

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

高中組 化學科

最佳團隊合作獎

040209

美麗的錯“物”

學校名稱：國立臺南女子高級中學

作者： 高二 陳唯寧 高二 楊宜慧 高二 廖禹喬	指導老師： 何宗益
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：錯離子、pH 值、UV 光譜

## 摘要

複雜的錯離子看似相似但如果細細的觀察體會便能發現其中奧妙。不同的銅氨錯離子為了證明自己的存在，除了呈現不同的藍以外，還增加了一些需要被探索的內涵。而在實驗裡，我們以氨水、甲胺、乙胺、乙二胺等不同化合物以觀察其中變化並加上了導電度的測量數據以利觀察。

## 壹、研究動機

高二的我們雖然只學到基本錯離子的課程，但卻對於這個有點熟悉卻又陌生的名詞——錯離子感到高度的興趣。記得老師曾經提到過一篇敘述銅氨錯離子的報告。報告指出銅氨錯離子其實有四種不同的種類，並分別呈現四種不同的顏色（但皆為藍色系）。因此我們希望能藉由觀察導電度和 pH 值的方式，找出將硫酸銅與其他胺類化合物以不同比例混和所得到的藍色溶液含錯離子的不同。就這樣，我們和這群美麗多變的化合物有了一段不解之緣。

## 貳、研究目的

藉由測量 pH 值、導電度的變化來印證：實驗中的各種混合硫酸銅溶液有不同的錯離子存在。

## 參、研究設備及器材

### 一、設備：

燒杯、容量瓶、滴管、安全吸球、吸量管、玻棒、刮杓、碳棒、量筒、漏斗、電子秤、蒸餾水、溫度計、pH 計、照相機

### 二、藥品：

硫酸銅、氨水、甲胺、乙胺、乙二胺、檸檬酸鈉、酒石酸鉀鈉

## 肆、實驗流程與過程

一、實驗一至實驗三依序以 1M 的氨水、甲胺、乙胺作為觀察對象。以實驗一的 1M 氨水組為例，將 1M 氨水與 1M 硫酸銅以不同體積比混合觀察其 pH 值及導電度，並將總體積固定為 100ml。將待混合溶液中的氫氧化銅完全沉澱後便開始測量。我們進行了 2 項測量，分別為 pH 值的測量。作法如下：

### (一) pH 值的測量

測量 pH 值時我們將溶液分為澄清液及混濁液兩部分。澄清液系指上層無沉澱物的乾淨溶液；混濁液則是指將沉澱與上層溶液攪拌混合後的溶液。pH 值的測量方法如下：

1. 測量上層澄清部份，在此步驟中需要小心的把 pH 值測量棒慢慢放入待測液中，且應盡量避免觸及底部以免影響實驗結果。

2. 之後將實驗記錄製成表格和圖表以便觀察。

※因為 1M 濃度過高，以至於導電度計無法使用。因此上述實驗皆無導電度的測量。

二、實驗四至實驗七依序以 0.01M 的氨水、甲胺、乙胺、乙二胺作為觀察對象。以實驗四的 0.01M 氨水組為例，將 0.01M 氨水與 0.01M 硫酸銅以不同體積比混合觀察其 pH 值及導電度，並將總體積固定為 100ml。將待混合溶液中的氫氧化銅完全沉澱後便開始測量。我們進行了 2 項測量，分別為 pH 值的測量。pH 值的測量作法仿「一」。以下則是導電度的測量：

1. 製備 0.01M 的氯化鉀作為導電度計的校正緩衝液。

2. 將導電度計輕輕在緩衝液中攪動後靜置約五秒鐘。

3. 用起子對準校正鈕，慢慢調整到讀數是 141 後靜置約五秒鐘。重複此步驟直到讀數穩定。

4. 之後即開始測量，直到讀數穩定不再變化，才是正確的讀數。

三、實驗八至實驗十三依序以 1M 氨水、0.1M 氨水、0.01M 氨水、0.01M 甲胺、0.01M 乙胺、0.01M 乙二胺作為觀察對象。以實驗十的 0.01M 氨水為例：先取 100ml 0.01M 的氨水置於錐形瓶，後在滴定管內裝 0.01M 硫酸銅溶液，每次滴入 5ml 的硫酸銅溶液，觀察其 pH 值和導電度的變化。（1M、0.1M 因濃度過高所以未進行導電度測量）

四、實驗十四至十六為透過測量波長來分析顏色的實驗。我們以 UV 作為測量波長的儀器，而空白樣本 (blank) 則是用水。待測溶液 (sample) 為 0.1M 的氨水、乙二胺、甲胺和硫酸銅以 1:1、1:2...1:9 的比例混合而得的溶液。之後將待測液放入石英 cell 便可開始測量（掃 300nm-1000nm）。

五、實驗十七將同為 0.1M 的硫酸銅、乙二胺、檸檬酸鈉、酒石酸鉀鈉四種溶液以體積比 1:1 混合，並將其混合溶液用真空減壓濃縮機濃縮後，利用得到的濃縮液使之結晶，希望能藉此實驗做出有別於”中心原子是有四個配位數的二價銅離子”的錯合物。

## 伍、研究結果

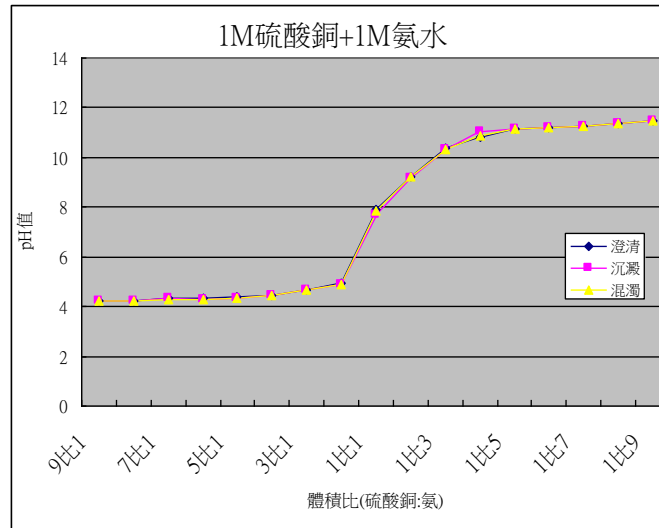
### 一、實驗一：（以氨水作為觀察對象）

此結果是將 1M 的硫酸銅溶液和 1M 的氨水分別以 9：1、8：1、7：1……1：1、1：2、1：3……1：9 的體積比（總體積為 100ml）混合後所測得的 pH 值。

\*測量 pH 值時我們將溶液分為澄清液及混濁液兩部分。澄清液系指上層無沉澱物的乾淨溶液；混濁液則是指將沉澱與上層溶液攪拌混合後的溶液。

下表為測得的 pH 值

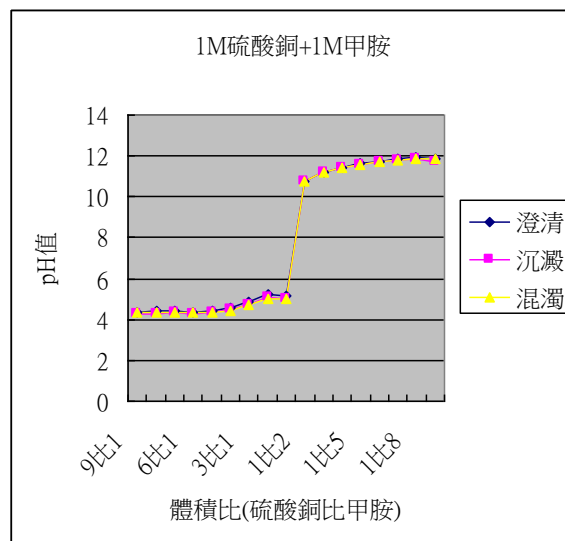
硫酸銅比氨	澄清	沉澱	混濁
09:01	4.25	4.22	4.21
08:01	4.24	4.24	4.24
07:01	4.34	4.31	4.3
06:01	4.31	4.29	4.29
05:01	4.38	4.36	4.35
04:01	4.45	4.43	4.42
03:01	4.69	4.66	4.65
02:01	4.95	4.91	4.87
01:01	7.9	7.7	7.85
01:02	9.23	9.15	9.21
01:03	10.35	10.31	10.31
01:04	10.81	11.02	10.89
01:05	11.14	11.17	11.17
01:06	11.19	11.19	11.19
01:07	11.24	11.24	11.24
01:08	11.35	11.35	11.35
01:09	11.47	11.47	11.47



### 二、實驗二：（以甲胺作為觀察對象）

此結果是將 1M 的硫酸銅溶液和 1M 的甲胺分別以 9：1、8：1、7：1……1：1、1：2、1：3……1：9 的體積比（總體積為 100ml）混合後所測得的 pH 值。

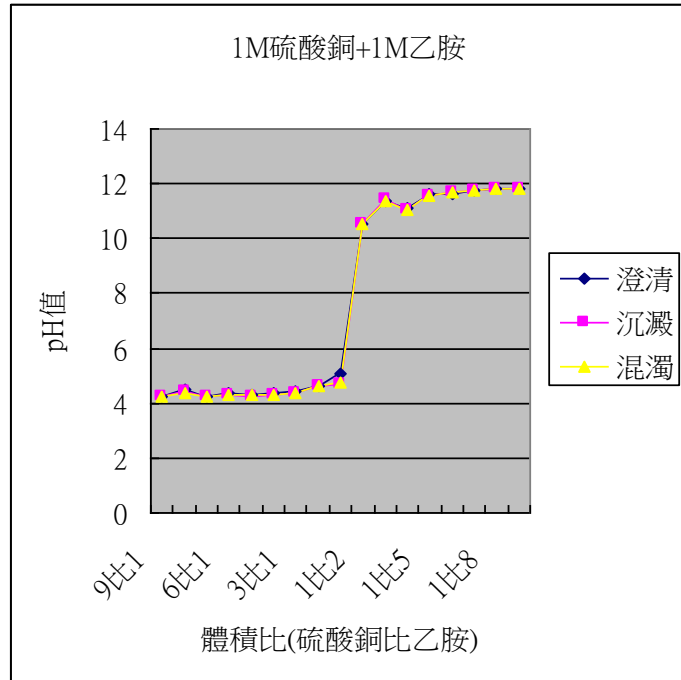
硫酸銅比甲胺	澄清	沉澱	混濁
9 比 1	4.35	4.3	4.32
8 比 1	4.39	4.29	4.33
7 比 1	4.39	4.36	4.34
6 比 1	4.37	4.26	4.33
5 比 1	4.43	4.33	4.34
4 比 1	4.54	4.48	4.45
3 比 1	4.87	4.75	4.7
2 比 1	5.21	5.1	4.99
1 比 1	5.13	5.04	5.03
1 比 2	10.74	10.73	10.75
1 比 3	11.18	11.17	11.17
1 比 4	11.44	11.44	11.44
1 比 5	11.62	11.6	11.6
1 比 6	11.7	11.68	11.7
1 比 7	11.83	11.77	11.81
1 比 8	11.92	11.89	11.9
1 比 9	11.85	11.74	11.83



### 三、實驗三：（以乙胺作為觀察對象）

此結果是將 1M 的硫酸銅溶液和 1M 的乙胺分別以 9：1、8：1、7：1……1：1、1：2、1：3……1：9 的體積比（總體積為 100ml）混合後所測得的 pH 值。

