

中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

高中-化學科

科 別：化 學 科

組 別：高 中 組

作品名稱：膠體沉澱效果的新式測量法

關 鍵 詞：膠 體、沉澱效果、磁電效應

編 號：040202

學校名稱：

國立臺南第一高級中學

作者姓名：

張哲瑜、陳敬中、李岳勳

指導老師：

鄧明聖



膠體沉降效果的新式測量法

一、中文摘要

要檢測膠體粒子是否存在於溶質中，並不能以一般的光學顯微鏡觀察得出，若是用廷得耳效應觀察光線散出的量決定，則將運用到大量昂貴的精密儀器，與繁複深奧的化學理論，本實驗主旨即在運用自製的簡單儀器測量待測膠體流經強磁場因磁電效應產生電壓，藉著改變沈降劑種類或劑量使電壓產生波動的現象，藉此評估各種沉澱劑對膠體溶液沉降效果好壞與最適當的劑量，並將此結果應用在實際污水處理作業的先期測試上。

二、研究動機：

2001 年初時發生的阿瑪斯號貨輪油漏事件，因為該船攜帶大量的鐵砂，故在事後補救中如何藉由適量沉澱劑的使用，達到減少氫氧化鐵對海中生物的影響的目的，相信是一個有意義的課題。

要檢測膠體粒子是否存在於溶質中，並不能以一般的光學顯微鏡觀察得出，若是用廷得耳效應觀察光線散出的量決定，則將運用到大量昂貴的精密儀器，與繁複深奧的化學理論，本實驗主旨即在運用簡單的器材與方法，同樣達到定量檢測的效果。對於一個高中生來說，要實際檢測各種沈降劑對污水造成之沈降效果，勢必利用其他方法得知，因為在下水道污水處理及水之淨化上如何確切知道恰好適量的沈降劑量及控制膠體的凝結程度是非常重要的，本研究即希望運用簡單的新方法來檢測出各種沉澱劑對特定膠體的沉降效果。

三、研究目的：

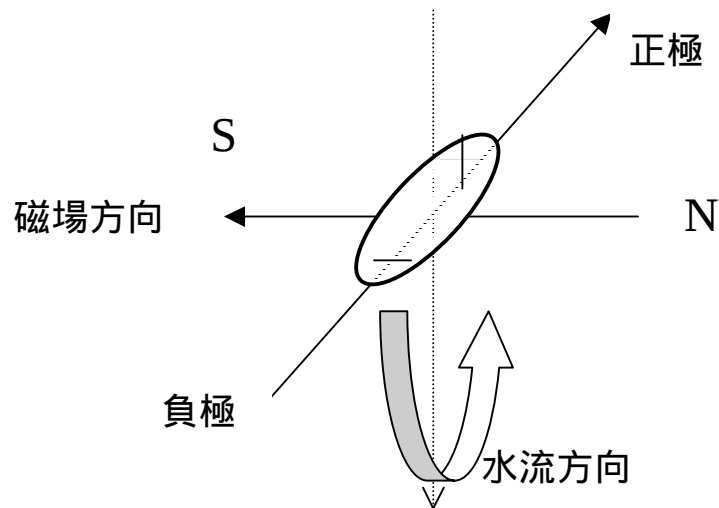
1. 證明膠體在磁場中產生的電壓確實被溶劑極性與離子濃度有關
2. 運用簡單的儀器檢測出膠體流經外加磁場時所產生的電位差。
3. 找出各種沉澱劑對膠體溶液沉降效果與最適當的劑量

四、研究器材：

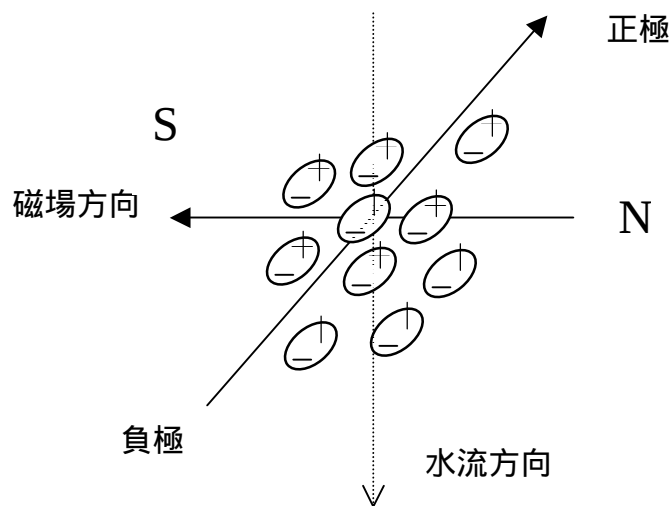
1. 軟管 2 條
2. 壓克力管 1 條
3. 鉑箔 $2 \times 5 \times 0.01 \text{cm}^3$ 兩片
4. AB 膠、鐵弗龍
5. 強磁鐵 兩塊 4000 高斯
6. SCIENCES WORKSHOP 750 INTERFACE 接 電壓感測器
7. 氫氧化鈉、硝酸鐵、明礬、明膠、硝酸鋁、硝酸鈉、硫酸鈉、蚯蚓糞、幾丁質、澱粉

五、研究原理：

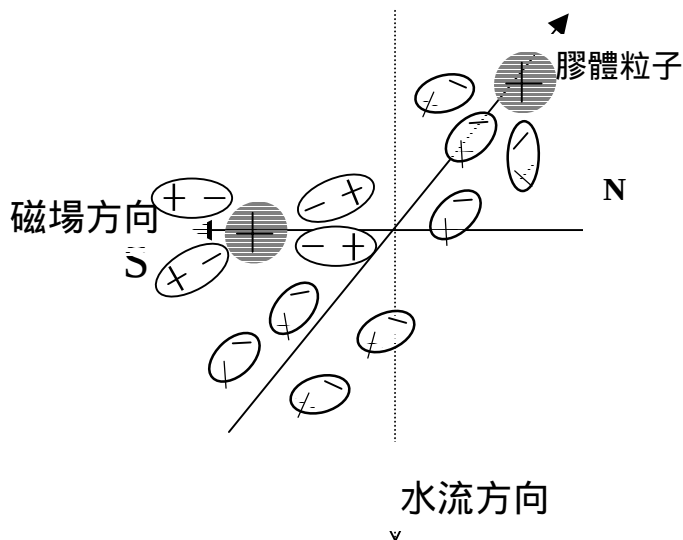
本次實驗主要是測量靜置膠體中管壁間電壓的變化，關於靜置水中產生電壓的原因，如下圖：



(本圖為立體圖，由上而下代表水流方向，旋轉代表磁電效應使水分子旋轉至固定方位。) 由於水是偶極體，當純水通過強磁場時，水分子會因磁電效應而從原本混亂的排列轉成具固定方向的排列(依據右開掌定則)，因此而產生一股垂直管壁的電壓，由於磁電效應的時間極短，所有經過的水分子應該都有同一方向的電性方向，造成管柱內的水分子最終排列如下圖：



