

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

第一名

040217

少年廷得耳的煩惱……真溶液的廷得耳效應

學校名稱： 國立科學工業園區實驗高級中學

作者： 高二 管皓	指導老師： 施建輝
--------------	--------------

關鍵詞：膠體粒子、廷得耳效應、水團膠體

摘要：

膠體溶液和真溶液的差別，除了粒徑大小不同之外(膠體：1—1000nm，真溶液：<1nm)，膠體溶液還多了三個效應：廷得耳效應(Tyndall effect)、布朗運動、和膠體的帶電(但近年來已有科學書上證明膠體可以不用帶電，澱粉就是一個被證明的例子註1)。由文獻中得知波長愈小的光線，其散射能力優於波長大者註2。故用紅光觀察極純淨的樣品，經長時間放置仍能顯出廷得耳效應，就可很明確的認定它就是膠體。本實驗最大目的是要驗證陰陽離子及極性分子的溶液皆為膠體溶液。

這次研究的實驗總共分五大部分，用實驗的結果來逐一檢視一價和二價離子以及不帶電的粒子，皆普遍出現廷得耳效應的現象。第一部份總共又分兩大系列：一是對許多種化合物以高速離心的方法去雜質之後來觀察廷得耳效應，二是利用揮發原理，將極純淨且易溶於水的氣體，溶於純水，得到帶電離子水溶液，以觀察廷得耳效應。第三部分是利用光度計測出不同價數的水溶液，它們廷得耳效應的強弱比較。從此一實驗除了可推知越高價數的廷得耳效應越顯著外，也可從此實驗確定一、二價化合物都是膠體溶液。第四部分是做吸收光度的實驗，用分光光度計來測出某些化合物在室溫下和接近攝氏 100°C 的吸光度差別，來證明水團膠體之存在。第三部分是運用同濃度的兩物質(KClO₄和 CaSO₄;NaClO₄和 MgSO₄)，溶於水解離後，產生質量相似但電荷不同的粒子(K⁺：39、Ca²⁺：40、ClO₄⁻：99.5、SO₄²⁻：96；Na⁺：23、Mg²⁺：24、ClO₄⁻：99.5、SO₄²⁻：96)，在同溫度、同濃度、同電壓下測出電流大小，由電流大小可以先證實二價離子的泳速較慢，推估二價離子外包有比一價離子大的水團，因此比較出一價水團膠體和二價水團膠體的大小，再配合【阻力按斯托克斯(Stokes)定律】，推算出一價、二價水團膠體之面積比。第四部份是做 LiCl、NaCl、KCl；KCl、KF、KI 兩系列水溶液導電能力的研究，結果發現導電能力大小竟與分子量無關，表示離子上所附著的水分子數一定非常可觀，而非個位數，間接證明水團膠體的存在。由此一系列的實驗可以證明，幾乎所有的離子和極性物質水溶液都是膠體。

註 1：<高中國文、英文、物理、化學四科疑難問題解答彙編-翁春和教授，葉名昌教授解答>

註 2：物理學家算出膠體的大小 1—1000nm 是可被可見光明顯散射，而且在小於 47nm 的顆粒下散射能力跟波長四次方成反比，也就是說紫光和藍光的散射能力”極”優於紅光

壹、研究動機：

我們在高三的化學課本中，有談到膠體、真溶液、及懸浮液的界定。但在一次偶然的機會下，身邊剛好有一支雷射筆和一杯鹽水，在打光之後竟然發現有一條細細的光帶，這不就是廷得耳效應嗎？它不就是膠體嗎？但在課本的歸類，是將鹽水歸類在真溶液當中，這個矛盾使我開始產生了極大的疑惑。就因為這個緣故使我開始投入一系列對水溶液膠體的研究。

含有正三價之陽離子化合物的水溶液有膠體是無庸置疑，例如：Al(NO₃)₃、FeCl₃ 加到水中，打雷射光上去後會出現一條很亮的光帶，這就是所謂符合電雙層理論的膠體，屬於粒徑較大的膠體。但是一價和二價的化合物加水以後，打雷射光也出現了較細的光帶，

這是爲什麼呢?或許是水中的雜質?有這個猜測，是因爲在做實驗的時候，發現雷射的靈敏度很高，連水中有小螞蟻，把牠撈起來之後就有光點出現。所以爲了去除唯一的原因“雜質”我開始去想辦法，來製造完美的背景溶劑，之後再看看是否還會出現光帶。除此之外，可能造成一價和二價物質有廷得耳效應的模型理論又是什麼呢?接著我就設計一系列的實驗來驗證我的假說。

貳、研究目的：

- 一. 觀察大部分的化合物溶於水時，是否幾乎皆是膠體溶液，進而得知膠體溶液有無普遍性。
- 二. 驗證是否有新種類的膠體出現，而並非只有一種電雙層膠體。
- 三. 將真溶液和膠體做最明白的了解及界定，並且對過去已知電雙層的膠體做實驗的重現。
- 四. 重新思考高中課本給的知識是否完全正確。
- 五. 對水溶液膠體有更進一步的了解。

參、研究設備及器材：

一、實驗所需之藥品與設備(備註藥品屬於第幾項實驗)

1.器材				
試管(新)	試管架	刮勺	鐵架	鐵製夾
橡皮塞	計時器	試管刷	滴管(新)	手套
溫度計	氣壓計	口罩	面罩	凡士林
碳棒	鱷魚夾	大燒杯	尺	電線
試管套(黑色)				
2.藥品				
氯化鋰 1.5	氯化鉀 1.5	酒精 1.	尿素 1.	硝酸鋁 1.
氯化鋅 1.	氯化鐵(Ⅲ) 1.	鹽酸 2.	氨水 2.	硝酸 3.
硫酸鈣 3.	氯化鈉 1.3.5	硫酸銅 1.3.	過氧酸鉀 4.	硫酸鈣 4.
過氧酸鈉 4.	硫酸鎂 4.	碘化鉀 5	氟化鉀 5	無廷得耳效應的蒸餾水 1.2.3.4.5.
3.設備				
氬氣雷射	冰箱	離心機 (3000r/m)	乾燥箱	本生燈
毫安培計	直流電源供 應器	電子天平	分光光度計	光度計(測光 強度)
3.空間				
暗箱	暗室			



圖一、實驗一器材



圖二、雷射光源



圖三、打光時之裝置



圖四、乾燥箱內部器材擺放



圖五、乾燥箱



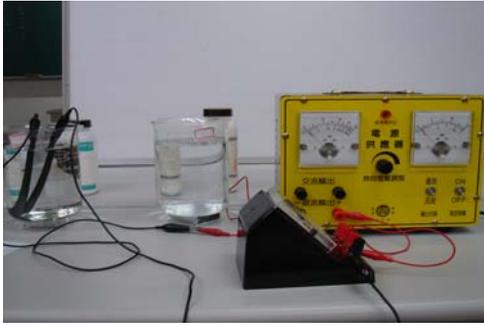
圖六、實驗藥品和溶液



圖七、利用光度計測散射光強度



圖八、利用分光光度計測吸光度



圖九、電解裝置

肆、研究過程或方法：

一、文獻探討

(一)什麼是廷得耳效應(Tyndall effect)?哪些化合物的水溶液有膠體，有廷得耳效應出現?