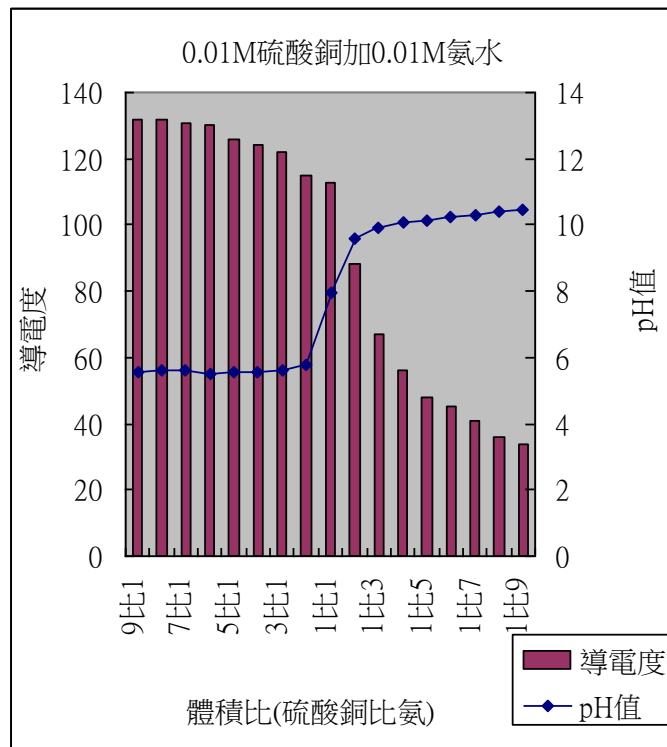
硫酸銅比乙胺	澄清	沉澱	混濁
9 比 1	4.27	4.25	4.26
8 比 1	4.51	4.46	4.34
7 比 1	4.24	4.22	4.23
6 比 1	4.35	4.32	4.32
5 比 1	4.29	4.27	4.28
4 比 1	4.34	4.28	4.3
3 比 1	4.45	4.39	4.38
2 比 1	4.61	4.61	4.61
1 比 1	5.1	4.66	4.76
1 比 2	10.54	10.52	10.53
1 比 3	11.36	11.4	11.39
1 比 4	11.08	11.07	11.06
1 比 5	11.63	11.54	11.56
1 比 6	11.65	11.69	11.68
1 比 7	11.73	11.75	11.73
1 比 8	11.83	11.83	11.83
1 比 9	11.79	11.81	11.81



### 四、實驗四：（以氨水作為觀察對象）

此結果是將 0.01M 的硫酸銅溶液和 0.01M 的氨水分別以 9：1、8：1、7：1……1：1、1：2、1：3……1：9 的體積比（總體積為 100ml）混合後所測得的 pH 值和導電度。

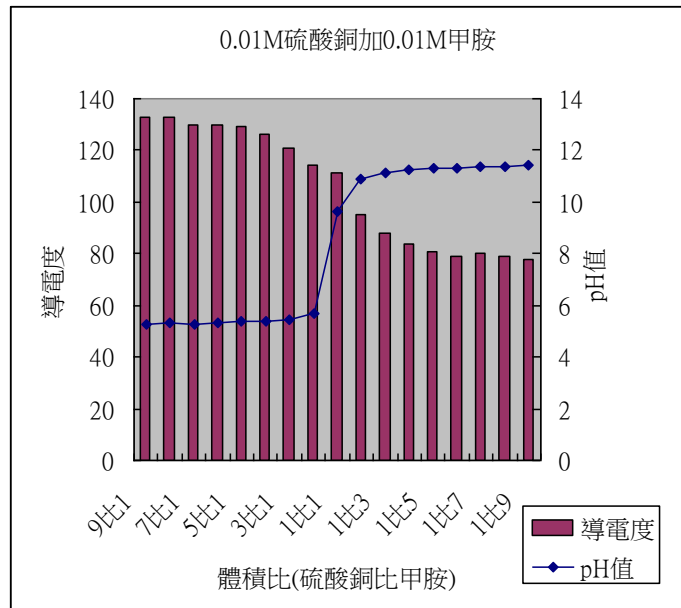
硫酸銅比氨	pH 值	導電度
9 比 1	5.57	132
8 比 1	5.6	132
7 比 1	5.62	131
6 比 1	5.48	130
5 比 1	5.54	126
4 比 1	5.57	124
3 比 1	5.61	122
2 比 1	5.77	115
1 比 1	7.95	113
1 比 2	9.58	88
1 比 3	9.89	67
1 比 4	10.1	56
1 比 5	10.13	48
1 比 6	10.24	45
1 比 7	10.3	41
1 比 8	10.41	36
1 比 9	10.45	34



五、實驗五：（以甲胺作為觀察對象）

此結果是將 0.01M 的硫酸銅溶液和 0.01M 的甲胺分別以 9：1、8：1、7：1……1：1、1：2、1：3……1：9 的體積比（總體積為 100ml）混合後所測得的 pH 值和導電度。

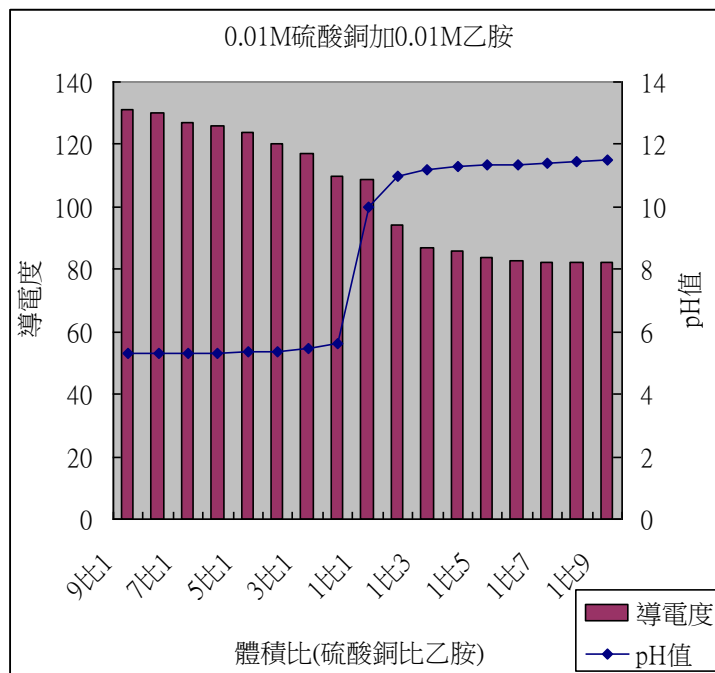
硫酸銅比甲胺	pH 值	導電度
9 比 1	5.28	133
8 比 1	5.31	133
7 比 1	5.28	130
6 比 1	5.3	130
5 比 1	5.37	129
4 比 1	5.4	126
3 比 1	5.47	121
2 比 1	5.67	114
1 比 1	9.63	111
1 比 2	10.86	95
1 比 3	11.11	88
1 比 4	11.22	84
1 比 5	11.29	81
1 比 6	11.32	79
1 比 7	11.36	80
1 比 8	11.38	79
1 比 9	11.41	78



六、實驗六：（以乙胺作為觀察對象）

此結果是將 0.01M 的硫酸銅溶液和 0.01M 的乙胺分別以 9：1、8：1、7：1……1：1、1：2、1：3……1：9 的體積比（總體積為 100ml）混合後所測得的 pH 值和導電度。

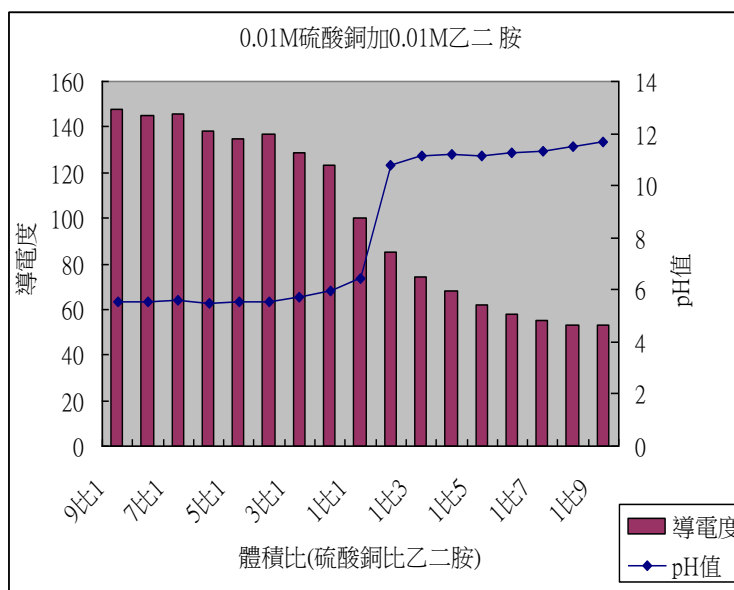
硫酸銅比乙胺	導電度	pH 值
9 比 1	131	5.29
8 比 1	130	5.3
7 比 1	127	5.32
6 比 1	126	5.33
5 比 1	124	5.36
4 比 1	120	5.37
3 比 1	117	5.47
2 比 1	110	5.62
1 比 1	109	10
1 比 2	94	10.99
1 比 3	87	11.18
1 比 4	86	11.29
1 比 5	84	11.35
1 比 6	83	11.36
1 比 7	82	11.39
1 比 8	82	11.44
1 比 9	82	11.49



### 七、實驗七：（以乙二胺作為觀察對象）

此結果是將 0.01M 的硫酸銅溶液和 0.01M 的乙二胺分別以 9：1、8：1、7：1……1：1、1：2、1：3……1：9 的體積比（總體積為 100ml）混合後所測得的 pH 值和導電度。

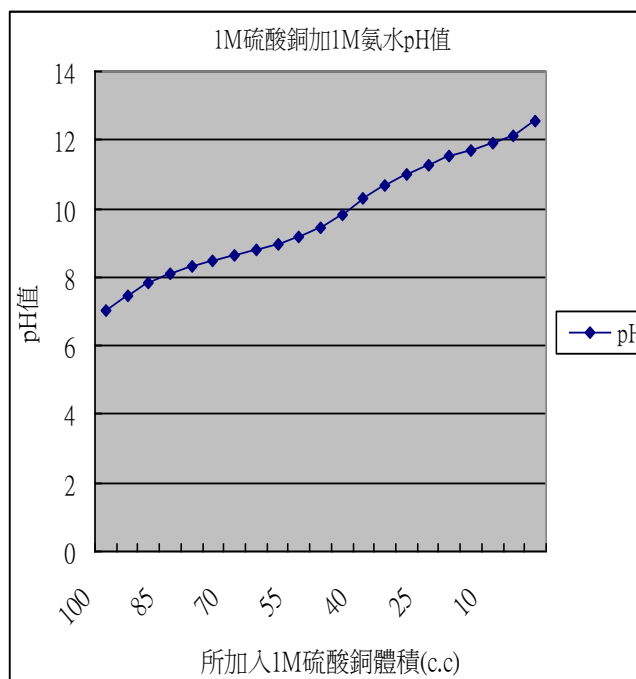
硫酸銅比乙二胺	導電度	pH 值
9 比 1	148	5.52
8 比 1	145	5.55
7 比 1	146	5.58
6 比 1	138	5.5
5 比 1	135	5.54
4 比 1	137	5.56
3 比 1	129	5.69
2 比 1	123	5.93
1 比 1	100	6.41
1 比 2	85	10.76
1 比 3	74	11.12
1 比 4	68	11.21
1 比 5	62	11.14
1 比 6	58	11.26
1 比 7	55	11.29
1 比 8	53	11.51
1 比 9	53	11.68