在加入帶電性的膠體之後，溶液內的電荷分佈情況會變成這樣：



由於有表面帶電之膠體加入，正、負電膠體將會改變原先水分子的排列，因此對兩邊管壁產生的電壓就減少很多，甚至造成電位反轉，當沈降劑緩緩加入時，將能預測若沈降劑本身有帶電荷（如明礬、硝酸鈉、硝酸鋁、硫酸鈉等等），所測得的電壓曲線會呈現先接近純水電壓，再反轉情況。若是本身沈降劑不帶電荷（如明礬、明膠、澱粉、幾丁質之類），那所測得的電壓曲線會呈現先逼近純水電壓，然後維持定值的現象。

產生以上情況是因為剛開始緩緩加入沈降劑時，會使沈降劑電性與膠體中和，而使整個溶液中的電荷不均現象愈來愈少，代表其中的雜質逐漸被去除，越來越接近純水的狀況，在過了適當劑量點後，若沈澱劑本身帶電，將再次引起溶液中電荷分佈不均的情況，則又使接近純水的電壓反轉。

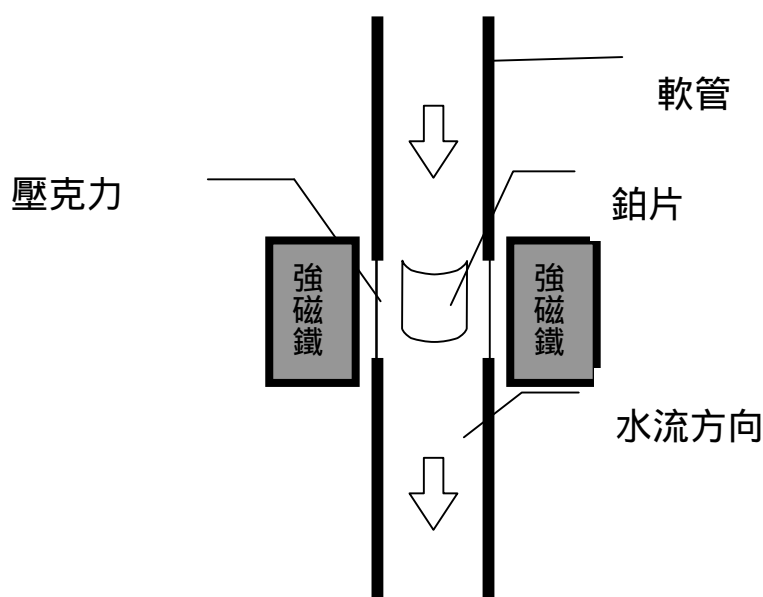
六、研究方法與結果：

這次的沈降目標物只鎖定在氫氧化鐵，鐵是地球上常見的金屬元素，地面水通常含鐵量較少，地表水中含有的鐵類化合物多是無機絡合物：氫氧化鐵 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，地下水通常含有較多的氫氧化鐵，大約是 1/10 毫克/毫升到幾毫克每升，雖說若鐵含量不超過 0.1 毫克/毫升就可不計其影響，但氫氧化鐵對水體的色質影響很大，在工廠排放廢水或天然泉水中出現黃褐色水質大多是因氫氧化鐵膠體所產生，若是要使用其作為飲用水或清洗用水，就需要再處理，所以我們還是選擇氫氧化鐵作為第一個實驗對象。

1. 實驗裝置之製作：

截取約八公分長的壓克力管，剖成兩半，分別在管壁上鑽孔，將鉑箔片與銅線焊接，把鉑箔片以 AB 膠固著在壓克力管壁內側（注意不要留孔隙），將兩瓣壓克力管粘合，兩端接上軟管，以鐵弗龍封死，用兩塊珍珠板使磁鐵扣住壓克力管但不至於壓碎它。