廷得耳效應(Tyndall effect)是一種標定膠體的極有效方法，它是由愛耳蘭科學家 John Tyndall 所發現，此效應是由光的散射作用引起的，其強度與入射光波長的 4 次方成反比，半徑小於入射光波長時可觀察到廷得耳效應。因此，當一束光線通過膠體，從入射光的垂直方向能看到一條發亮的光柱。而膠體的定義在上述摘要中提到的以外，膠體溶液還必須是一個穩定的狀態，不會在時間的延長下產生沉澱，但膠體消失是有可能，有中國的科學家在實驗中發現，膠體會在極長時間下顆粒大的膠體會繼續變粗，而細膠粒的會逐漸消失，但此現象並不在我們討論的範圍中，因為我們最重要的目的是討論水團膠體的存在與否，因此只作現象上的呈述。在大多數的書上並沒有探討水溶液是否為膠體的資料，而只有部分書說到+3 價的化合物會有”電雙層的膠體”出現，再者大部分書都只對深入的界面現象作計算，而連電雙層的理論也還在進一步的討論和證實。一、二價的離子水溶液到底是否為膠體，一般書將它歸類為真溶液，但是也有書寫到有從真溶液中觀察到廷得耳效應，並抱質疑的態度。更令人摸不著頭緒的是有另一筆資料由物理學家算出若想用廷得耳效應來測出小於 1nm 的顆粒，一般雷射光是無法觀察到，必須用”光電倍增管”才能測出。在這一連串的矛盾中，似乎物理學家的資料可信度較高，而化學界對水溶液膠體的肯定證明有著爭議。而膠體要帶電的基本性質也在澱粉膠體的出現變成不是一個有利的界定，而膠體的界定似乎與粒子的大小有著密切的關係。到底水溶液是膠體或不是膠體有沒有一個普遍性，實在不得人知，因此設計以下實驗來揭開這個謎團。

(二)吸光度的相關資料與公式：

1. 分光光度計所測的資料是已扣掉背景樣液的資料，所得的 $\Delta A = A_0 - A_{Blank}$ ，也就是我們真正想測水中物質的吸收光度。

而大多數人都是做改變濃度的實驗，而我們卻是要以溫度為操縱變因。

2. 吸光度與粒子大小的關係式

$$A_1 = -\log T_1 = -\log \frac{I_1}{I_0} = \log \frac{I_0}{I_1} \Rightarrow \frac{10^{A_1}}{10^{A_2}} = \frac{I_0}{I_1} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1/m_1}{1/m_2} \quad (\text{換成分數})$$

$$A_2 = -\log T_2 = -\log \frac{I_2}{I_0} = \log \frac{I_0}{I_2}$$

$$\Rightarrow (\text{光強度吸收比})^{1-m_1} / 1-m_2 = \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} = r_1^2 : r_2^2$$

A 是指吸光度，T 是指穿透度， I_1 、 I_2 式指出射光強度， I_0 是指入射光強度，r 是指粒子半徑

(三)膠體粒子在水中的電泳速度和膠粒半徑的關係式：

1.

$$I = \frac{q}{tA'} \quad (1) \quad q = A \times n \quad (2) \quad t = \frac{L}{u} \quad (3) \quad A'L = V_{\text{體}} \quad (4)$$

可推得

$$I = \frac{q}{tA'} = \frac{n \times A}{A' \times \frac{L}{u}} = \frac{n \times u \times A}{A' \times L} = \frac{n \times u \times A}{V_{\text{體}}} = C \times A \times u \quad (5)$$

以上的式子中 A' 是溶液截面積， I 是溶液中每單位面積每單位時間通過的電量， u 是電泳速度， A 是價數， n 是個數， C 是濃度， L 指長度

2.球形膠體在介質中運動受到的靜電力為 $F_1 = qw \quad (6)$

球形膠體在介質中運動受到的阻力按斯托克斯(Stokes)定律為 $F_2 = 6 \pi \eta ru \quad (7)$

η ——介質粘度； u ——電泳速度； w ——電位梯度； r ——膠粒半徑

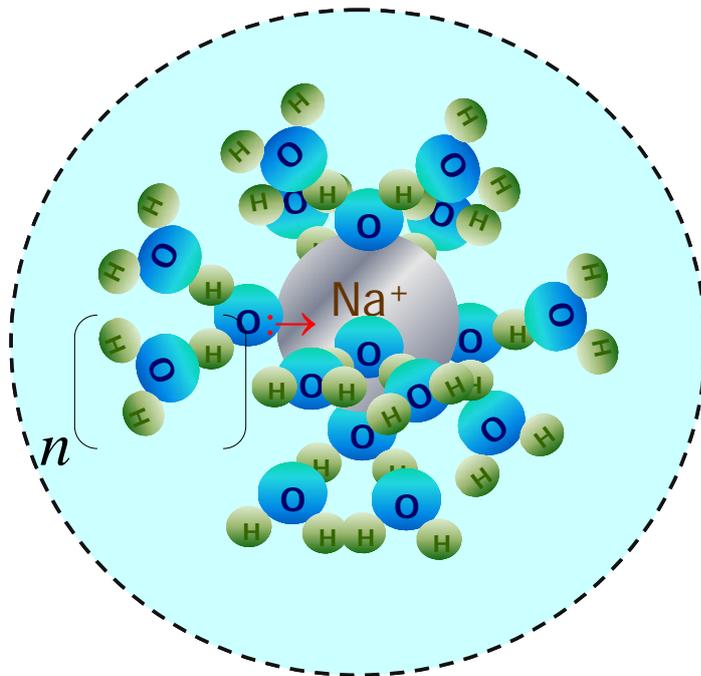
3. 若膠粒運動速度達到恆定時，則 $qw = 6 \pi \eta ru \quad (8)$

二、提出假說：

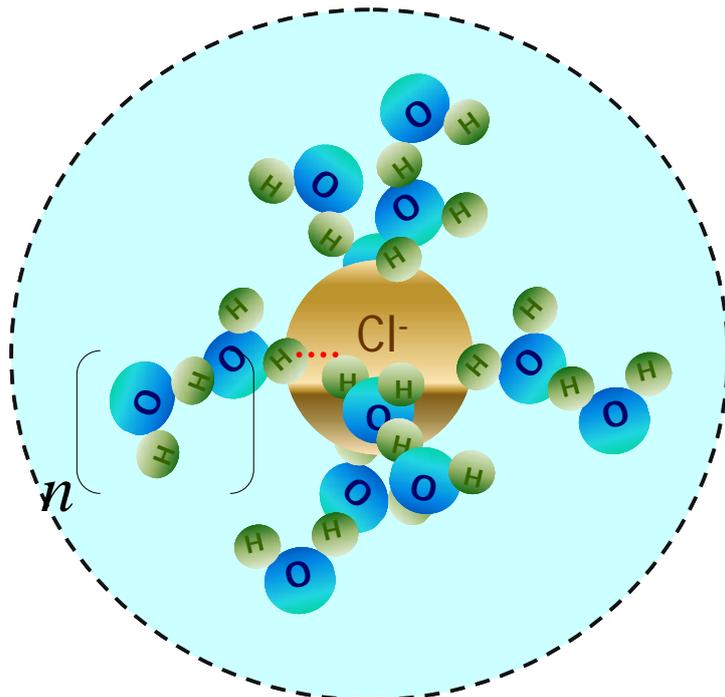
在還未做實驗前先想想看，若一價和二價的化合物加水以後，的確有膠體出現，但它的大小一定不可能有像電雙層的膠體那麼大，頂多在 0.5nm 以下，但是又是什麼原因使它能夠在唯一只有水當溶劑的環境下，從 0.5nm 以下的小離子團變成大於 1nm 的大離子團。舉氯化鈉推論帶電水團膠體為例子：唯一能夠形成的原因只有一個——那就是旁邊不只原本的六個水，外圍還有水團以較弱的引力包附著原本的小離子團，形成大的離子水團。除此之外我還相信有極性鍵而不帶電的化合物外面也會包有水團，此推測是在作完第一個實驗以及在查資料中得知有不帶電的膠體後開始假設的。這次的四個實驗還是主要來證明帶電水團膠體的存在，而不帶電水團膠體推論僅以實驗一來稍作論證，描述觀察到的事實真相。再者以上所推論的假說也似乎有著某些舊資料來印證：