### 八、實驗八：（以氨水作為觀察對象）

此結果是將 100ml 1M 的氨水置於錐形瓶，後在滴定管內裝 1M 硫酸銅溶液，每次滴入 5ml 的硫酸銅溶液，觀察其 pH 值。

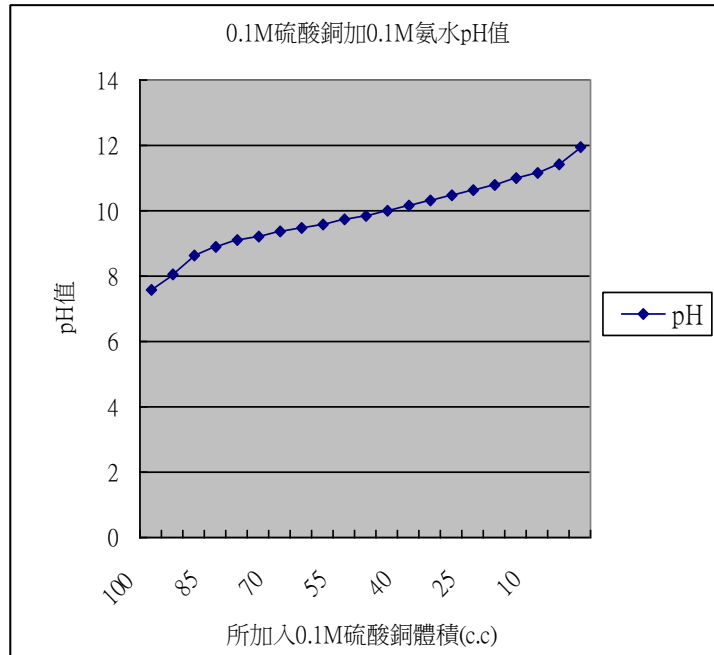
所加入硫酸銅體積	pH 值
0	12.53
5	12.1
10	11.89
15	11.7
20	11.51
25	11.28
30	11.02
35	10.7
40	10.28
45	9.83
50	9.45
55	9.16
60	8.96
65	8.79
70	8.63
75	8.47
80	8.29
85	8.08
90	7.82
95	7.45
100	7.05



九、實驗九：（以氨水作為觀察對象）

此結果是將 100ml 0.1M 的氨水置於錐形瓶，後在滴定管內裝 0.1M 硫酸銅溶液，每次滴入 5ml 的硫酸銅溶液，觀察其 pH 值。

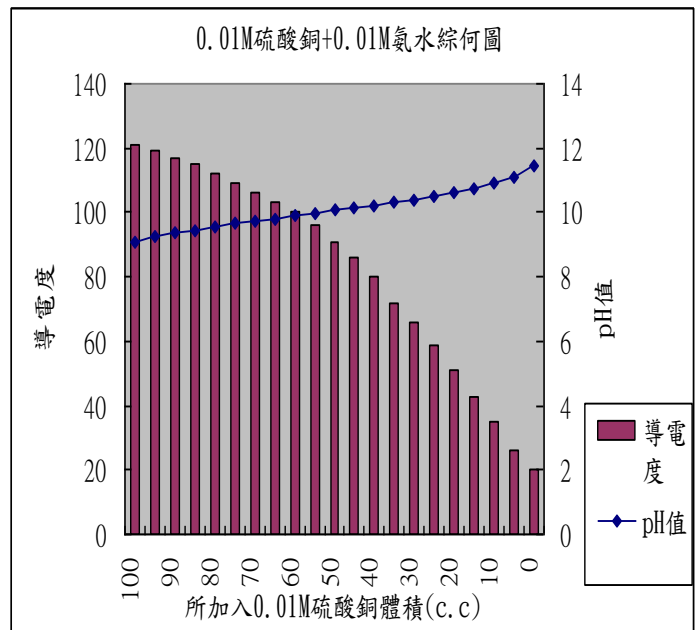
所加入硫酸銅體積(毫升)	pH 值
0	11.93
5	11.44
10	11.16
15	10.98
20	10.81
25	10.63
30	10.46
35	10.29
40	10.14
45	9.99
50	9.86
55	9.74
60	9.6
65	9.5
70	9.37
75	9.23
80	9.09
85	8.91
90	8.63
95	8.06
100	7.59



十、實驗十：（以氨水作為觀察對象）

此結果是將 100ml 0.01M 的氨水置於錐形瓶，後在滴定管內裝 0.01M 硫酸銅溶液，每次滴入 5ml 的硫酸銅溶液，觀察其 pH 值和導電度。

所加入硫酸銅體積(毫升)	導電度	pH 值
0	20	11.42
5	26	11.12
10	35	10.89
15	43	10.73
20	51	10.61
25	59	10.49
30	66	10.39
35	72	10.3
40	80	10.22
45	86	10.14
50	91	10.06
55	96	9.97
60	100	9.89
65	103	9.81
70	106	9.73
75	109	9.65
80	112	9.56
85	115	9.46
90	117	9.35
95	119	9.23
100	121	9.09

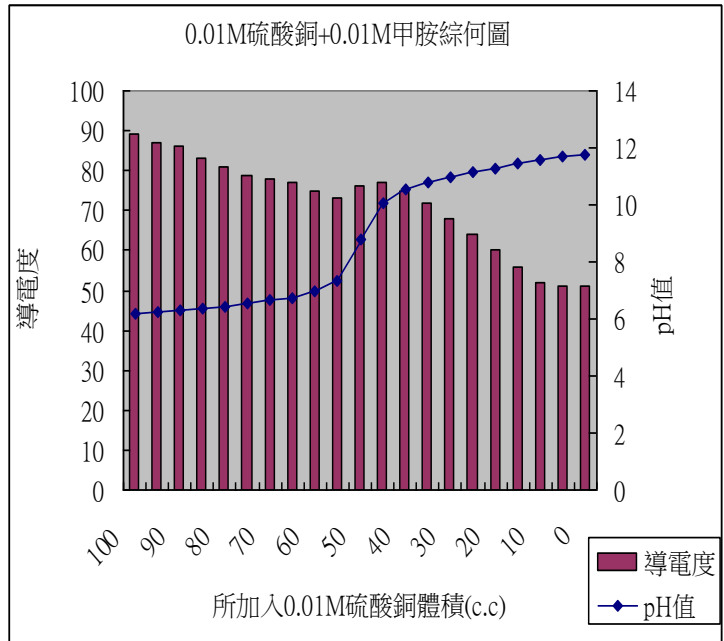




十一、實驗十一：（以甲胺作為觀察對象）

此結果是將 100ml0.01M 的甲胺置於錐形瓶，後在滴定管內裝 0.01M 硫酸銅溶液，每次滴入 5ml 的硫酸銅溶液，觀察其 pH 值和導電度。

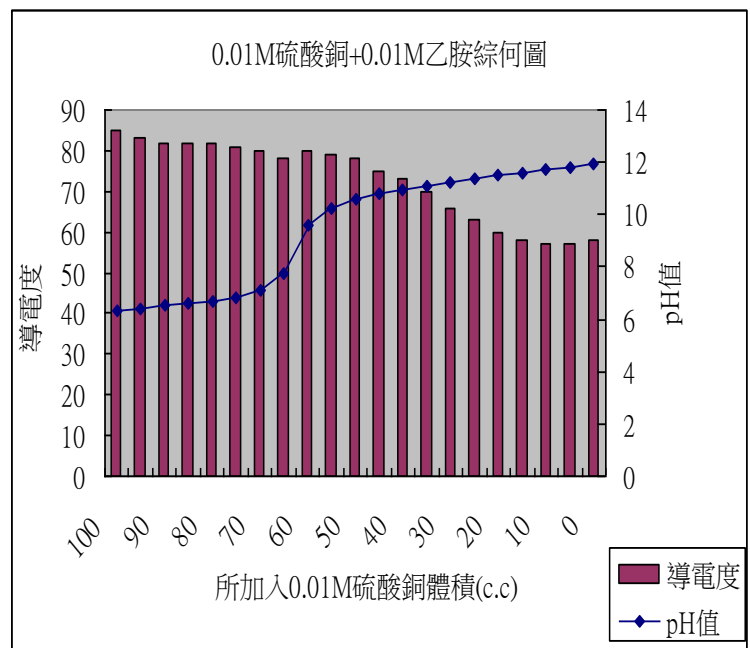
所加入硫酸銅體積(毫升)	導電度	pH 值
0	51	11.77
5	51	11.67
10	52	11.56
15	56	11.43
20	60	11.3
25	64	11.15
30	68	10.98
35	72	10.78
40	75	10.52
45	77	10.07
50	76	8.76
55	73	7.32
60	75	6.96
65	77	6.75
70	78	6.64
75	79	6.53
80	81	6.44
85	83	6.36
90	86	6.29
95	87	6.24
100	89	6.2



十二、實驗十二：（以乙胺作為觀察對象）

此結果是將 100ml0.01M 的乙胺置於錐形瓶，後在滴定管內裝 0.01M 硫酸銅溶液，每次滴入 5ml 的硫酸銅溶液，觀察其 pH 值和導電度。

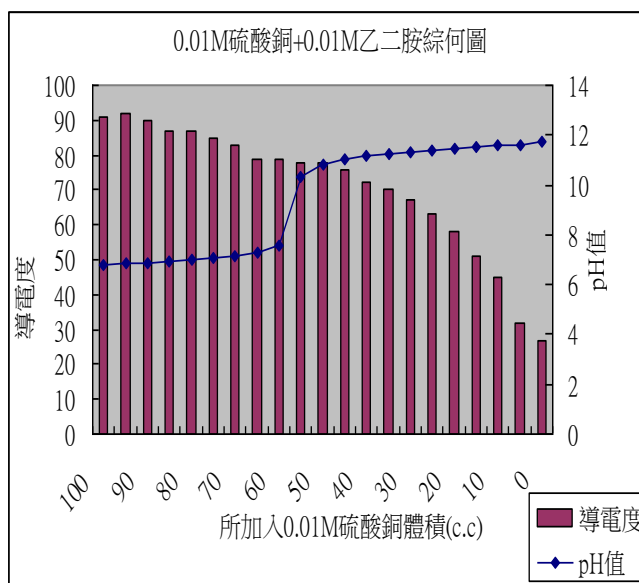
所加入硫酸銅體積(毫升)	導電度	pH 值
0	58	11.97
5	57	11.83
10	57	11.72
15	58	11.61
20	60	11.5
25	63	11.38
30	66	11.25
35	70	11.11
40	73	10.97
45	75	10.8
50	78	10.59
55	79	10.26
60	80	9.59
65	78	7.77
70	80	7.12
75	81	6.85
80	82	6.68
85	82	6.58
90	82	6.51
95	83	6.42
100	85	6.35