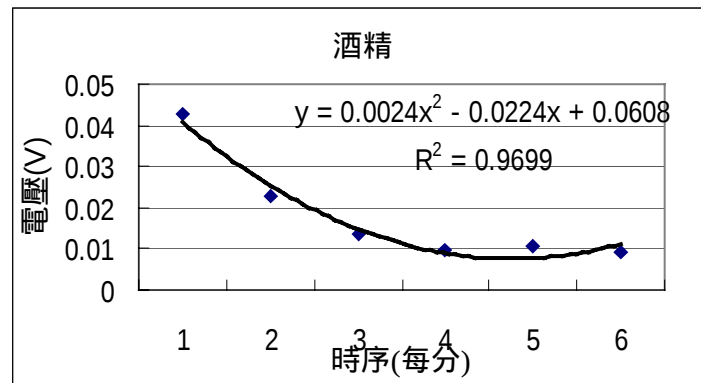
實驗裝置如下圖所示：



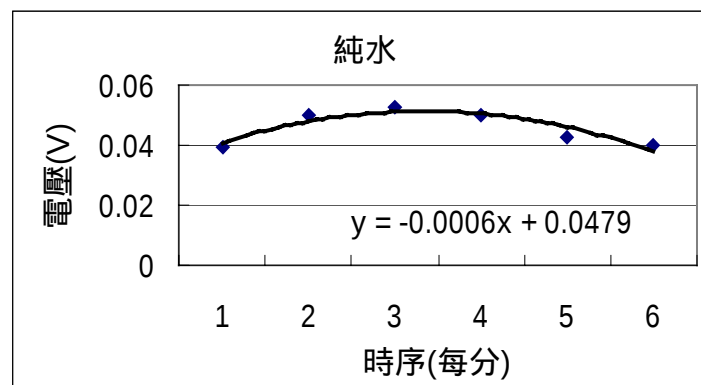
2.實驗理論的驗證：

為了確定本實驗的推論電壓大小與膠體溶液的極性以及溶液內離子濃度有關，做了以下的實驗：

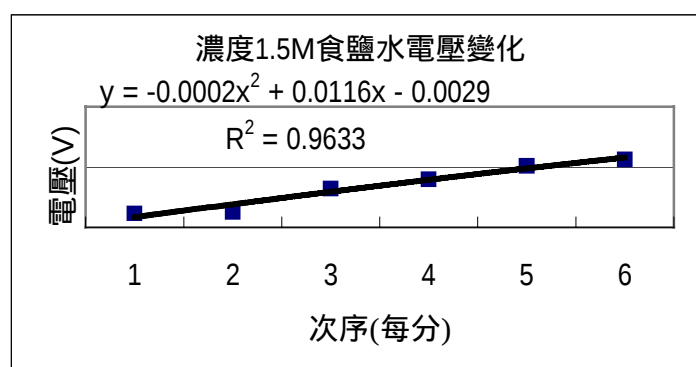
(1) 測量純酒精（95 %）在磁場中產生的電壓



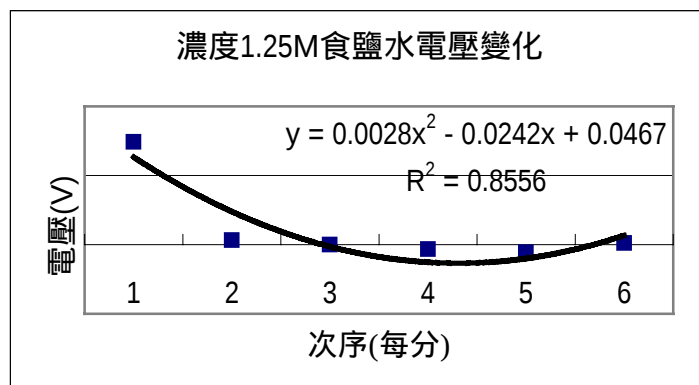
(2) 測量純水在磁場中所產生的電壓



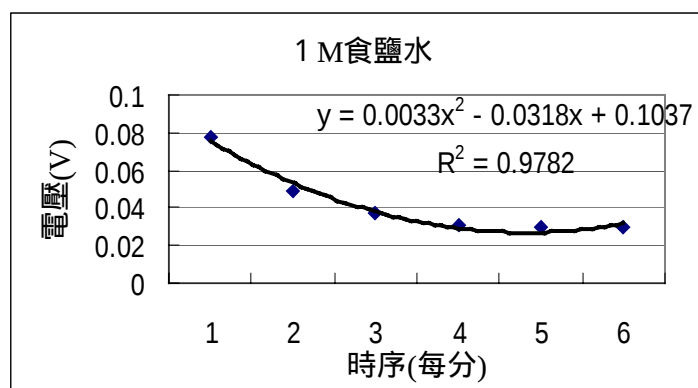
(3) 測量 1.5M 食鹽水在磁場中產生的電壓



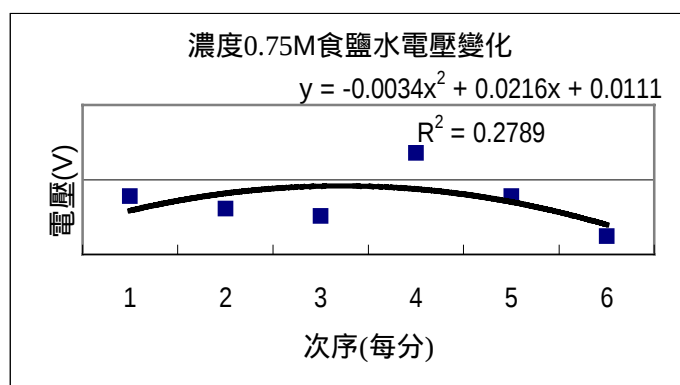
(4) 測量 1.25M 食鹽水在磁場中產生的電壓



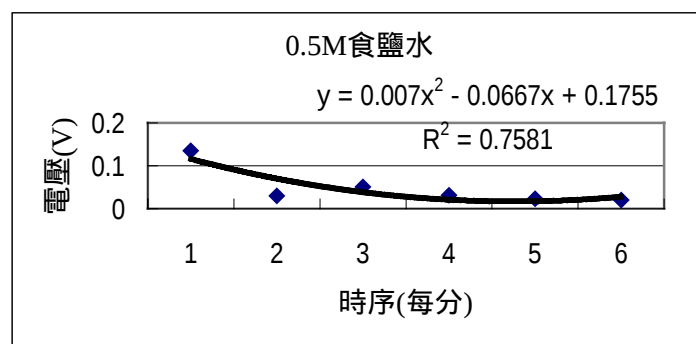
(5) 測量 1.0M 食鹽水在磁場中產生的電壓



(6) 測量 0.75M 食鹽水在磁場中產生的電壓



(7) 測量 0.5M 食鹽水在磁場中產生的電壓



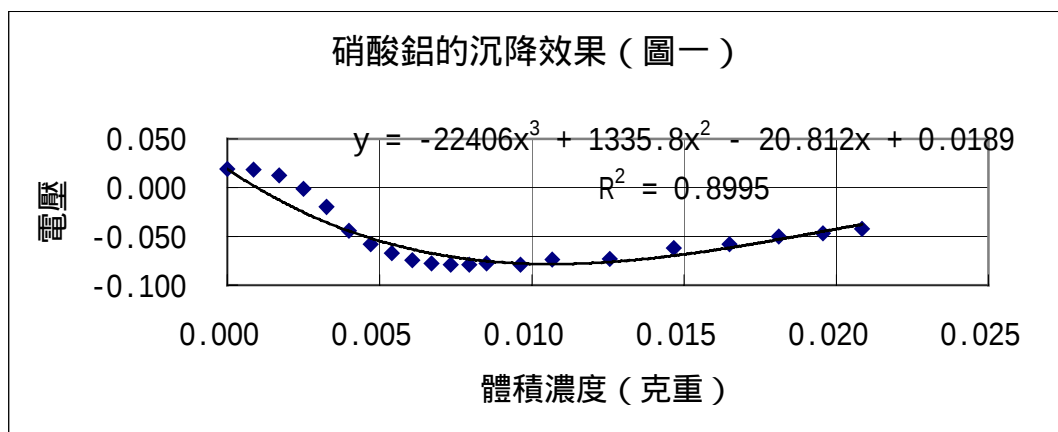
3. 氫氧化鐵對各種沉降劑的反應

(1) 氫氧化鐵的製備

取 R/O 逆滲透純水（為避免配製藥品取用的水中原本所含離子影響膠體之帶電）分別配製濃度 10 % 的氫氧化鈉和硝酸 鐵充分混和後，就能製作出澄清的氫氧化鐵膠體。（注意維持純淨的製作過程）

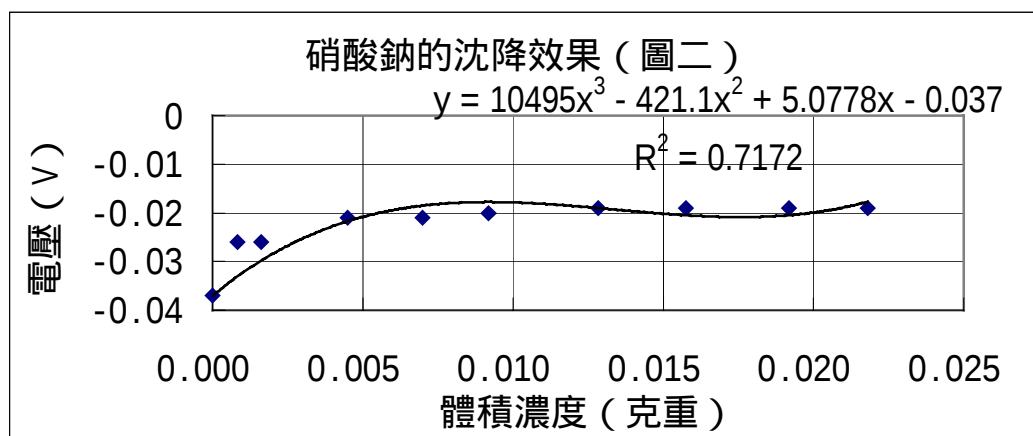
P.S.：氫氧化鐵膠體極易沉澱，一杯大概會沉降 1/3 體積的紅褐色膠體，一大杯 680ml 要沈澱超過一小時，在紅褐色雜質已接近完全沈降時，用注射針筒抽取上面的澄清液，注入燒杯，以雷射光檢查是否有膠體存在（廷得爾效應）。