(一)從旭本 RO 逆滲透公司所提供的資料中說到一般逆滲透膜的孔徑約在 1nm 以下，它可以排除細菌，病毒及熱原甚至各種”溶解性離子”，而此種膜只有水分子可以滲透薄膜，此原理可以運用到隔離鹽巴來達到鹽水的淡化。這句話似乎又告訴我們它的大小已經超過了 1nm。所以它的大小很有可能已進入膠體的大小範圍之內了。

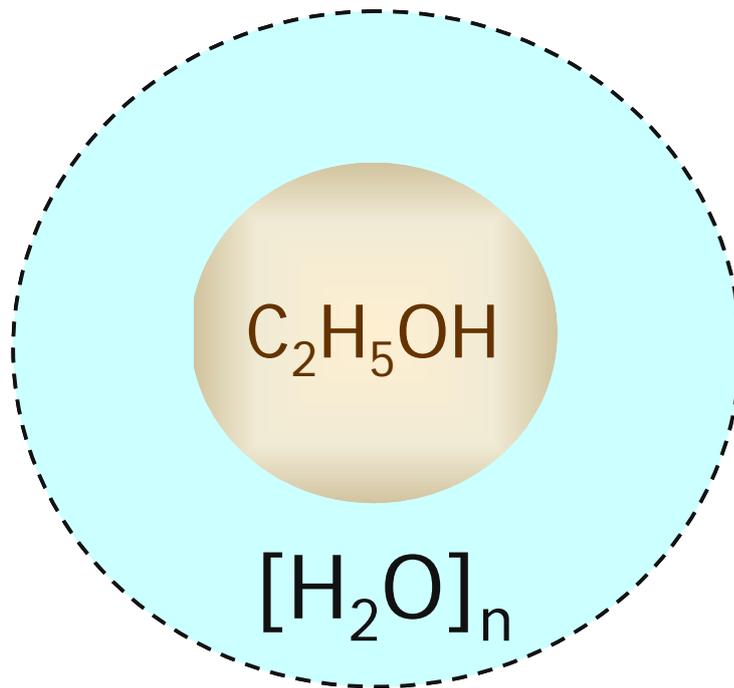
(二)”帶電”水團膠體推測示意圖：



圖十、此為假想的水團膠體以鈉離子為膠核，水的外面有一括號寫 n 表”每個”最外圍的水還接有 n 個的水向外延伸，紅鍵指最內層的水給鈉離子的配位鍵，其水團大小推測大於 1nm



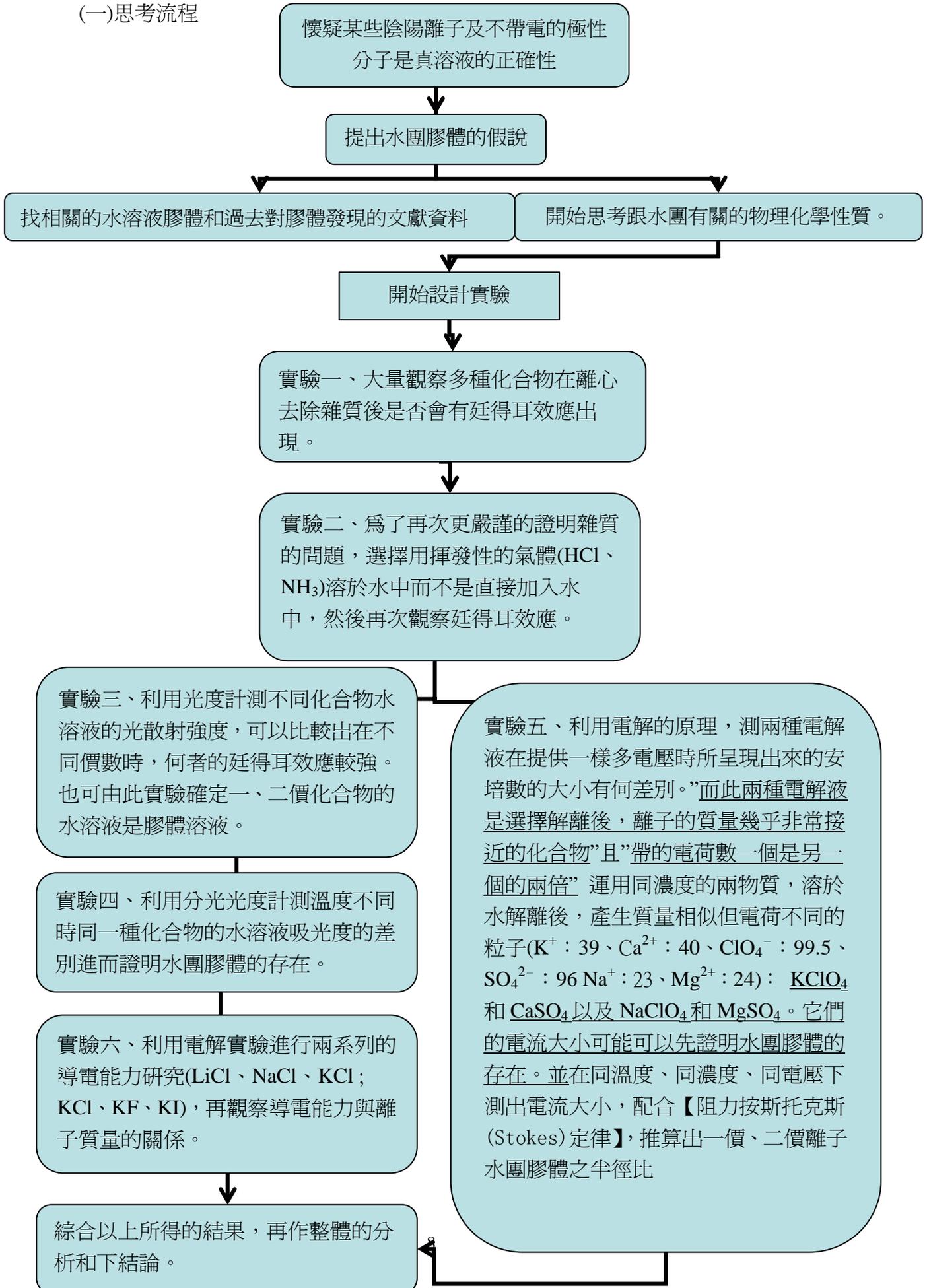
圖十一、此為假想的水團膠體以氯離子為膠核，水的外面有一括號寫 n 表”每個”最外圍的水向外延伸，其大小推測大於 1nm，紅虛線指離子對極性分子的引力