### 十三、實驗十三：（以乙二醇作為觀察對象）

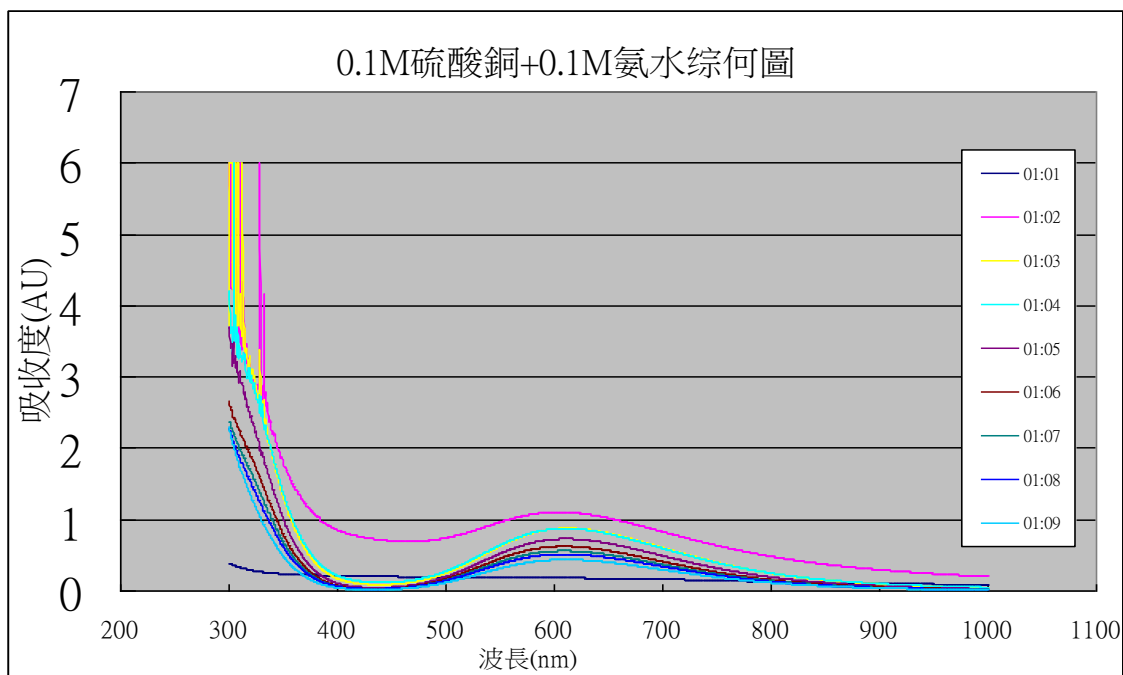
此結果是將 100ml 0.01M 的乙二醇置於錐形瓶，後在滴定管內裝 0.01M 硫酸銅溶液，每次滴入 5ml 的硫酸銅溶液，觀察其 pH 值和導電度。

所加入硫酸銅體積(毫升)	導電度	pH 值
0	27	11.76
5	32	11.63
10	45	11.59
15	51	11.52
20	58	11.47
25	63	11.4
30	67	11.33
35	70	11.26
40	72	11.17
45	76	11.04
50	78	10.84
55	78	10.35
60	79	7.55
65	79	7.26
70	83	7.14
75	85	7.05
80	87	7
85	87	6.94
90	90	6.88
95	92	6.84
100	91	6.79



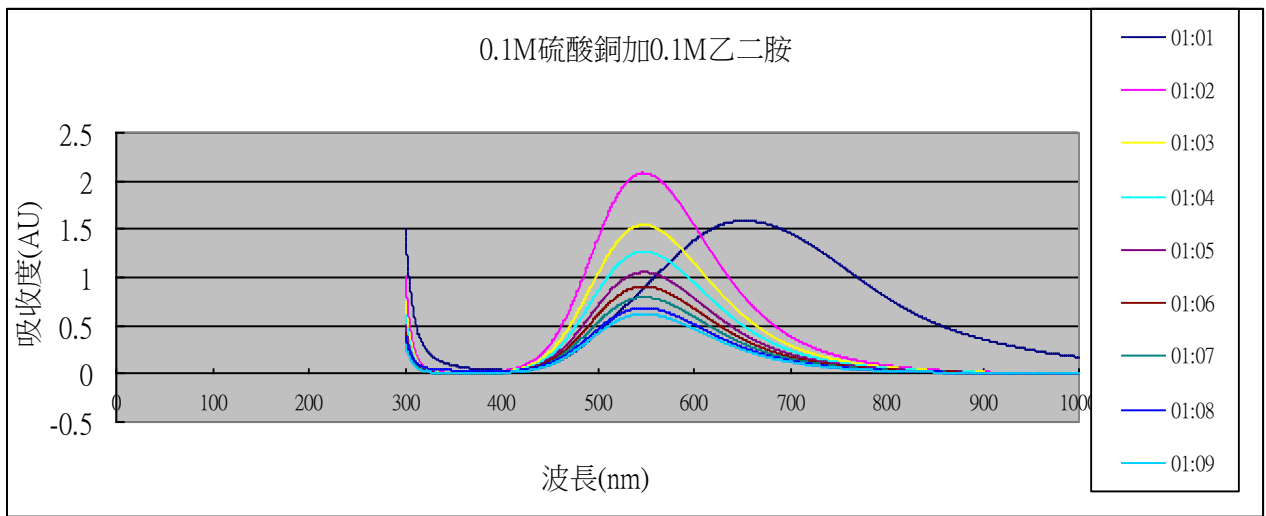
### 十四、實驗十四

此結果是將 0.1M 的氨水和硫酸銅以 1:1、1:2...1:9 的比例混合而得的溶液利用 UV 測得的波長變化



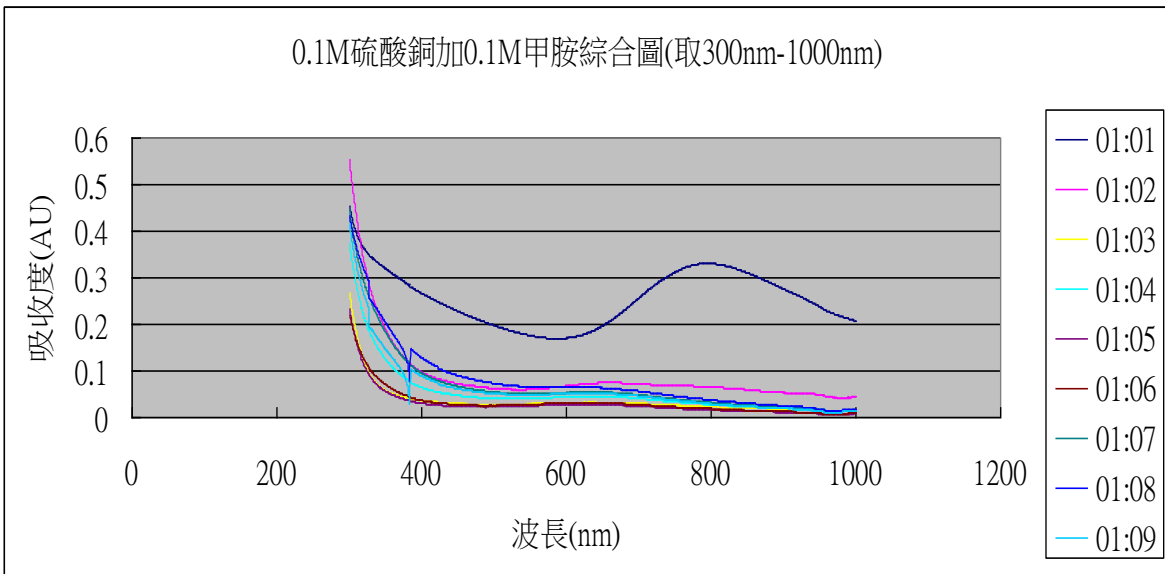
### 十五、實驗十五

此結果是將 0.1M 的乙二胺和硫酸銅以 1:1、1:2...1:9 的比例混合而得的溶液利用 UV 測得的波長變化



### 十六、實驗十六

此結果是將 0.1M 的甲胺和硫酸銅以 1:1、1:2...1:9 的比例混合而得的溶液利用 UV 測得的波長變化



十七、各組溶液的觀察：

在乙二胺的這組實驗中，我們發現：不管是沉澱量還是沉澱上方真溶液的顏色皆與先前的氨水、甲胺及乙胺組有很大的不同：

- (一) 沒有任何沉澱
- (二) 真溶液顏色相差極大。

另外我們更發現到，只有氨水和硫酸銅以 1：1 混合時有較多沉澱（不論是 1M 或 0.01M）其餘的氨水和硫酸銅混合溶液都呈現極少的沉澱。至於甲胺、乙胺和硫酸銅的混合溶液則出現大量沉澱。

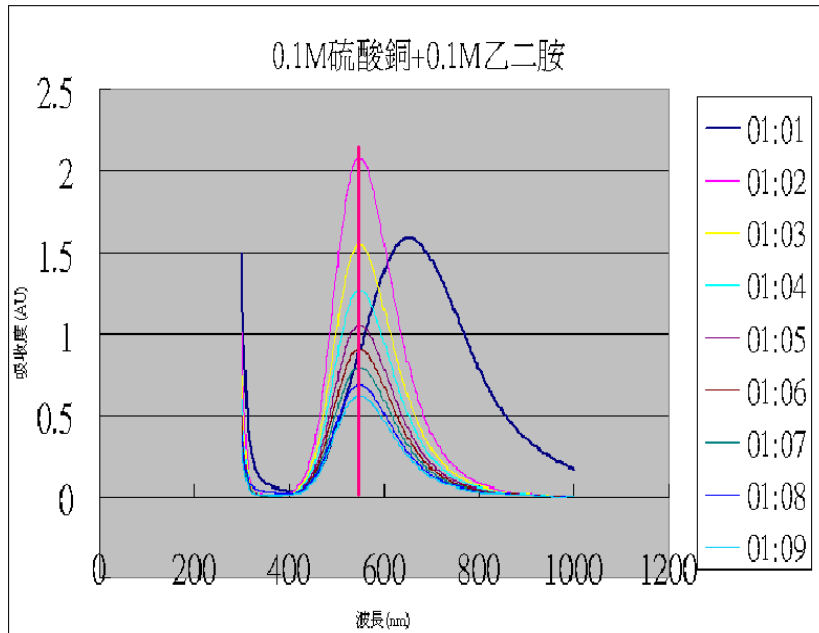
我們將觀察到各類溶液的沉澱情形及真溶液顏色變化製成表格，請見下表。

	氨水	甲胺	乙胺	乙二胺
9：1   2：1	漸變多	漸變多	漸變多	幾乎無沉澱
1：1	些微沉澱	沉澱最多	沉澱最多	
1：2   1：9	漸變少	漸變少	漸變少	
	氨水	甲胺	乙胺	
9：1   2：1	漸藍	無色	無色	淡藍
1：1	無色	無色	無色	深藍
1：2   1：9	漸紫	無色	無色	紫