(2) 氫氧化鐵對硝酸鋁沉降效果



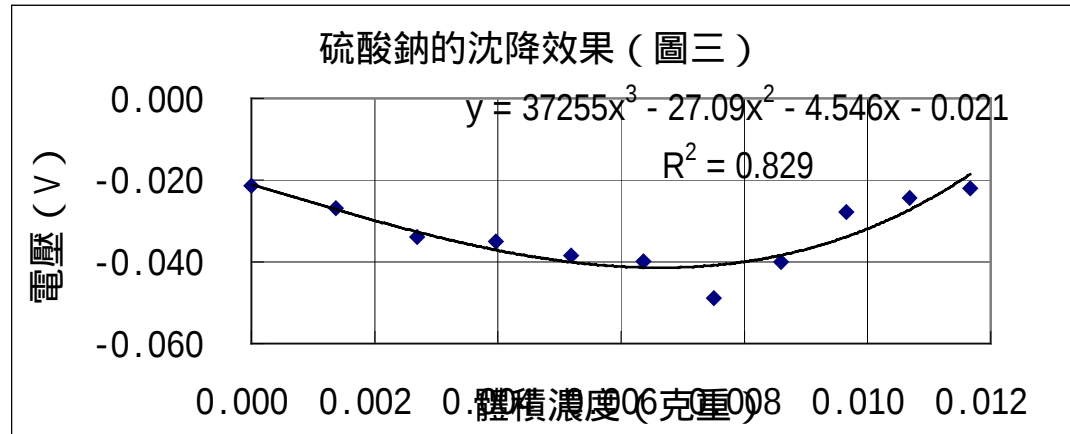
將調配好的氫氧化鐵注入實驗裝置中，靜置稍許，測量其電壓，然後依次序慢慢加入硝酸鋁並以 SCIENCES WORKSHOP 測量每次的電壓，最後紀錄分析，當氫氧化鐵膠體加入硝酸鋁的電壓到達最低點時，表示膠體已接近（或剛好）完全沈澱，由此可求出沈澱氫氧化鐵最適當的硝酸鋁劑量。

(3) 氫氧化鐵對硝酸鈉沉降效果



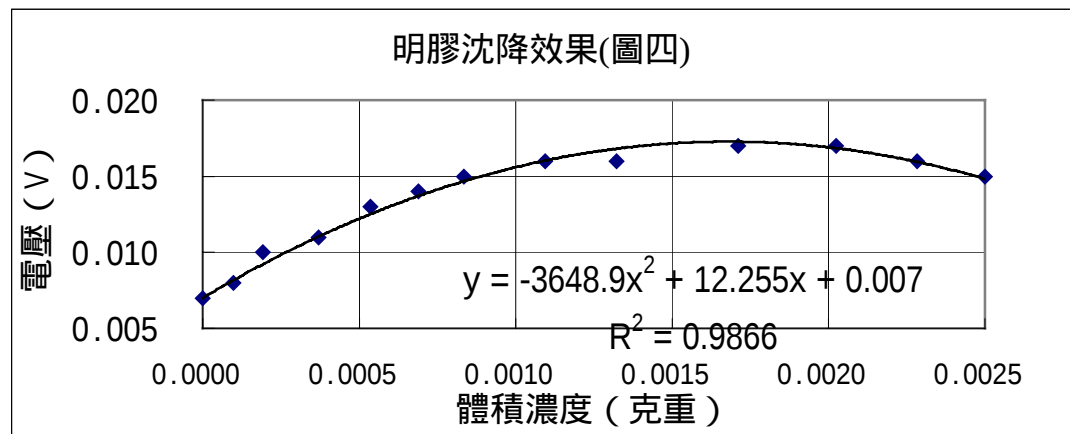
將調配好的氫氧化鐵注入實驗裝置中，靜置稍許，測量其電壓，然後依次序慢慢加入硝酸鈉並以 SCIENCES WORKSHOP 測量每次的電壓，最後紀錄分析，當氫氧化鐵膠體加入硝酸鈉的電壓到達最低點時，表示膠體已接近（或剛好）完全沈澱，由此可求出沈澱氫氧化鐵最適當的硝酸鈉劑量。

(4) 氫氧化鐵對硫酸鈉沉降效果



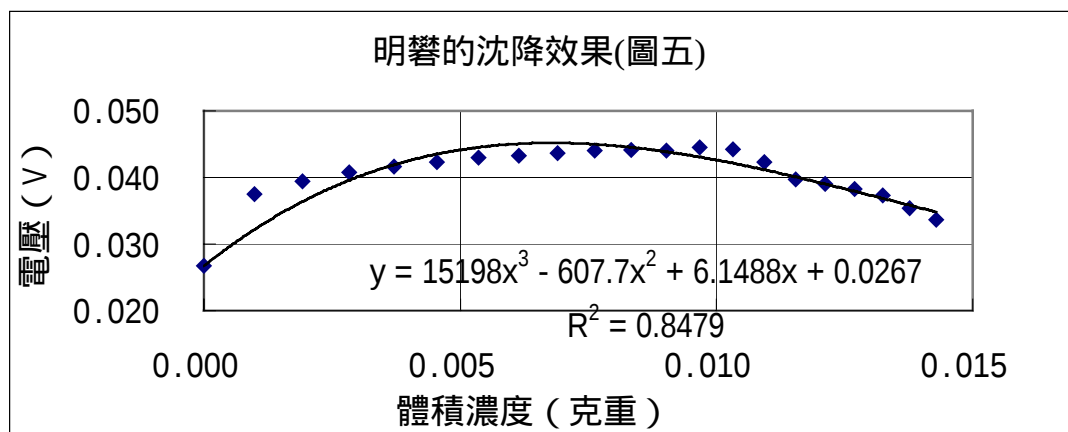
將調配好的氫氧化鐵注入實驗裝置中，靜置稍許，測量其電壓，然後依次序慢慢加入硫酸鈉並以 SCIENCES WORKSHOP 測量每次的電壓，最後紀錄分析，當氫氧化鐵膠體加入硫酸鈉的電壓到達最低點時，表示膠體已接近（或剛好）完全沈澱，由此可求出沈澱氫氧化鐵最適當的硫酸鈉劑量。

