係為：硫酸銅>硫酸亞鐵>硫酸鋅，不論改變電壓高低或是濃度大小，都可以得到硫酸銅>硫酸亞鐵>硫酸鋅的關係。
- 三、為了解釋此結果，提出 [$V_{外} = V_{化學反應} + V_{離子移動}$]的假設，

以實驗【九】證明：使用硝酸鹽時，負極不同反應，轉速也隨之不同。

以實驗【十一】證明：在相同電壓與濃度時，不同硝酸鹽與轉速關係(硝酸銅>硝酸亞鐵>硝酸鋅)，雖然結果是(硝酸鐵>硝酸銅>硝酸鋅)。但也推論出：相同濃度時，解離後的離子數越多，轉速會越快。

以實驗【十三】證明：使用硝酸鹽時，也是電壓越大則轉速越快。

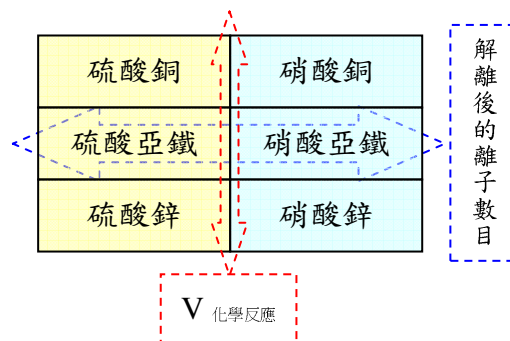
- 四、在相同的電壓與濃度時，用下圖來說明 $V_{化學反應}$ (化學反應的電壓值)與解離後的離子數目的兩原則關係。

若是縱向的金屬鹽用 $V_{化學反應}$ 原則說

明： $V_{化學反應}$ 越小則轉動越快。

若是橫向的金屬鹽用解離後的離子

數目原則說明：解離後的離子數越多，轉速會越快。



箭頭的粗細來說明解離後的離子數目會比 $V_{化學反應}$ 來的影響較大(硝酸鐵>硝酸銅)。

- 五、由於此關係的建立，我們繼續推論出兩點：相同電壓與濃度之下，硫酸鐵會是轉動最快，醋酸會是轉動最慢。並在實驗十二中獲得驗證。

- 六、將“解離數目”的變因放入後，其修正的假設結果為：

$$V_{外} = V_{化學變化} + \frac{k}{n} \omega_{離子}$$

k 為常數、 n 為解離的離子數目、 $\omega_{離子}$ 為轉速

- 七、為了忽略電流熱效應，必須在較低電壓下實驗，此時 $V_{外} = V_{化學反應} + V_{離子移動}$ 就可以成立了

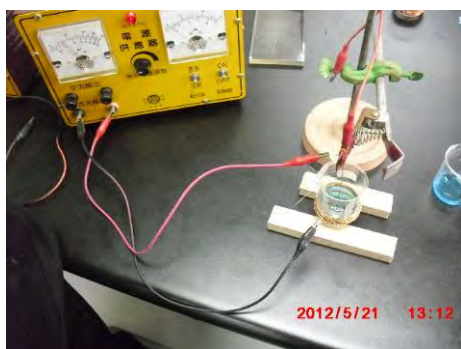
- 八、我們希望能將此式中 [$V_{外} = V_{化學反應} + V_{離子移動}$] 的 $V_{化學反應}$ 或 $V_{離子移動}$ 的數值能經由實驗中求得方法解出。

- 九、感謝前人的研究讓發現我們此特性。非常感謝曾經研究過這個議題的前輩，使我們在做實驗時有許多不明白的地方可以參考。

捌、參考資料及其他

- 一、陳意綾、陳冠儒、黃奎元、李彥均，中華民國第四十八屆中小學科學展覽會 高中組 理化科 佳作：電解質溶液的異想世界－探討離子與磁場的交互作用與應用。
- 二、辜禹仁、鄭祐杰、陳守中、蔡允中，中華民國第四十六屆中小學科學展覽會，國中組 理化科 第一名：磁場中的離子轉速－探討硫酸銅水溶液濃度與離子遷移速度關係。
- 三、劉裕璋、楊佩瑜、林孟儒、鄭仲惠，中華民國第四十六屆中小學科學展國中組 物理科：由液生磁～探討電解質溶液中磁場的變化。
- 四、呂悅安、洪宛襄，中華民國第四十二屆中小學科學展 高中組 化學科：磁電場中金屬的鍍鑄。
- 五、吳育恒、陳哲生、李宜泓、曹登富，中華民國第三十一屆中小學科學展覽會 國中組 化學科 第三名，兩極乾坤－探討離子在電場磁場中的走向。
- 六、林文中，中華民國第二十七屆中小學科學展覽會。國中組 化學科 第三名：離子的游動。
- 七、李浩任，台灣 2003 年科學國際展覽會化學組第二名：電解與磁場的秘密。
- 八、國中理化第二冊與第四冊 翰林出版社、康軒出版社
- 九、磁場。民 101 年 12 月 26 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A3%81%E5%A0%B4>
- 十、右手定則。民 101 年 12 月 26 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%B3%E6%89%8B%E5%AE%9A%E5%89%87>
- 十一、勞倫茲力。民 101 年 12 月 26 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B4%9B%E4%BC%A6%E5%85%B9%E5%8A%9B>
- 十二、電鍍。民 101 年 12 月 26 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB%E9%8D%8D>
- 十三、離子。民 101 年 12 月 26 日，取自：
<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%A2%E5%AD%90>

玖、後記(與實驗相關的照片)

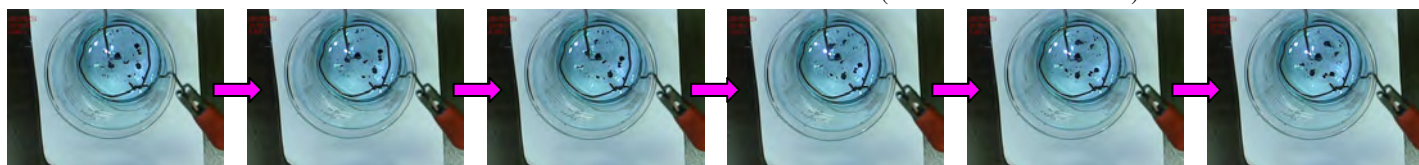


最早觀察溶液轉動的裝置



改良後觀察溶液轉動的設備

拍攝硫酸銅溶液時碳粉轉動的照片(每張照片的左上角有時間記錄)



硝酸鐵(左)、硫酸亞鐵(右) 顏色差異



量取溶液的上升溫度



校內科展社團的成果發表會

【評語】 030208

本作品添加磁場於溶液中探討離子之轉動與遷移率，實驗之施作與數據精確能配合理論，仍需思考其應用性，已屬高水準之作品。