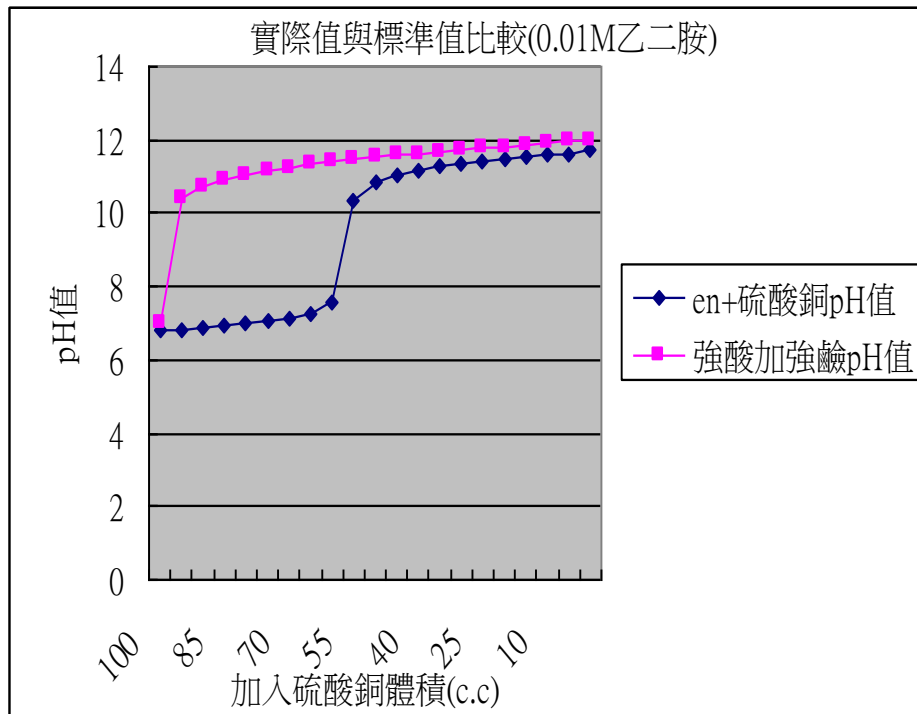
基本上同濃度不同體積的氨水的混合溶液顏色彼此之間只有極些微的改變，甲胺、乙胺、乙二胺的結果亦是如此。

## 陸、討論

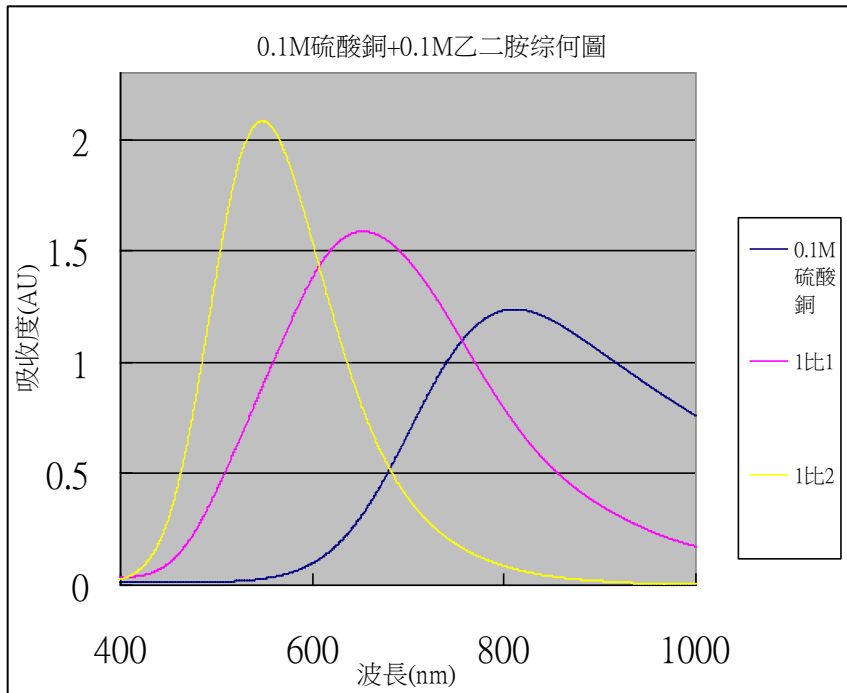
一、0.1M 乙二胺 UV 實驗及 0.01M 乙二胺滴定實驗討論：



乙二胺的吸收度圖經粗略的判斷後有兩個不同波峰範圍(兩種顏色)，左邊(大致可用紅色線貫串的地方)共有八個波峰大致在同一個範圍但高度不同順序剛好依 1:2、1:3 一直排列到 1:9，這是因為濃度差異使他們的吸收度不同。



將 UV 圖與 pH 值圖對照，可發現在 UV 圖體積比 1:1 和 1:2 有兩個明顯不同的波峰，而在 pH 值圖中 1:1 和 1:2 間有一個落差出現於是我們就加入下圖繼續進行比較分析：

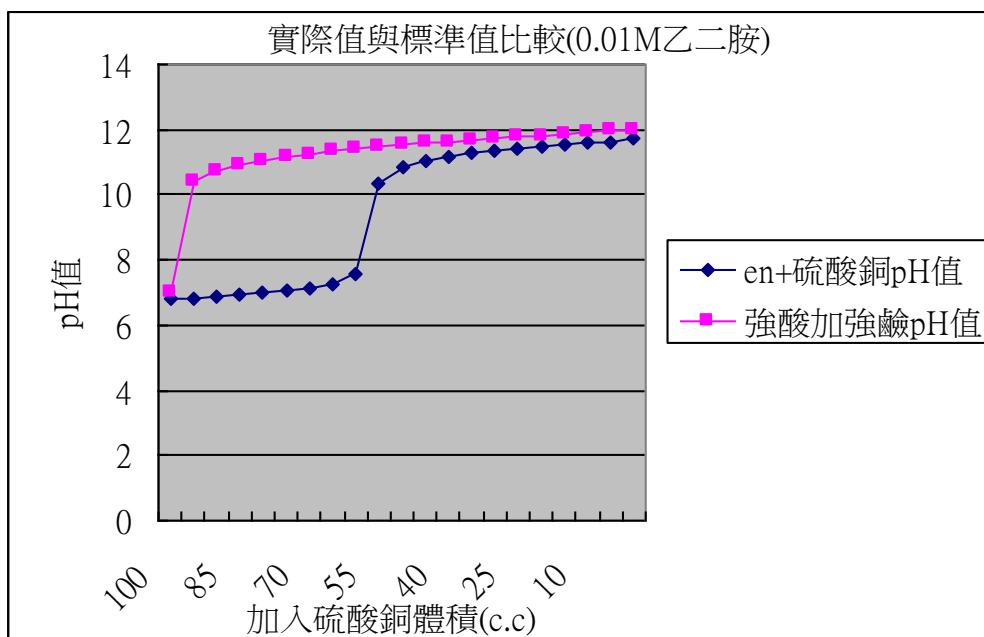


如圖，1 比 1 混合液的波峰剛好在純硫酸銅溶液和 1 比 2 的波峰中間。至於原因我們了想了 2 種可能的原因：

- (一) 1 比 1 混合液中有一半的銅離子接上兩個乙二胺，另一半則未接上任何乙二胺。於是溶液所顯現的顏色就是純硫酸銅溶液和 1 比 2 混合液的中間色。
- (二) 每個銅離子各接上一個乙二胺，其顯現的顏色呈現出的吸收波峰剛好在純硫酸銅溶液與 1 比 2 混合液的中間。

針對上述兩點假設，我們設計了一個小實驗，以確定哪一個假設才是正確的：在 1 比 1 混合液中加入同濃度的硫化鈉，觀察是否有黑色硫化銅沉澱出現。實驗結果出現了沉澱，由此證明假設一是正確的。因為只有未接上乙二胺的銅離子才會和硫離子產生沉澱。

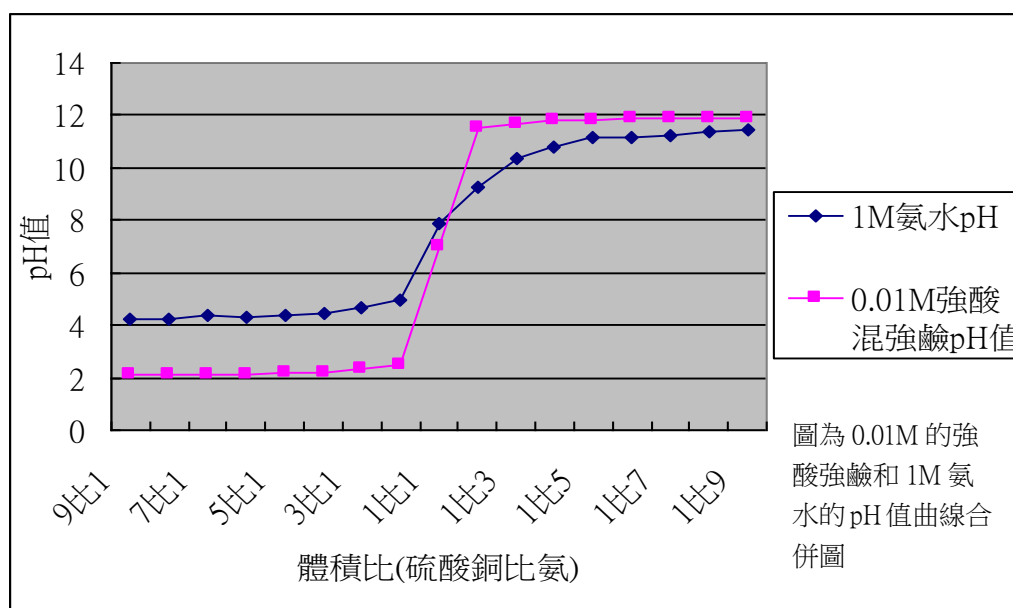
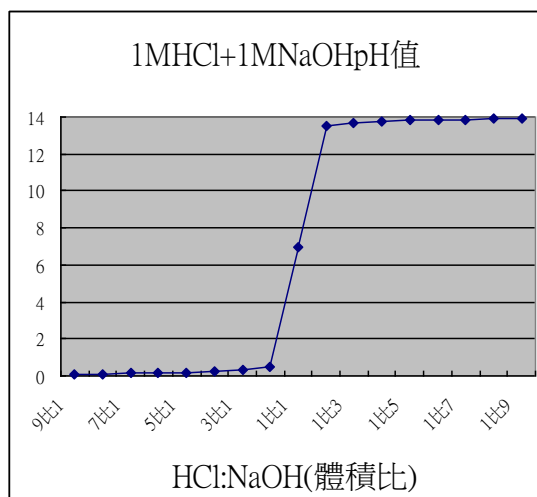
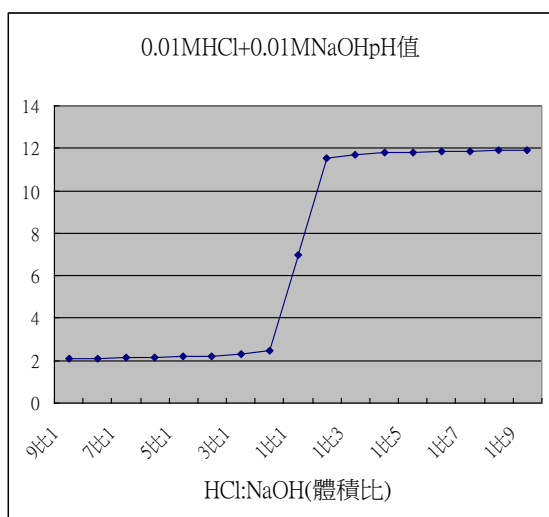
由此，便可解釋先前出現過的 pH 值圖：