(5) 氫氧化鐵對明膠的沉降效果



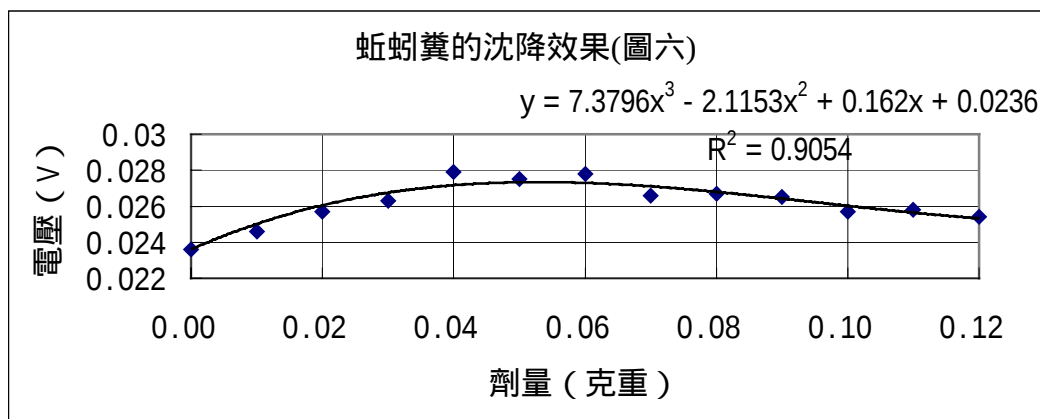
將調配好的氫氧化鐵注入實驗裝置中，靜置稍許，測量其電壓，然後依次序慢慢加入明膠並以 SCIENCES WORKSHOP 測量每次的電壓，最後紀錄分析，當氫氧化鐵膠體加入明膠的電壓到達最低點時，表示膠體已接近（或剛好）完全沈澱，由此可求出沈澱氫氧化鐵最適當的明膠劑量。

(6) 氫氧化鐵對明礬沉降效果



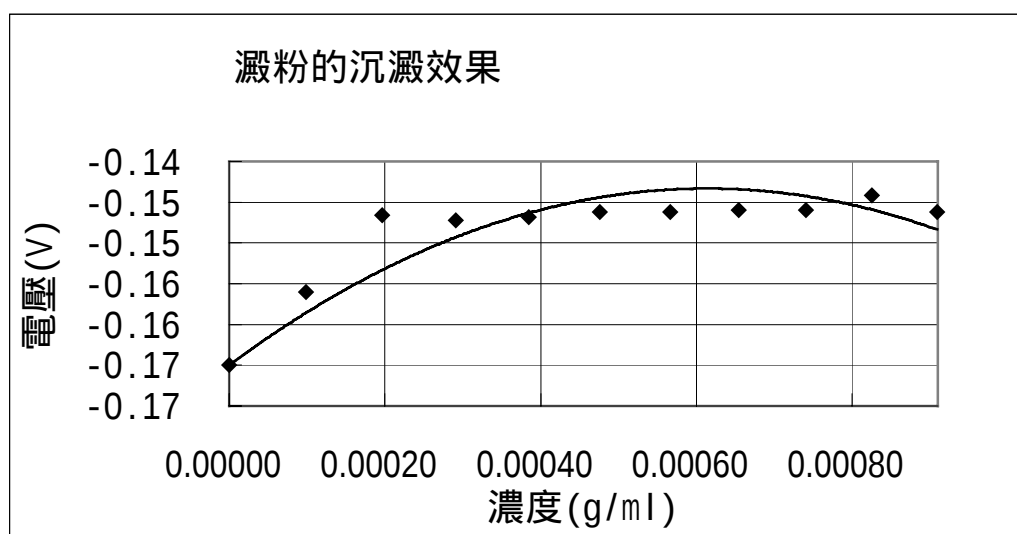
將調配好的氫氧化鐵注入實驗裝置中，靜置稍許，測量其電壓，然後依次序慢慢加入明礬並以 SCIENCES WORKSHOP 測量每次的電壓，最後紀錄分析，當氫氧化鐵膠體加入明礬的電壓到達最低點時，表示膠體已接近（或剛好）完全沈澱，由此可求出沈澱氫氧化鐵最適當的明礬劑量。

(7) 氫氧化鐵對蚯蚓糞沉降效果



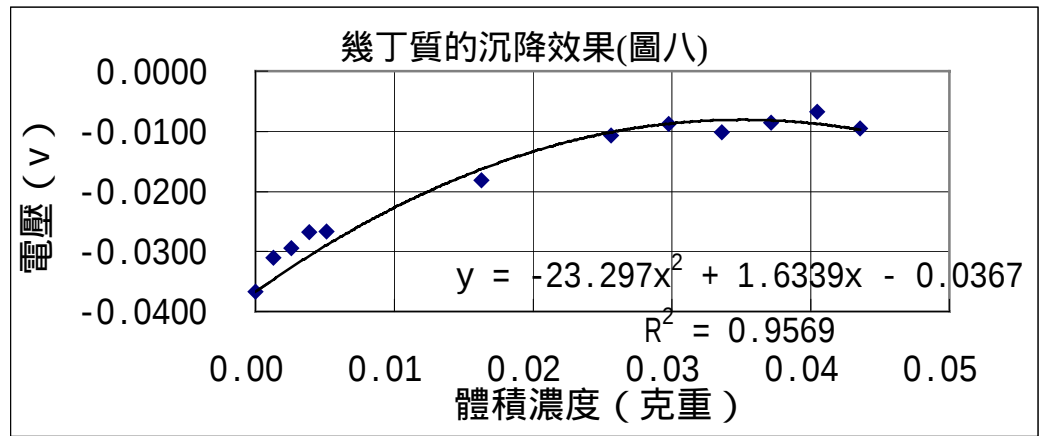
將調配好的氫氧化鐵注入實驗裝置中，靜置稍許，測量其電壓，然後依次序慢慢加入蚯蚓糞並以 SCIENCES WORKSHOP 測量每次的電壓，最後紀錄分析，當氫氧化鐵膠體加入蚯蚓糞的電壓到達最低點時，表示膠體已接近（或剛好）完全沈澱，由此可求出沈澱氫氧化鐵最適當的蚯蚓糞劑量。

(8) 氫氧化鐵對澱粉沉降效果



將調配好的氫氧化鐵注入實驗裝置中，靜置稍許，測量其電壓，然後依次序慢慢加入澱粉並以 SCIENCES WORKSHOP 測量每次的電壓，最後紀錄分析，當氫氧化鐵膠體加入澱粉的電壓到達最低點時，表示膠體已接近（或剛好）完全沈澱，由此可求出沈澱氫氧化鐵最適當的澱粉劑量。