圖十二、此為假想有極性鍵但不帶電所產生的水團膠體，以酒精為例子。

三、研究思考流程及設計證明實驗

(一)思考流程



(四)研究過程

[實驗一]對一價和二價及三價的化合物觀察加入水中後是否有廷得耳效應出現

做此實驗時實驗室的环境條件:氣壓:75.8cm-Hg 氣溫:22 °C

1. 實驗設計：將十餘種離子化合物和極性分子之飽和濃度的水溶液，和酒精30%、95%溶液，經過離心 2 小時之後，於暗室和暗箱觀察廷得耳效應，再取上層澄清液裝入試管中，靜置兩天後拍照存證。
2. 實驗目的：觀察有哪些化合物，在以水當溶劑時會有廷得耳效應出現，了解廷得耳效應是否有一個普遍性，進而能幫助之後的實驗作為一個有力的證據。
3. 所有設備和裝置：



圖十三
在高速旋轉的離心機



圖十四
暗室和暗箱的擺設

4. 實驗步驟：
 - (1) 用試管刷和無廷得耳效應的蒸餾水將新試管 25 支和新橡皮塞 25 個洗過 4 到 5 遍
 - (2) 洗完後立刻都用橡皮塞蓋入試管(防塵)

(3) 逐一打開塞子分別加入待測液，配製之水溶液有：

氯化鈉	氯化鋰	氯化鉀	蔗糖	尿素
氯化鐵(III)	硫酸銅	氯化鋅	硝酸鋁	酒精 95%
酒精 30%	硫酸鈣	硫酸鎂	過氯酸鉀	過氯酸鈉

- (4) 再將這 15 支試管中配好的水溶液取 2/3 倒入另 15 支試管中，最後一支試管則倒入無廷得耳效應的蒸餾水。在加完水溶液之後，立刻加上橡皮塞。
- (5) 將這 16 支試管逐一放入離心機中做 2 次各 2 小時的離心(一次只能放八支)，此離心機每分鐘達 3000 轉。並將轉速開到最高。
- (6) 2 小時之後，從離心機中取出的試管立刻帶入暗箱和暗室中。此時雜質都以沉澱到底部，用肉眼勉強可看到極微小的雜質。
- (7) 架好架子把試管固定位置後，用氙氣雷射從試管底部往上打光，因為若從側面打光管徑太小，會有射入和射出兩點光點，影響觀察，因此從底部打光，可觀察到明顯的光束是否存在。
- (8) 兩天之後再打光用高解析度和曝光時間久的相機拍攝 16 支水溶液樣品
- (9) **附帶的實驗(以再結晶法純化試劑)**：做完上述步驟後，將氯化鋰和氯化鉀及氯化鈉放進冰箱，等大約 30 到 40 分鐘，看到底部有結晶，就將該支試管取出(但當時只有氯化鋰有看到結晶沉澱，所以只取氯化鋰)把上部的水倒掉，再加入離心過無廷得耳效應的蒸餾水，加完水後立即蓋上橡皮塞。將此一氯化鋰水溶液靜置兩天後，再拿入暗室和暗箱做廷得耳效應的檢測。



圖十五

進行冷凍的氯化鋰水溶液。

(10) 以上所有的實驗步驟都重複做了三次，都有相同的結果。

(所照出來的相片在研究結果中一併討論)

[實驗二]對揮發性且會在水中解離的氣體進行廷得耳效應的檢測

做此實驗時實驗室的環境條件:氣壓:75.6cm-Hg 氣溫:25 °C

五天後的環境條件:氣壓:75.3cm-Hg 氣溫:21 °C

1. 實驗設計：此實驗是用兩個有加蓋的乾燥箱，在乾燥箱底部各倒入 10mL 氨水和鹽酸，再將裝無廷得耳效應蒸餾水的試管固定在箱中，過了一段時間，揮發性高且易溶於水的氣體就會溶入水中，形成純的水溶液。接著再作廷得耳效應的檢測。
2. 實驗目的：爲了達到接近百分之百無雜質的水溶液(因爲藥品的純度頂多達到 99.5-99.9%)所以設計了此實驗。
3. 所有的設備和裝置：

圖十六、裝氨水的乾燥箱



圖十七、裝鹽酸的乾燥箱



4. 實驗步驟：
 - (1) 將新的乾燥箱、兩支試管及橡皮塞做徹底的清洗
 - (2) 將無廷得耳效應的蒸餾水先裝入兩支試管中，並立刻加蓋。且將這兩支試管放在乾燥箱的附近，以便立刻放入乾燥箱，達到高時效性。
 - (3) 在乾燥箱的蓋子邊緣及乾燥箱的箱緣塗上凡士林，以達到穩固接合的效果。
 - (4) 立刻分別倒入 10mL 的鹽酸和氨水到兩個乾燥箱中。倒完以後，立刻把剛剛加蓋的試管固定在箱中央，並拔起橡皮塞，接著蓋上乾燥箱的蓋子。
 - (5) 將這兩乾燥箱放入室內的櫃子中，並在五天後將該兩支試管從乾燥箱中取出，接著在暗室和暗箱中觀察該兩支試管是否呈現出廷得耳效應。

[實驗三]測量多種化合物水溶液的散射光強度(指光帶所引發的)

做此實驗時實驗室的環境條件:氣壓:75.3cm-Hg 氣溫:26.5 °C

1. 實驗設計：延續實驗一的概念，配製多種水溶液，測量它們由膠體廷得耳效影所產生光帶的散射光強度，進而推出各價數之間廷得耳效應的強弱關係。
2. 實驗目的：由光散射所引發的廷得耳效應，會產生一條光帶。而設計此實驗就是要測量到各種化合物水溶液的光散射強度，來比較出不同價數的化合物水溶液廷得耳效應有何差別，進而得知價數的高低與廷得耳效應顯著程度是

否呈現正相關。

3. 所有的設備和裝置：



圖十八、光度計與氦氣雷射槍及待測溶液

4. 實驗步驟:

(1) 同實驗一 1-5 步驟將以下的水溶液配成飽和溶液並進行離心完

氯化鈉	氯化鋰	氯化鉀	氟化鈉	氯化鋅
硫酸銅	氯化鐵(III)	硝酸鋁	酒精 95%	

(2) 將這 9 支平底試管分別套入黑色試管套中(避免雷射光透過試管底部時所產生的光點對實驗有影響)

(3) 將試管拿到暗房，在拔開試管塞後立即打開雷射光源由試管底部往上打光，迅速測量光帶的散射光強度，以達到高時效性，避免灰塵進入。而拔開試管塞的原因是為了避免光束會射到試管塞上產生一團的光，對所求得的數據會有很大的誤差。

(4) 測量時，取五個數據，第一個是測量垂直光帶角度的光強度，並將之定為中線。第二個、第三個是從中線各向左及右 30 度測量。第四個、第五個是從中線向左及向右 60 度測量。(所求得的散射光強度，會在研究結果中呈現並在討論中進行分析)