在這個圖裡，加入 100ml 硫酸銅、95ml 硫酸銅……一直到 60 ml 硫酸銅 pH 值曲線幾乎都是平的；到了 55ml、50ml 才開始上升。越後面越趨近強酸強鹼滴定曲線圖。原因是：在銅離子尚未接滿兩個乙二胺（即 1:2）之前，所加入的乙二胺都會跑去和銅離子鉗合，一直到接近 1:2 時乙二胺才又恢復了讓 pH 值上升的角色。

二、1M 氨水和 1M 硫酸銅以不同體積比（固定總體積）混合所得的 pH 值曲線圖比較：

在這裡為了方便比較，因此製作了強酸混合強鹼（0.01M 鹽酸混 0.01M 氫氧化鈉）的理想 pH 值曲線圖。請看看強酸強鹼的理想境界：



\* 強酸強鹼 pH 值曲線圖非由實驗測得，而是由電腦程式求得。觀察後發現到：強酸強鹼和此圖右半部的 pH 值曲線圖比較，體積比（硫酸銅比氨）為 1:1 至 1:4、1:5 的 1M 氨水 pH 值曲線有明顯緩緩上升的趨勢（斜率變小）。我們判斷這跟我們之前看到的錯離子的概念有關聯，因為除非有不同化學式的離子（推測為錯離子）產生，酸鹼值曲線才會偏離正常的曲線。

同時，我們又想到酸鹼值的強弱其實與酸鹼中和圖曲線有很大的關係。我們所用的藥品，不管是呈弱酸性的硫酸銅還是呈弱鹼性的氨水、甲胺、乙胺、乙二胺，真的可以和強酸強鹼比照辦理嗎？

◎針對這個問題我們想到了兩個解決理由：

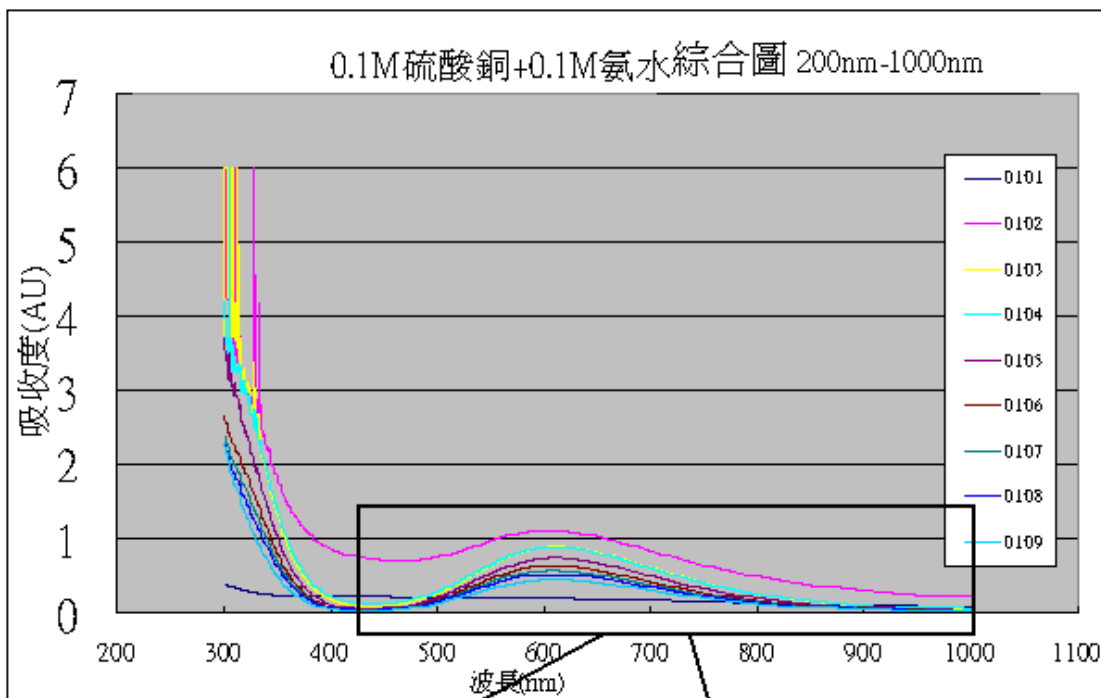
(一) 弱酸弱鹼的和強酸強鹼的曲線圖差別主要在酸鹼溶液體積相差很大的部分也就是前端和尾端，而我們的曲線圖跟強酸強鹼的曲線圖的差別卻是在中間。

(二) 1M 的硫酸銅與氨水的混合溶液中，硫酸銅 (pH 值=3.57，與 0 差了 3.57) 較多的那半部 (左邊) 越左邊越趨近約 4.2，與 0 差了 4.2，至於氨水 (pH 值=12.34，與 14 差了 1.66) 較多的那半部 (右邊) 越右邊越趨近約 11.7，與 14 差了 2.3，很明顯的在 1M 的硫酸銅與氨水的混合溶液中，氨水對酸鹼度的影響會比硫酸銅對此溶液的酸鹼度影響來的大。簡單來說，如果不正常的那段曲線 (意指氨比硫酸銅體積比為 1:1—1:5 這段) 真是由較強酸 (鹼) 所引起的，則曲線應該是向下彎才對，而不是像我們的圖那樣向上彎。

由此可知「不正常曲線」不是由酸鹼強弱所引起。我們判斷那是由於有錯離子生成才會這樣的結果。

(三) 在第三階段實驗中 (見氨水組)。已知方程式  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$  在實驗裡，氨水較多的那一段曲線有不正常的現象。又知  $\text{NH}_3$  愈多錯合的機會和程度就愈高，如此一來， $\text{NH}_3$  用在錯合方面的數量就愈多；而相對的， $\text{OH}^-$  的來源就會不如預期的多。因此 pH 值曲線偏低。而到體積比為 1:7 時， $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{NH}_3$  都變成了四氨銅錯離子，則會繼續進行上述方程式的反應。曲線遂符合酸鹼中和曲線。