(9) 氫氧化鐵對幾丁質沉降效果



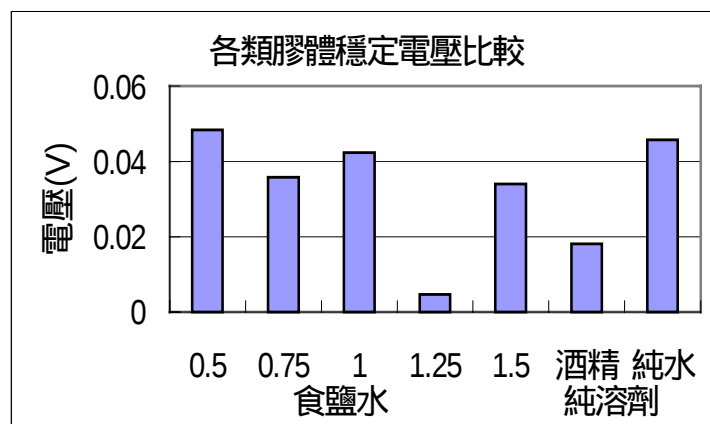
將調配好的氫氧化鐵注入實驗裝置中，靜置稍許，測量其電壓，然後依次序慢慢加入幾丁質並以 SCIENCES WORKSHOP 測量每次的電壓，最後紀錄分析，當氫氧化鐵膠體加入幾丁質的電壓到達最低點時，表示膠體已接近（或剛好）完全沈澱，由此可求出沈澱氫氧化鐵最適當的幾丁質劑量。

七、結果與討論：

1. 實驗基礎驗證

(1) 純溶劑、濃度改變對測得電壓影響驗證

濃度(M)	總平均值	穩定電壓
NaCl 水溶液	0.01	0.073688335
	0.05	0.08014346
	0.1	0.123553717
	0.5	0.048379708
	0.75	0.035770103
	1	0.042319008
	1.25	0.004661017
	1.5	0.034000835
酒精	0.018126825	0.009987875
純水	0.045721655	0.0412832



由於極性現象要到達平衡需要時間，所以較精確的取 5 分鐘後之電壓互相比較較為合理，在上圖與上表中可以看出隨著 NaCl 離子濃度增加其電位從 0.5M 降至

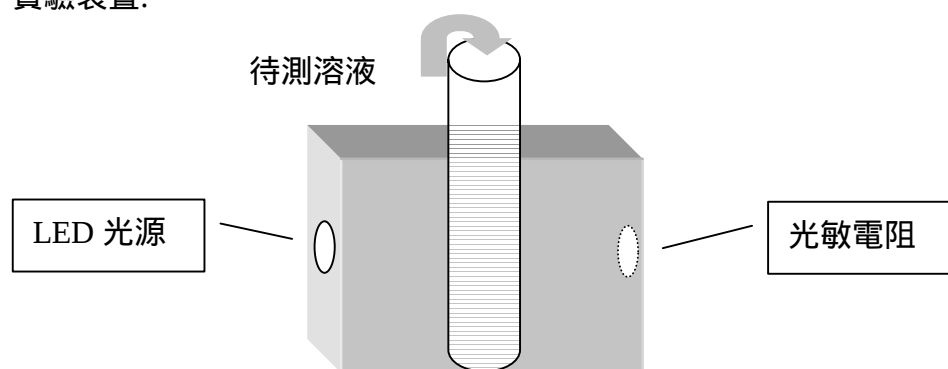
1.25M 的最低值，再出現反轉。

比較酒精與純水的電壓可發現非極性純溶劑產生的電壓比極性溶劑產生的電壓小，與我們預期的情況相符。

(2) 以透光度驗證將體沉降效果：

此項外加實驗進行之目的是以測量膠體透光度的方法與本實驗主要方法所測得的適量值作一比較，在離子型沉降劑中，此種驗證方法較為可信（以磁電效應所得之適量值加入氫氧化鐵膠體中測得接近純水之透光度）然而在現在工業上普遍所使用之沉降劑多屬高分子型，又高分子型沉降劑因分子較大容易影響透光效果故不適合以透光度之理論來作檢測。

● 實驗裝置：



● 實驗數據：

濃度 C_M	0.0104	0.0078	0.0052	0.0026	純水
純氫氧化鐵電導	314.58	309.85	315.05	325.88	333.79

根據實驗結果可以發現欲利用透光度之大小來測定膠體存在與否限制頗大，在數種沉降劑中，若本身沉降劑之透光度不佳（如：高分子），則將影響此種測量方法的準確性，由此可知以透光率測量膠體沉降完全度所遭遇的限制頗大。另外膠體中有些粒子會上浮，有些會下降，有些會互相吸附，導致整個溶液中各區塊間的膠體密度不均，又增加了測光的差異。

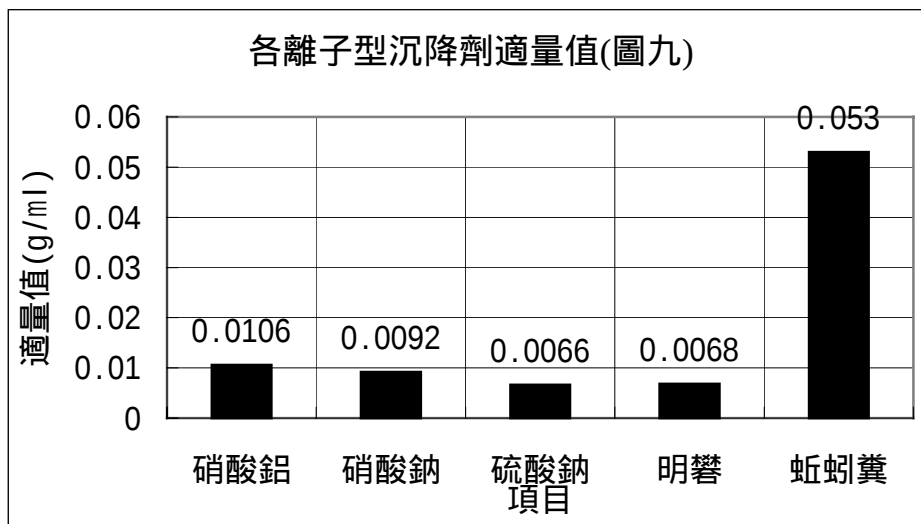
	第一次	第二次	第三次	第四次	乾重
氫氧化鐵乾重 (g)	0.367	0.329	0.356	0.402	0.356

2. 由於高分子沉降劑（如澱粉、幾丁質、明膠）的單一分子對整體水分子磁電效應的破壞程度遠大於其他離子型的沉降劑（其分子鏈長長），只要超過膠體分子捕捉飽和一點點，就會使許多水分子因磁電效應產生的規律排列遭到破壞，故達到最適量值時，其所測得電壓並不會是純水的電壓，故這些高分子沉降劑就不適合以電壓變化大小來判定容易內部膠體沉澱完全與否，故高分子沉降劑的討論沒有電壓變化差、效率這兩項，並將其分開討論。