[實驗四]測量可能有水團膠體的吸收光度在溫度影響下的變化

做此實驗時實驗室的环境條件:氣壓:75.6cm-Hg 氣溫:26 °C

五天後再作實驗的环境條件:氣壓:75.7cm-Hg 氣溫:16 °C

1. 實驗設計：配製幾種水溶液，測量它們在常溫下的吸收度，以及測量他們接近 100 度的吸收度(除了過氧酸鉀和硫酸鈣只測常溫下，為了配合實驗四)，然後分析數據，證明水團膠體是否真的存在。
2. 實驗目的：運用觀察吸收度在溫度不同時是否有差異，然後證明水團膠體的存在與否。因為假設水團膠體存在，溫度不同時外圍水團的大小應該會有顯著的改變，吸收度也會有顯著的改變。

3. 所有的設備和裝置：

圖十七、本生燈



圖十八、分光光度計



4. 實驗步驟:

- (1) 同實驗一的 1-5 步驟將以下的水溶液配成飽和溶液並進行離心完

氯化鈉	硫酸銅	硫酸鈣	7M 的硝酸溶液
-----	-----	-----	----------

- (2) 將

溫度約 20°C 的溶液放入分光光度計中進行吸光度的測量(以 20°C 的水當背景樣液)

- (3) 再將同一試管中盛下約一半的溶液用試管夾夾住，在本生燈下均勻受熱。

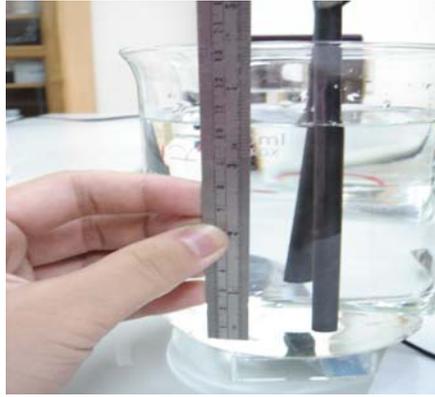
- (4) 直到接近溫度 100°C 時停止加熱，將溶液倒入樣品管中，然後放入分光光度計中測量吸收光度(此時以接近 100°C 的熱水當背景樣液)

(吸收光度的數據在研究結果中呈現)

[實驗五]以解離後離子的重量相當接近而電荷數不同的一價、二價化合物水溶液為電解液，並在同電壓下測量它們電流的大小

做此實驗時實驗室的環境條件:氣壓:75.5cm-Hg 氣溫: 21°C

1. 實驗設計：利用解離後離子的重量相當接近的 KClO_4 和 CaSO_4 以及 NaClO_4 和 MgSO_4 當作電解液並在同電壓的條件下通電，觀察它們電流大小的差異，進而證明水團膠體的存在。再利用已有的膠體公式試著求出它們的膠體半徑比及面積比。
2. 實驗目的：由此實驗所得到的電流大小差異，可作為間接證明水團膠體的證據並進而在電極長度固定下的條件，求取一價和二價水團膠體的面積比。
3. 所有的設備和裝置：



圖十九圖二十、固定兩電極間與杯底的高度及兩電極間的距離

4. 實驗步驟：

- (1) 先配好都是 0.00843M 的 KClO_4 和 CaSO_4 水溶液約 1000mL，以及 0.01M 的 NaClO_4 和 MgSO_4 1000 mL。

註：0.00843M 是根據 CaSO_4 的溶解度積(K_{sp})計算而得的

- (2) 將鱷魚夾和碳棒接好，並將另一端的夾子連接到直流電源供應器，準備做電解實驗。
- (3) 將碳棒先放入 KClO_4 電解液中並固定兩碳棒之間的寬度和各別與水面之間的高度。寬度有一個攝影機底片盒寬：7.00cm，碳棒底部與水面的距離：10.00cm
- (4) 固定好一切條件後，打開直流電源供應器，將電壓調至 5 伏特，接著紀錄電流的大小
- (5) 在測完 KClO_4 電解液的電流五次後，重複上述 2 - 4 步驟進行五次以 CaSO_4 水溶液為電解液的電流大小測量。
- (6) 重複 1-5 步驟進行另一組 NaClO_4 和 MgSO_4 的測量。
(所得的電流大小在研究結果中呈現，並在之後的討論中進行分析)

[實驗六]以電解法探討不同質量的陽離子系列和陰離子系列，導電能力大小的差異

做此實驗時實驗室的环境條件:氣壓:75.7cm-Hg 氣溫:22.5 °C

1. 實驗設計：利用電解法求得兩系列離子導電能力大小的差別
2. 實驗目的：由此實驗所得到的電流大小差異，可證明個別離子在水中的泳速是否和質量有密切關係，進而推論有關水團膠體的存在。
3. 實驗步驟：

氯化鋰 0.01M	氯化鉀 0.01M	氯化鈉 0.01M
碘化鉀 0.01M	氟化鉀 0.01M	氯化鉀 0.01M

(5) 配好表格中的溶液

(6) 按照實驗三的流程，在固定電壓下，測它們的電流，進而可以推算出它們在水中的泳速比。

伍、研究結果：

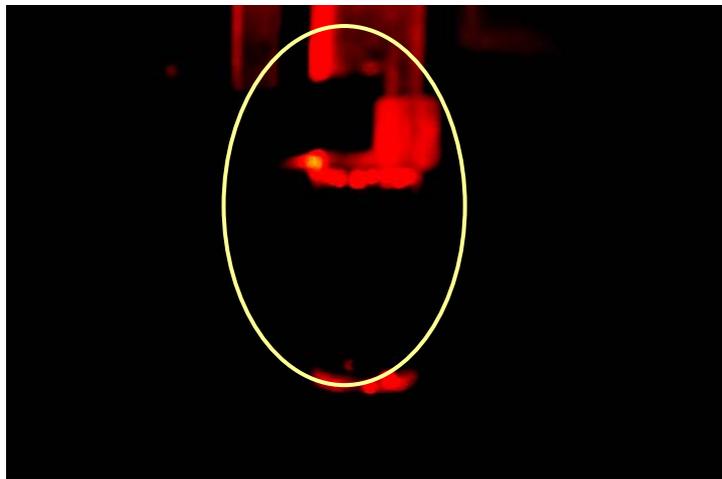
[實驗一結果]

一、在[實驗一]中，經過雜質的去除及氯化鋰的冷凍純化之後，我們打光所測量的溶液可說是相當純淨。

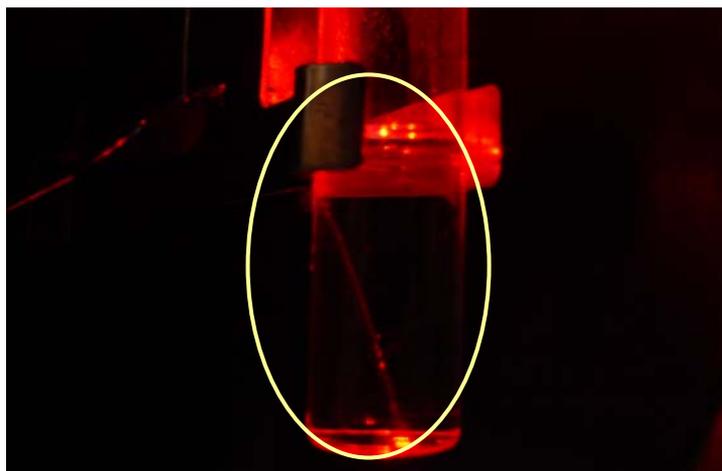
二、我們所使用的相機有可能因為長時間約兩秒曝光的原因，照片有些許晃動到的影響，所照出的光帶有可能在亮度和粗度方面跟實際有些許誤差，但並不影響這個定性實驗，因為那些許的誤差並不會改變對光帶存在與否的判斷。