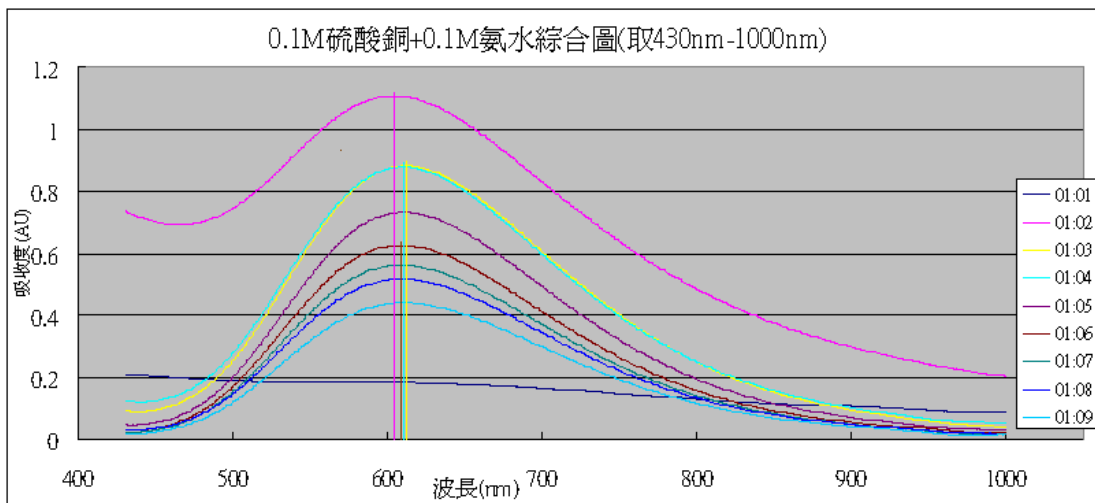
三、0.1M 氨水 UV 實驗討論：



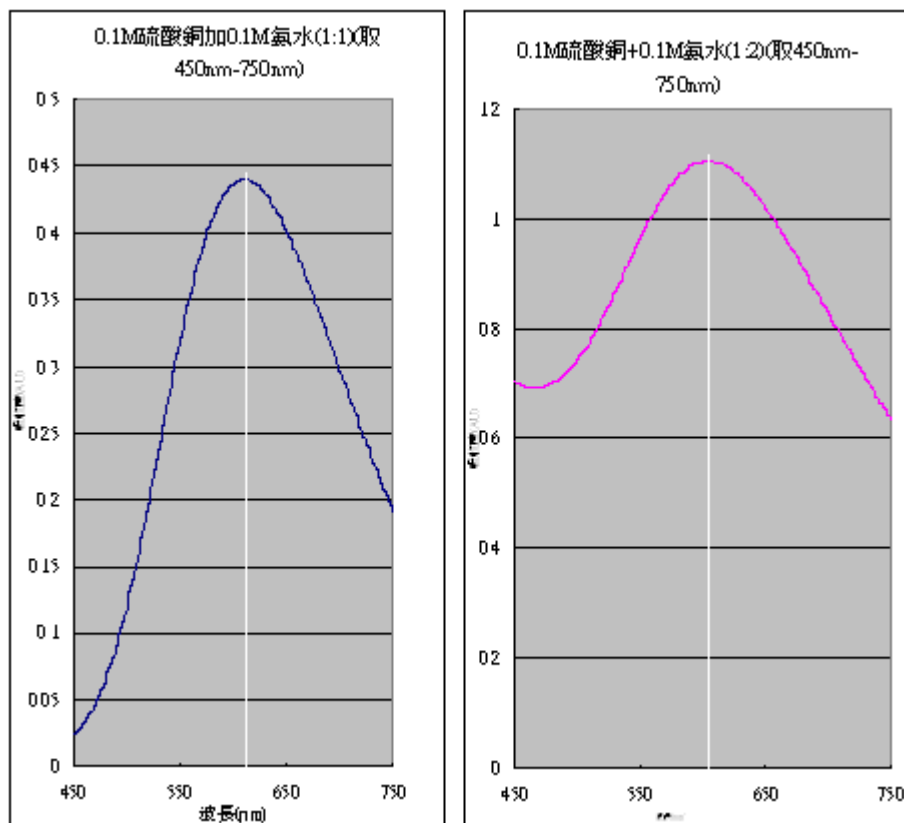
放大



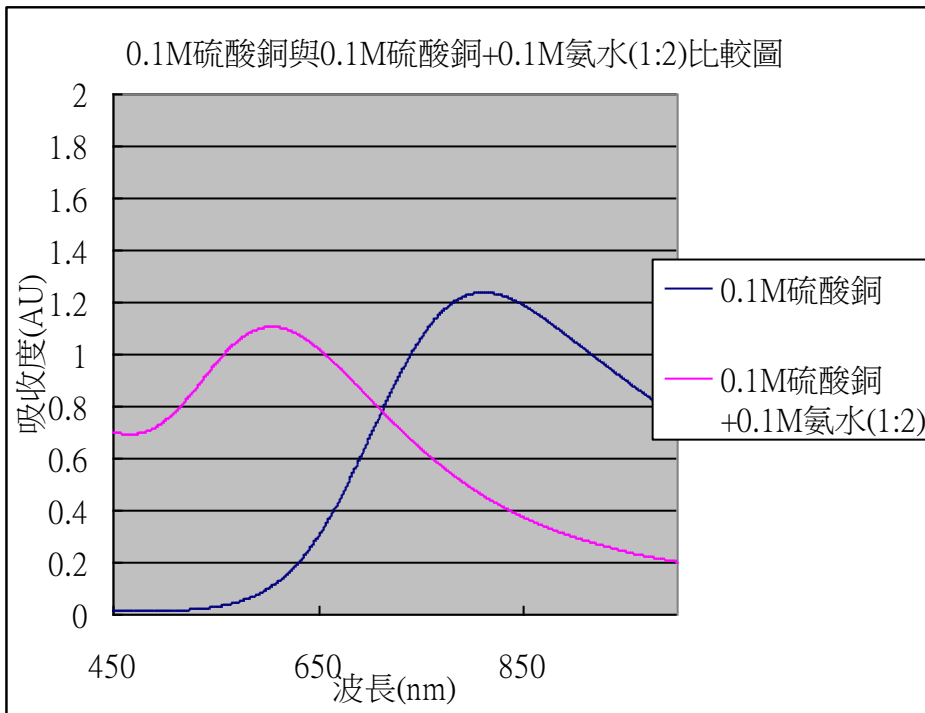




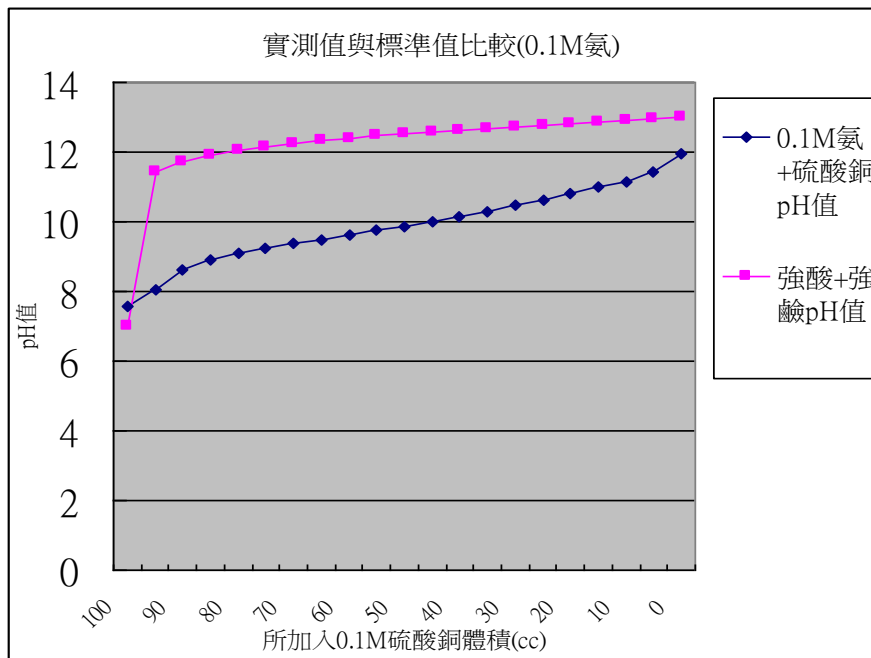
由於原實驗數據波長 300nm-1000nm 吸收度超過 6，屬於無效數據，所以我們採取範圍縮小到 430nm-1000nm。桃紅色穿過 1:2，黃色線穿過 1:3，綠色線貫穿 1:4 和 1:5，藍色線貫穿 1:6、1:7 到 1:9，由此可知在吸收度圖裡面我們發現四種不同的顏色，這四種顏色可能是因為銅離子在硫酸銅和氨水混合溶液中的離子多寡所表現出來的，這部分我們在下面會繼續討論。其中 1:1 的波長圖和其餘的波長圖有極大的差別，由此圖可說明在 1:1 時真溶液內是幾乎沒有錯離子產生，銅離子大部份拿去沉澱，但接著我們又分析下圖：



乍看之下 1:1 是一條平滑曲線，但將其波長取 450nm-750nm，吸收度範圍取 0 到 0.5AU 放大並觀察，發現其實他還是有波峰（如左上圖）另也將 1:2 波長取 450nm-750nm（如右上圖），發現他們倆有相同的波長，代表在 1:1 時銅離子大多拿去沉澱僅少數發生錯合，而其產生的錯離子和 1:2 所生成的錯離子是相同的，因為他們的波峰所處的波長一致。



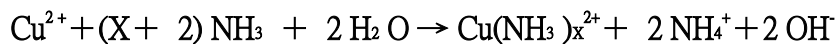
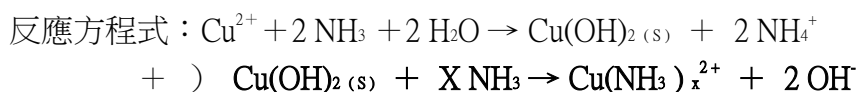
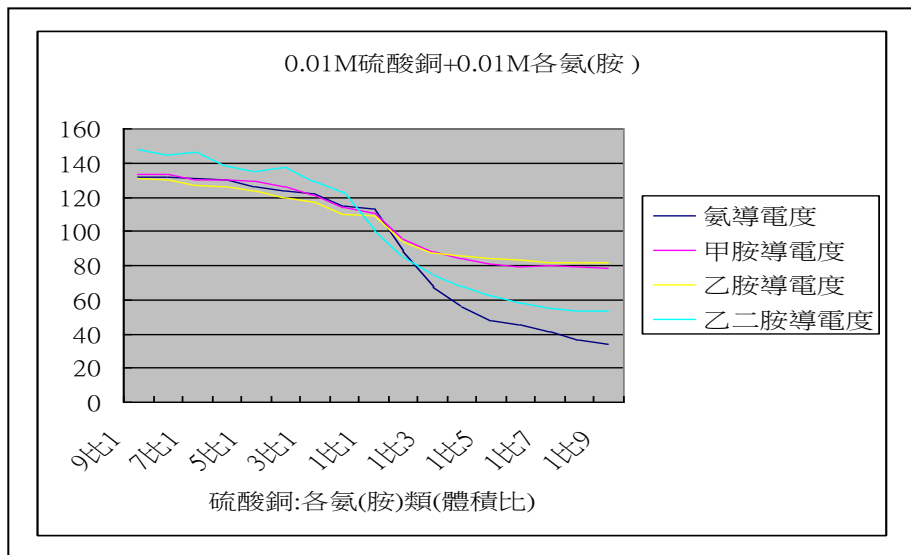
接下來比較 0.1M 純硫酸銅和 1:2 硫酸銅與氨水混合溶液，發現波峰所處的波長不同，顯示有錯離子的產生，又由第 17 頁上方的光譜圖（發現有四種顏色）我們推測此種錯離子(出現在 1:1、1:2 處)即  $\text{Cu}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})_3^{2+}$  接著加入滴定圖比較:



不同於討論的第一點之乙二胺部份，氨水的滴定圖是緩慢穩定上升的曲線而不像乙二胺會有突然出現的落差，詢問老師及討論之後，我們的推斷是：在眾多配基的種類中，乙二胺的場強度較氨大，乙二胺經證實是一次把銅離子接滿（詳細內容見討論之第一點），而在這裡銅氨錯離子可以有四個種類，而緩慢穩定上升的曲線形成的原因是：1:1 溶液到 1:2 這段過程裡所生成的錯離子皆相同，即  $\text{Cu}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})_3^{2+}$ ，也就是說在這段過程裡慢慢加入的氨把已沉澱的

銅離子一個一個變成溶解的  $\text{Cu}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})_3^{2+}$ ，如此一來就沒有剩餘的氨解離成銨根離子及氫氧根使酸鹼值上升。此過程結束的地方在 1:2 處，因為在第 17 頁右上的光譜圖（發現有四種顏色）1:3 處即換成另一種顏色，也就是另一種錯離子  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2^{2+}$ ，而在 1:4 處則又換成另一種顏色、另一種錯離子  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})^{2+}$ ，1:6 處再換成另一種顏色、另一種錯離子  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  此時銅離子已被氨接滿，顏色再也不會轉變。

#### 四、各組溶液的導電度比較

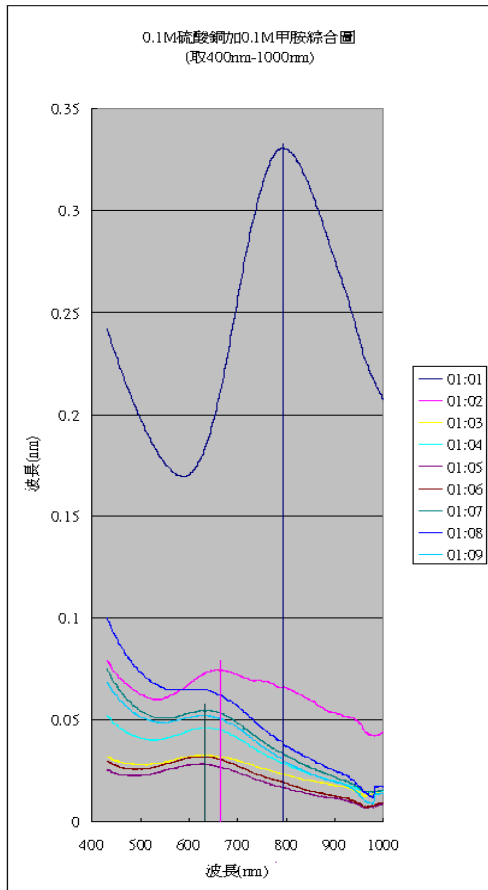


下表為氨水甲胺乙胺乙二胺解離常數表格：

	氨水	甲胺	乙胺	乙二胺
解離常數	$1.8 \times 10^{-5}$	$4.4 \times 10^{-4}$	$5.1 \times 10^{-4}$	$4.7 \times 10^{-4}$