3. 各「離子型」沉降劑對氫氧化鐵的最適劑量：

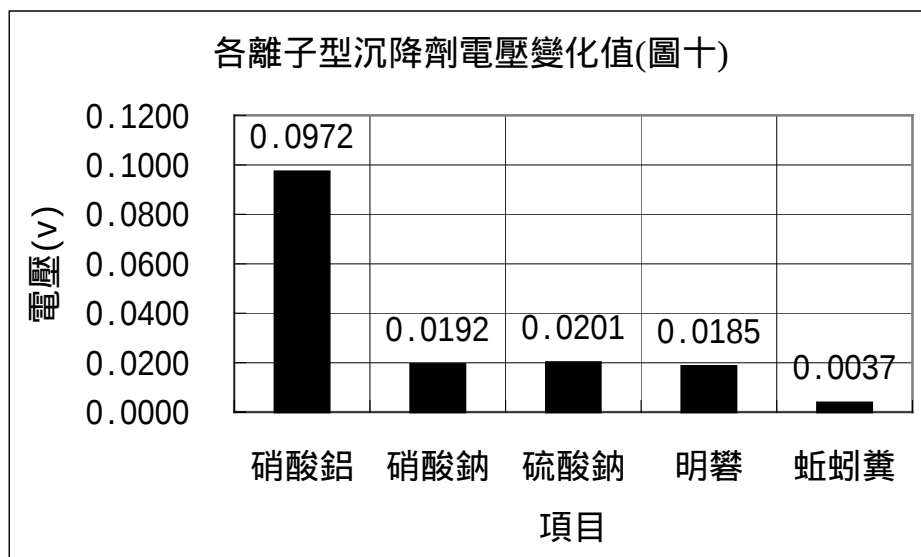
表一、			
項目	適量值(g/ml)	電壓變化值(V)	效率(V*ml/g)

硝酸鋁	0.0106	0.0972	9.1701
硝酸鈉	0.0092	0.0192	2.092
硫酸鈉	0.0066	0.0201	3.0459
明礬	0.0068	0.0185	2.7192
蚯蚓糞	0.053	0.0037	0.0706



圖九中所呈現的數據是實驗測得的電壓所繪出的冪次三方方程式解其第一個轉折點所求得，需注意其中表示單位是單位體積氫氧化鐵中沉降劑劑量。由上圖可看出用量最少的是硫酸鈉，用量最多的是蚯蚓糞，但請注意用量的多寡只是其沉降效率的變因之一，還需考慮其沉降電壓改變大小。

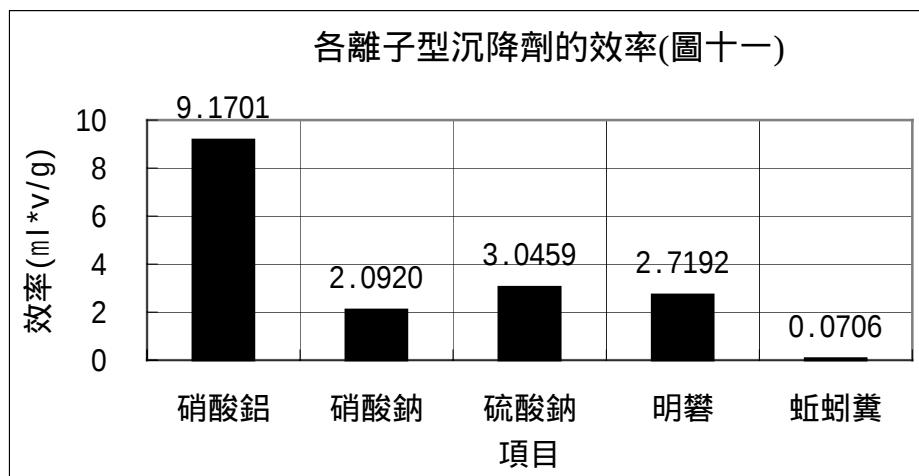
4. 各「離子型」沉降劑對氫氧化鐵的電壓變化值：



由於實驗中所測得的電壓是水分子的磁電效應所導致，在氫氧化鐵存在的情況下，慢慢加入沉降劑會中和膠體電性（減少水中的局部電荷）使電壓漸漸接近純水，代表水中離子減少，如此，電壓差的變化多寡（純氫氧化鐵電壓與最適劑量測得電位

的差值)，也同時暗示其中離子的減少量，而離子減少代表水質越純，因此可以用電壓差變化來猜測水被純化的程度。

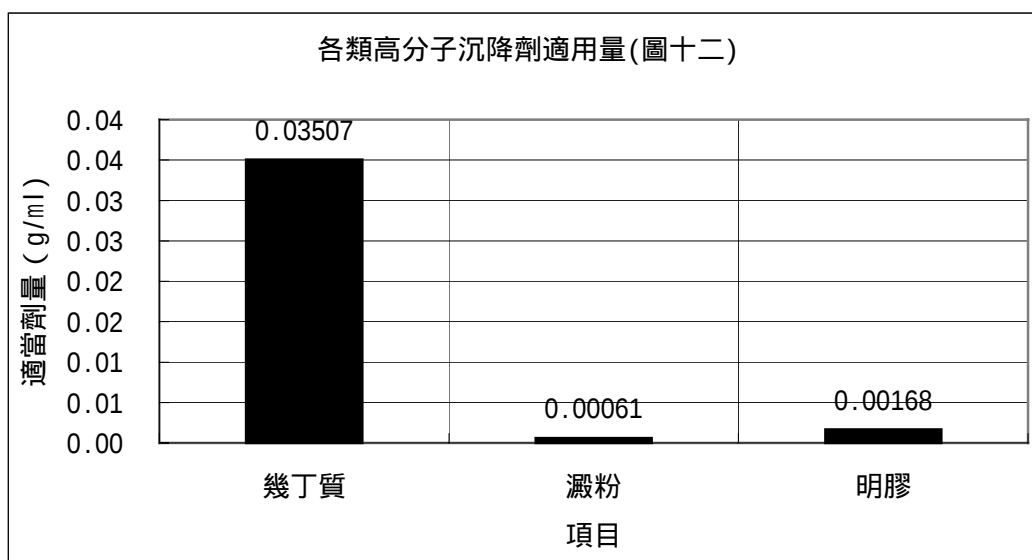
5.各離子型沉降劑的「效率」：



關於沉降效率的計算，是由電壓變化量除以最適劑量，也就是在固定量的氫氧化鐵存在下，每加入一克沉降劑造成的電位變化，因電位變化可以猜測溶液中離子存在多寡，關係到水質純淨與否，這個數據的意義代表各沉降劑每克對水中膠體沉降的效果。