三、結果呈現：

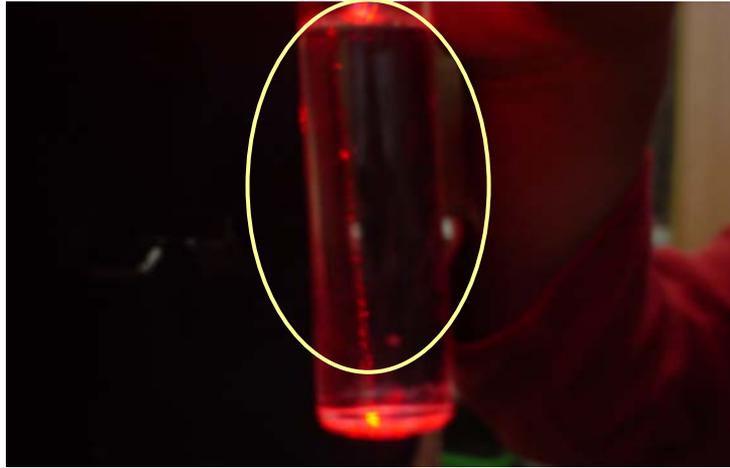
(一) 蒸餾水 (二十一)



(二) 氯化鈉 (圖二十二)



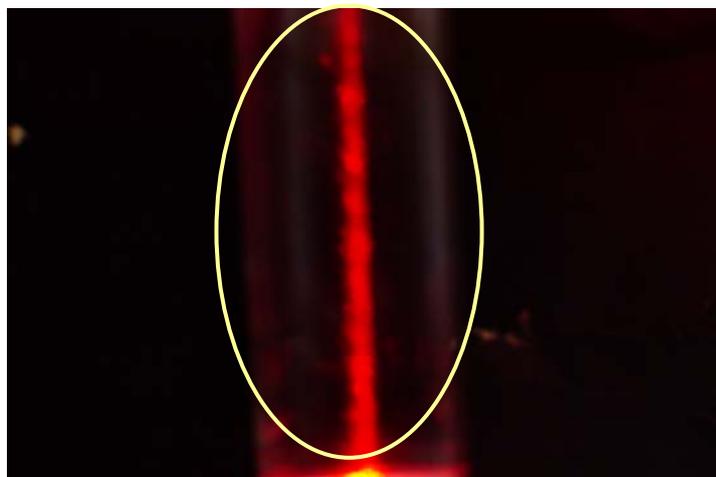
(三) 氯化鋰(冷凍後再結晶之純化處理) (圖二十三)



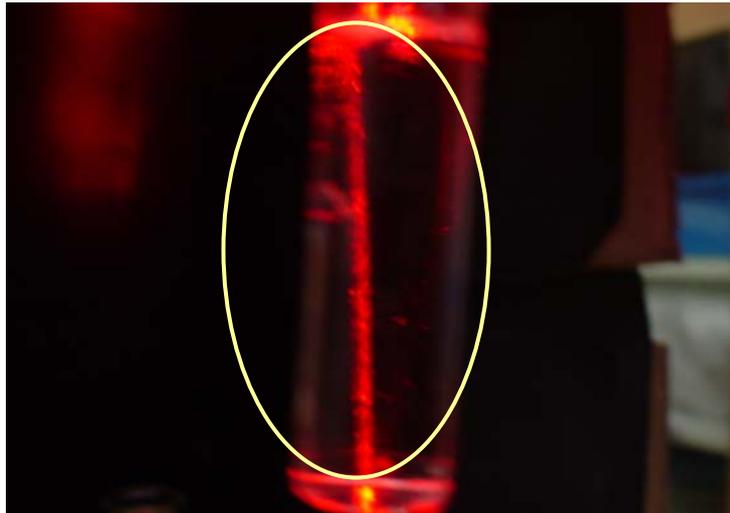
(四) 氯化鉀 (圖二十四)



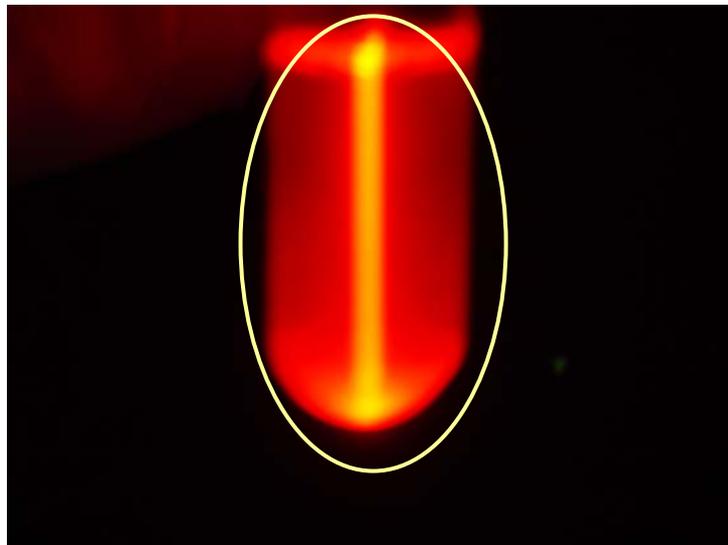
(五) 氯化鋅 (圖二十五)



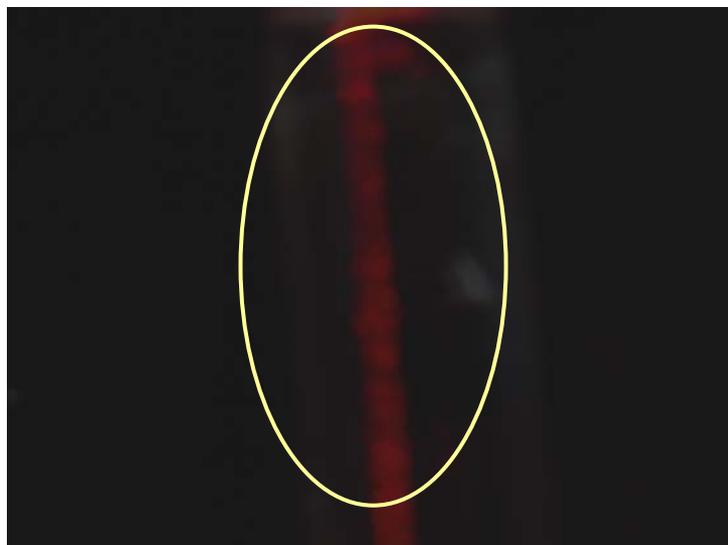
(六) 硫酸銅(圖二十六)



(七) 氯化鐵(III) (圖二十七)



(八) 硝酸鋁(圖二十八)