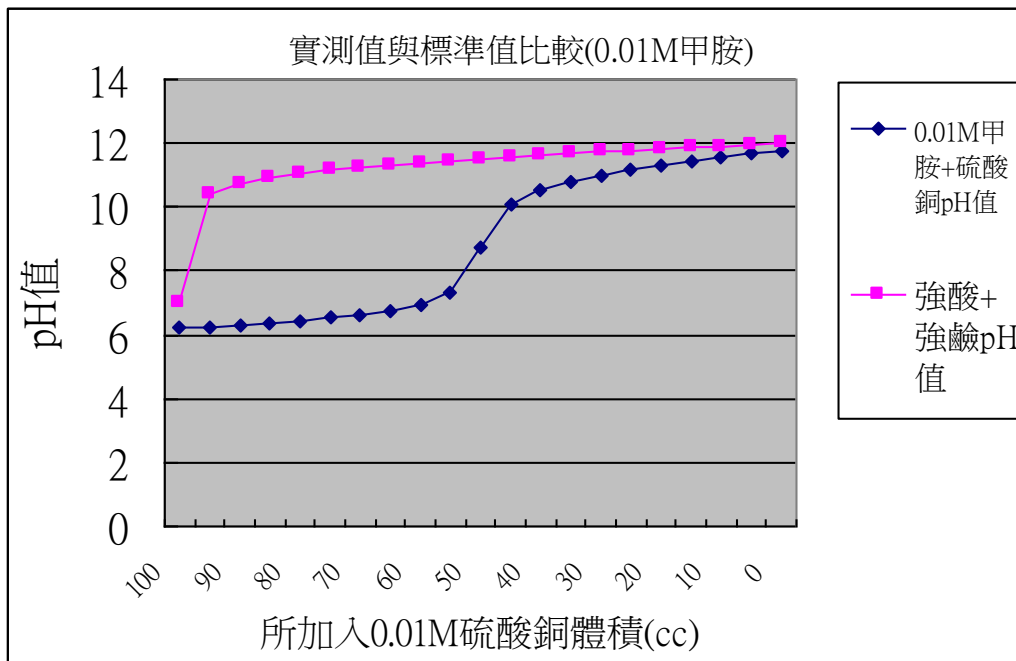
導電度的大小會受到沉澱量的多寡和溶液中的離子數多寡、離子大小及帶電荷量影響，由上述反應方程式及解離常數表格，在氨水、甲胺、乙胺、乙二胺與硫酸銅溶液的混合液中，當同濃度的氨水、甲胺、乙胺、乙二胺與硫酸銅溶液以體積比 9:1 混合時，以乙二胺和硫酸銅的沉澱量最少，代表乙二胺和硫酸銅混合溶液中存在的離子數量較其他混合溶液多，所以它的導電度在體積比 9:1 時是最大的。同濃度的氨水、甲胺、乙胺、乙二胺與硫酸銅溶液以體積比 1:9 混合時，氨水和硫酸銅混合溶液呈現的導電度最小是由於氨水的解離常數在氨水、甲胺、乙胺、乙二胺中是最小的，在溶液中解離出的離子數最少，所以在體積比 1:9 時導電度最小。

五、0.1M 甲胺 UV 實驗及 0.01M 甲胺滴定實驗討論：



4

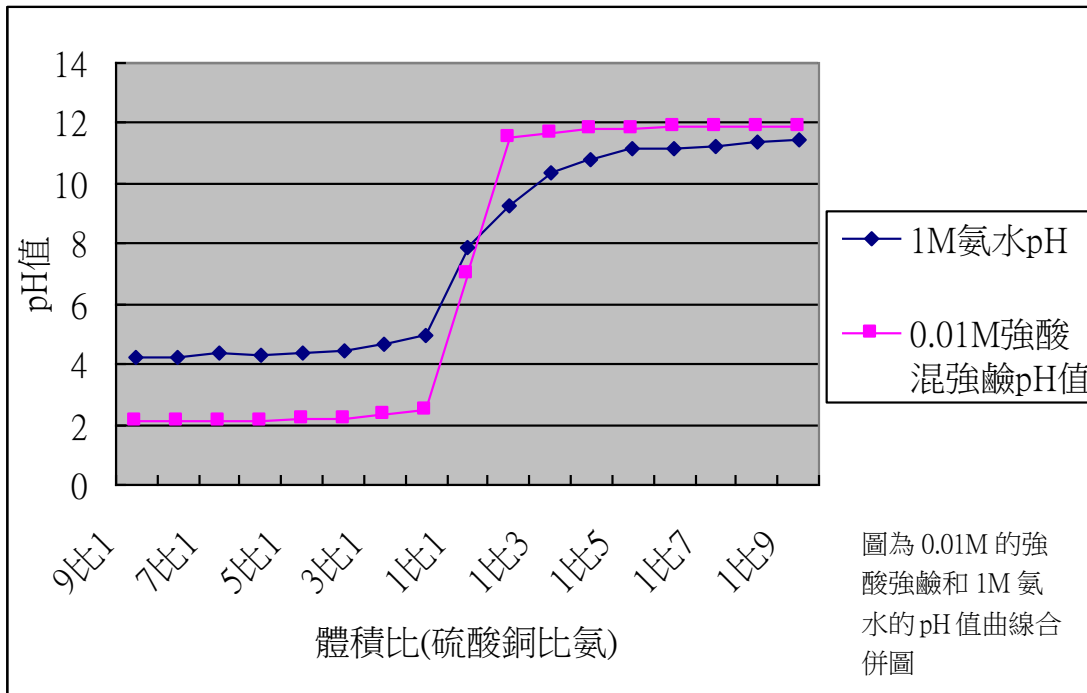
相較於氨水與乙二胺的圖，甲胺波峰所呈現的吸收度很小，因為沉澱速率大於錯合速率，所以當甲胺與硫酸銅混合時，銅離子大部份會先沉澱僅留下少數銅離子來進行錯合反應。



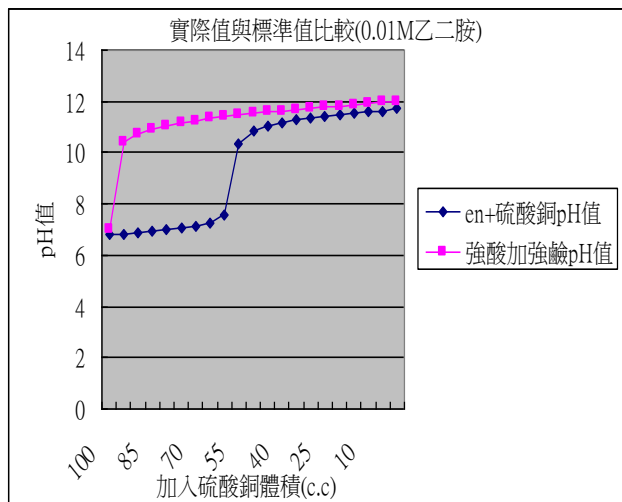
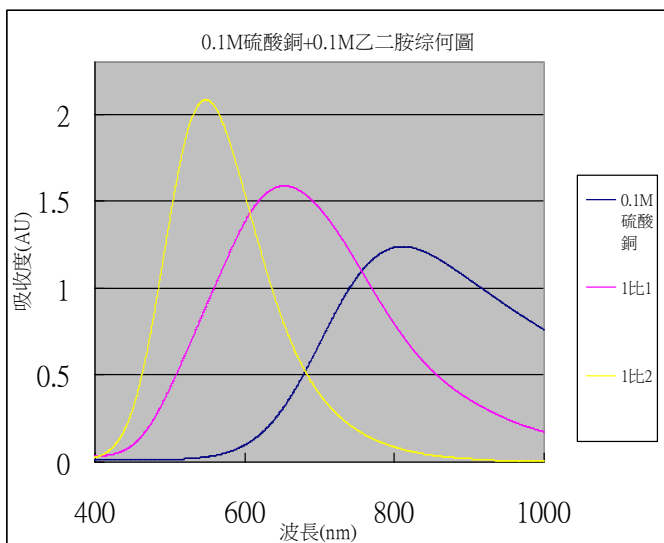
## 柒、結論

為了解各種胺類及氨水在含二價銅離子的溶液中所形成的各種錯離子之特性，我們設計了些實驗，並分析得到的數據來驗證我們的假設。以下是我們得到的結論。

1、在固定總體積並將各胺類溶液和硫酸銅以不同體積混合的實驗中，1M 的氨水組有了特別的發現：1:1 至 1:4、1:5 的曲線有不正常的現象。因為  $\text{NH}_3$  愈多錯合的機會愈高，如此一來， $\text{NH}_3$  用在錯合方面的數量就愈多；因此  $\text{OH}^-$  便會相對減少，使 pH 曲線偏低。而到體積比為 1:7 時， $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{NH}_3$  都成了四氨銅錯離子，繼續進行  $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$  反應。曲線遂符合酸鹼中和曲線。由此我們能確定這裡真的有錯離子的存在。



2、將乙二胺的 UV 圖與 pH 值圖對照，可發現在 UV 圖體積比 1:1 和 1:2 有兩個明顯不同的波峰，而在 pH 值圖中 1:1 和 1:2 間有一個落差出現。

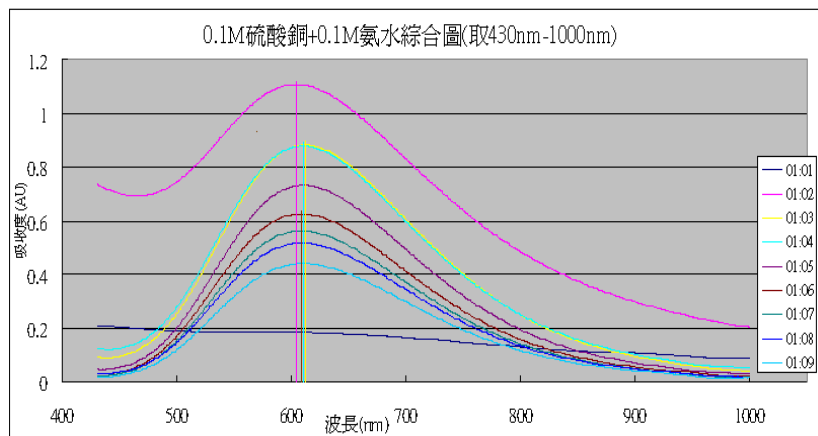


將乙二胺的 UV 圖與 pH 值圖對照，可發現在 UV 圖體積比 1:1 和 1:2 有兩個明顯不同的波峰，而在 pH 圖中 1:1 和 1:2 間有一個落差出現。經實驗我們證實了之前的假設，便得到以下結論：1 比 1 混合液中有一半的銅離子接上兩個乙二胺，另一半則未接上任何乙二胺。於是溶液所顯現的顏色就是純硫酸銅溶液和 1 比 2 混合液的中間色。

有了這個論點，便可解釋右上的 pH 值圖：

此圖藍色線的部份首尾兩幾乎是平的一直到 55ml/50ml 才有了較大的起伏而愈靠近尾端則愈接近強酸強鹼滴定曲線圖。原因是：在銅離子尚未接滿兩個乙二胺（即 1:2）之前，所加入的乙二胺都會跑去和銅離子鉗合，一直到接近 1:2 時乙二胺才又恢復了讓 pH 值上升的角色。

3、



由上圖我們發現四種不同的波峰範圍（顏色）。其中 1:1 的波長圖和其餘的波長圖有極大的差別，由此圖可證實在 1:1 時真溶液內是幾乎沒有錯離子產生，銅離子全都拿去沉澱。

再經圖表分析後我們推測出現在 1:1、1:2 處的錯離子即  $\text{Cu}(\text{NH}_3)(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$

又 UV 圖顯示在 1:3 處換成另一種顏色，也就是另一種錯離子  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_4^{2+}$

而在 1:4 處又換成另一種顏色、另一種錯離子  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_3(\text{H}_2\text{O})_3^{2+}$

若再配合氨水的滴定圖比較便可更進一步的發現到：1:6 處會再換成另一種顏色、另一種錯離子  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  而此時二價銅離子已被氨接滿，顏色影響較大。

## 捌、參考資料及其他

- 一、南一版高二化學課本第十章第五節：錯合物
- 二、普化網路輔助教材：16 章水溶液化學 <http://chemedu.pu.edu.tw/genchem/16/16-5-3.htm>
- 三、薛勝雄，新細說化學，建宏出版社，84 年
- 四、謝從卿、王文竹教授合譯 Huheey 無機化學下冊，安合出版社

## **【評語】 040209**

本作品針對銅離子與氨及乙二胺的錯合反應進行探討，進行光譜分析可惜沒有注意到多重平衡的複雜性，無法獲致正確的結論，滴定實驗只提供了部份資訊，但是幾位同學的報告，合作有默契建議給最佳團隊合作獎。