- 6.從圖三比較可發現硝酸鋁的效果是最好的，由於膠體的穩定性（即膠體沉降與否）與其電荷排斥力與凡得瓦爾吸引力交互作用（包括：電雙層交互作用與溶媒分子的溶化（solvation）作用，所謂溶化作用是因為膠體溶液中的反電荷離子之沉降速率比膠體分子慢，因而當許多反電荷離子在膠體周圍形成一電子雲分布不均情況，使膠體表面不再維持電中性（此即電荷極化現象），會使膠體沉降速度減緩）有關，如果膠體的濃度過大，拉近膠體間距離，造成凡得瓦爾吸引力 > 電荷排斥力，或是在疏媒性膠體添加少量電解質，壓縮其電雙層之擴散區，使其電荷排斥力的作用範圍小至足以讓兩個膠體分子的凡得瓦爾吸引力 > 電荷排斥力，而使兩膠體凝聚在一起，就能製造出膠體沉澱的效果（即鹽析作用）。而加入的電解質沉降劑中，因為硝酸鋁所帶價數最多，造成的電雙層壓縮效果最好，其沉降效率因此最好。明礬雖與硝酸鋁同有帶 3 價的鋁（化學式： $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ），但其式量值太大，因此沉降效率較差，另外硫酸鈉效果比硝酸鈉好是因為硫酸根比硝酸多帶一個價電。

7.各「高分子型」沉降劑對氫氧化鐵的沉降效果分析：



高分子化合物的最適劑量計算是由實驗測得的電壓所繪出的冪次二方方程式解其頂點座標的 x (即劑量濃度) 所求得。雖然從圖十一中看出, 幾丁質的用量比澱粉、明膠多出許多, 幾丁質的效果似乎比另兩者差, 但是幾丁質擁有對於重金屬離子額外的捕捉能力, 在真實應用上是比其他兩者實用。

8. 比較離子型和高分子型的沉澱劑, 發現高分子的用量比離子型少很多。因為高分子型沉澱劑可被自然分解或是回收, 相較於離子型沉澱劑可能造成金屬污染, 所以實際應用上天然高分子會比離子型沉澱劑較為可行。

9. 實驗中的問題與改進:

- (1) 原本的實驗裝置設計是用馬達帶動膠體循環, 當水箱裡的膠體溢出時, 就能確定出水端的水壓與流速一定, 就能測到一固定之電壓值。但是此方法消耗的純水數量龐大, 膠體的調配又相當不易, 再加上膠體濃度與沈澱劑量的控制有相當大的困難, 經過多次失敗後, 筆者放棄此方法, 另覓它路。
- (2) 在之前的實驗中, 筆者發現即使不流動, 數位式三用電表仍然能測出電壓差, 這真是令人震驚的發現, 因為固定不動時測得的電壓差還比流動式的穩定多了, 其實最令人頭痛的就是我們測得的電壓都不固定, 從加入膠體溶液的瞬間有最高電位再來就一直降降降, 根本不會停下來, 因此新的裝置改用定點定高落下的方式, 確定位能與流速, 這樣不但大幅度的精簡器材與藥品的浪費, 也讓我們更能夠縝密地控制一些變因, 像是水流過空氣導致一些微量的氣體溶入其中, 混亂膠體的性質, 也同時能控制實驗器材的影響, 避免離子干擾實驗結果。
- (3) 在某次實驗中, 我們發現了前面所講的: 「以為濃度加大, 電壓應該也會加大, 但是卻出現一些出乎意料的數據, 沈降劑濃度增加電壓反而減少的情況。」讓我們進一步的思考整個實驗的理論是否有錯誤, 後來經過資料來源證實, 我們所測得的電壓應該都是磁電效應作用所產生, 而非原先所預期的霍爾效應(霍爾效應在水溶液中的情況下是幾乎不存在的), 那在電壓測量中就不需要讓氫氧化鐵不斷流動, 只要靜置在某處, 用電極下去測就能知道了。但是還有一些需要克服的狀況:
 - a、每次測得純水與純氫氧化鐵的電壓不一樣, 不知道是因為水質有變化? 還是儀器本身有累積一些殘餘物? 可能每次做完一種沉降劑就要拆掉儀器清洗。
 - b、難以控制各項的變因, 氫氧化鐵的成品的一致性(一大考驗) 沉降劑劑量的相同(有些會被量筒吸著) 與其他可能的變因(如溫度、氣壓)
 - c、某些沉降劑作用時間的長短也會影響所測得數據甚大, 所以只能採用等間隔時間多取點(同沉降劑濃度測五次) 的方式來克服。

八、實驗的展望與延伸:

1. 對地球上龐大的水域而言吸著作用(包括吸附與吸收)發生是普遍的, 在地質時期中地殼供給海水的元素量是很大的, 但研究說明極大部分並不會留在海水中, 而是轉移至海底沉降物中, 其因正是吸著作用之故, 而近代工業大量排放的有毒污

水若能借鏡於大自然，可以經濟有效的減少污染。

2. 變換沉澱劑的種類：因為時間限制的關係，所以這次只做了 8 種沉降劑，其實像是硅酸鹽類，如硅酸鈉（泡花鹼），磷酸類，如：磷酸鎂、磷酸鈣，黏土、高嶺土等等，都是可測試的沉降劑。
3. 變換沉澱的目標物：在這次實驗中，實驗的設計安排是以離子型的沉澱劑來沉降膠體，更進一步的構想是更改沉降目標物像是一些重金屬（鉛、鎘、砷、銅、鋅等）有機有毒物等，採用膠體型的沉降劑來沉澱污水中有害的重金屬，利用這種簡單的方法，能省時、省事，相信是相當可行之途。

九、參考文獻：

1. 膠體及介面化學入門，張有義、郭蘭生 編譯，88 年，高立圖書有限公司
2. 環境工程化學，樊邦棠，1998 年，科技圖書公司
3. 電磁學，官德樣等，1997 年，徐氏基金會出版
4. 點明高中基礎物理鎖鑰，徐群雄、徐翔，89 年，大學城文化事業有限公司
5. 科學作品彙編，87 年，國立台南第一高級中學編印
6. 基本電學，余正光、黃國軒 編譯，88 年，全華科技圖書有限公司

十、致謝：

能完成如此艱鉅的實驗，其中不乏師長們的鼎力相助。首先要感謝高師大的教授給予新的思考方向及諸多良言。還有暑假兩個月來無時無刻不成天相伴的指導老師，在實驗遇上瓶頸時提供了莫大的協助，實驗過程中若有錯誤也耐心提醒，甚至不厭其煩的一起討論報告內容。筆者在感動之餘還是只能再三感謝曾給予幫助的每一個人。

(第三名)

1. 開發新的偵測膠體方法具有創意，但是數據的處理及解釋有待再討論與加強
2. 研究的題材具有前瞻性，但整體實驗設計不夠完整
3. 對實驗過程掌握不夠，尤其是一些基本原理需深入理解
4. 研究紀錄完整，可合宜顯示研究進展
5. 若能針對以上建議改良，必可更佳。