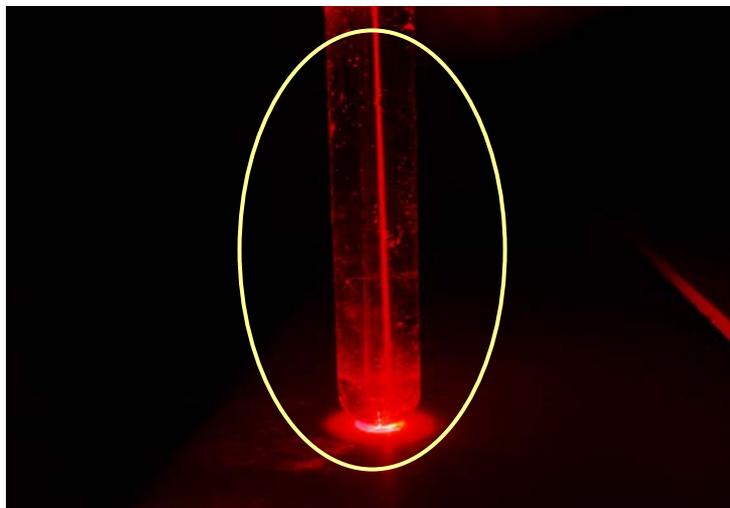
(九)酒精 95% (圖二十九)



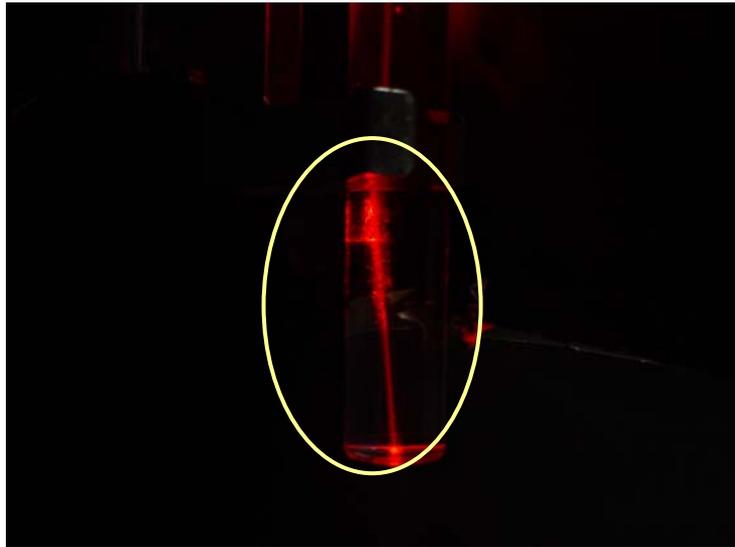
(十)酒精 30% (圖三十)



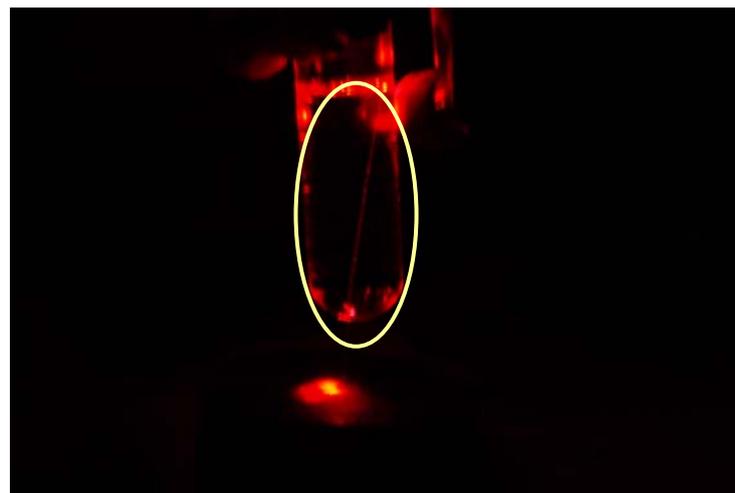
(十一)蔗糖(圖三十一)



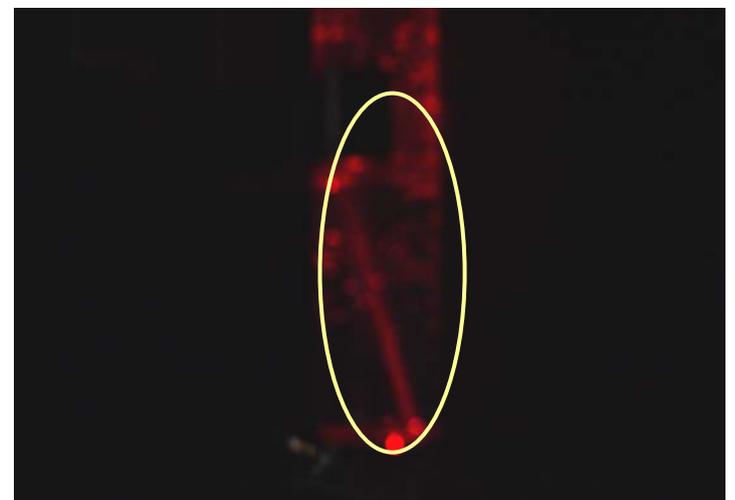
(十二) 尿素(圖三十二)



(十三) 過氯酸鈉(圖三十三)



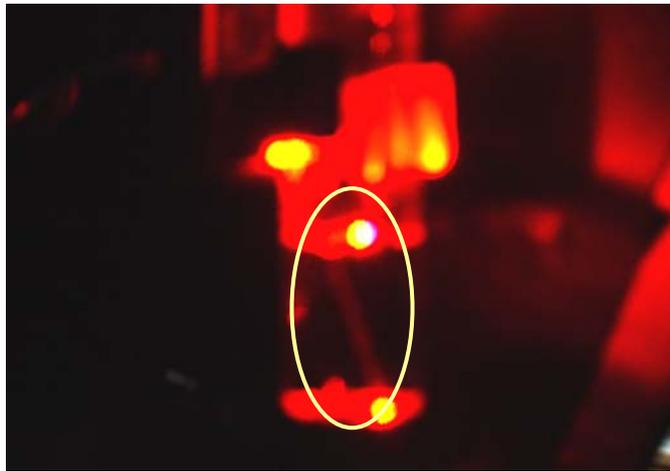
(十四) 過氯酸鉀(圖三十四)



(十五) 硫酸鈣(圖三十五)



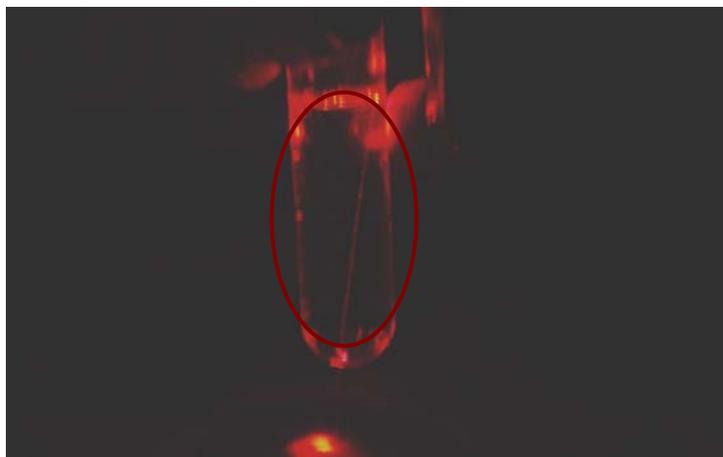
(十六) 硫酸鎂(圖三十六)



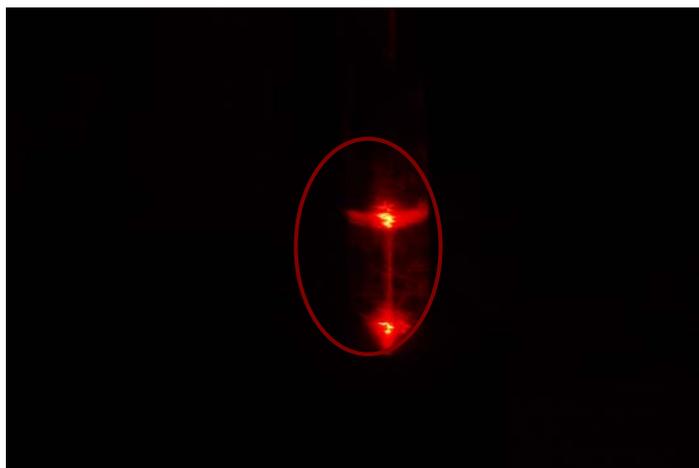
[實驗二結果]

一、結果呈現：

(一) 鹽酸(光帶較弱，但還是有)(圖三十七)



(二) 氨水 (圖三十八)



[實驗一、二結果分析]

一、從以上的結果我做出以下總歸納的表：(表一)

廷得耳效應的有無 化合物帶的價數	1.	2.	3.	4.
不帶電的化合物	蒸餾水	酒精 30%	蔗糖	尿素
	無	有	有	有
	酒精 95%			
	有			
正一價金屬陽離子	氯化鈉	氯化鋰	氯化鉀	
	有	有	有	
正二價金屬陽離子	硫酸銅	氯化鋅		
	有	有		
正三價金屬陽離子	氯化鐵	硝酸鋁		
	有	有		

二、由以上的結果，發現膠體似乎有著很明顯的普遍性，除了水以外，很多原本以為是以真溶液存在的水溶液，也在雷射光的照射之下，現出了原形。在此至少先證明了一件事，廷得耳效應的界定已在此發生了矛盾，跟高中課本或參考書籍中所寫的內容有了出入。

三、在此實驗結果下，我的假說到目前為止仍然成立，因此繼續進行[實驗三]和[實驗四]。

[實驗三結果]

一、此實驗測的是散射光的強度，由於使用的儀器沒有經過標準程序的校定，所測出的值是相對比較值，單位上使用 (A.U—abstract unit)，而非原本機器所呈現的(micro W)。

二、由於當探測筆與光帶所夾的角度不同時，會測出不同的值，所以我們採統計的觀點，在與光帶夾 0° 時，夾 $+30^\circ$ 與 -30° 時，夾 $+60^\circ$ 與 -60° 時測量，並且為

了避免每支試管底部玻璃的弧度有些許差異，所以光源也在試管底部作前後左右的移動各取多筆數據，最後再整理出每種溶液樣品的光強度平均值。

三、數據呈現:(光源固定紅光波段且將機器調成不吸收紅外光的狀態)

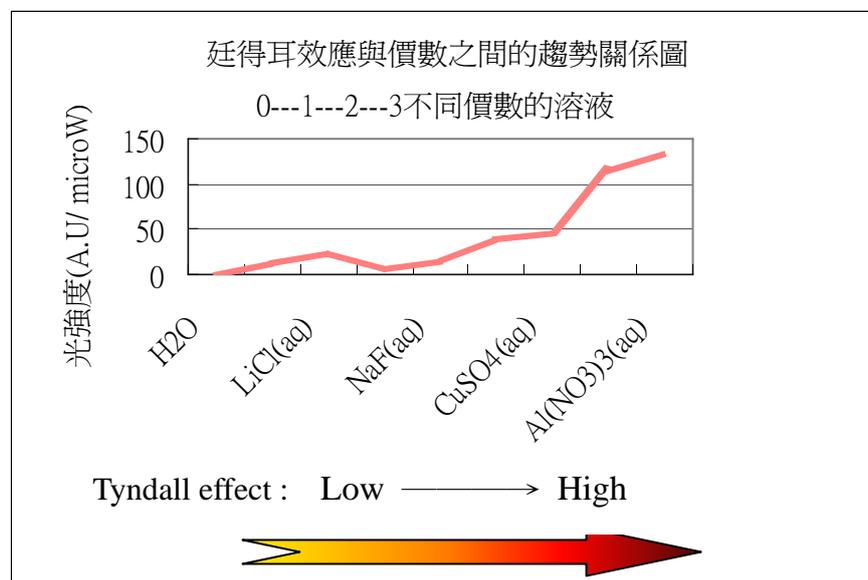
表格內的值都是同一個角度而光源位置稍作變化的四次平均值

(A.U—abstract unit)/micro W	0°	+30°	-30°	+60°	-60°	平均值
水	1.3	0.8	0.9	0.5	0.3	0.76
氯化鈉(aq)	16.0	14.7	14.8	10.7	9.9	13.2
氯化鋰(aq)	26.5	23.7	24.7	20.1	22.0	23.4
氯化鉀(aq)	8.8	7.4	6.6	3.8	5.7	6.5
氟化鈉(aq)	16.3	15.8	14.5	14.3	14.2	15.0
氯化鋅(aq)	40.4	40.1	39.0	38.9	36.8	39.0
硫酸銅(aq)	49.2	46.3	45.5	44.7	41.0	45.3
氯化鐵(III) (aq)	136.2	125.7	107.1	104.1	100.0	114.6
硝酸鋁(aq)	155.7	153.2	136.0	108	120.3	134.6
酒精 95%	8.9	8.0	8.0	7.6	7.5	8.0

[實驗三結果分析]

- 一、從此實驗可以發現水幾乎是沒有散射光的，它是一種非常均勻的介質。故水不會產生一條光帶也不符合膠體的廷得耳效應。
- 二、由實驗一中，我們不但真的看到一價、二價水溶液是有光帶的，也由此實驗中得知他們的散射光強度是與水這種真溶液有一段差距的。
- 三、我們將一價、二價、三價化合物水溶液的散射光強度拿來比較，可以發現價數越高，它的光帶越亮，也就是廷得耳效應越顯著。

我可以得到以下的關係表:

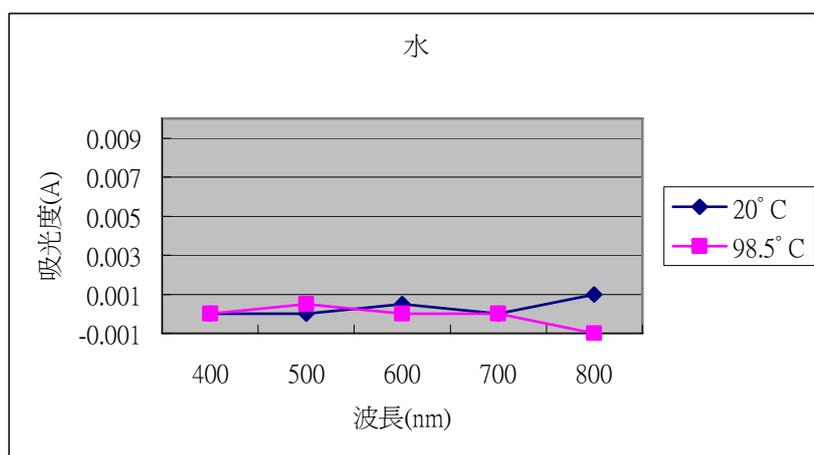


四、而散射光越強，代表粒子的面積相對較大，所以我們可以推知越高價數的水溶液膠體，它的粒徑是較大的。

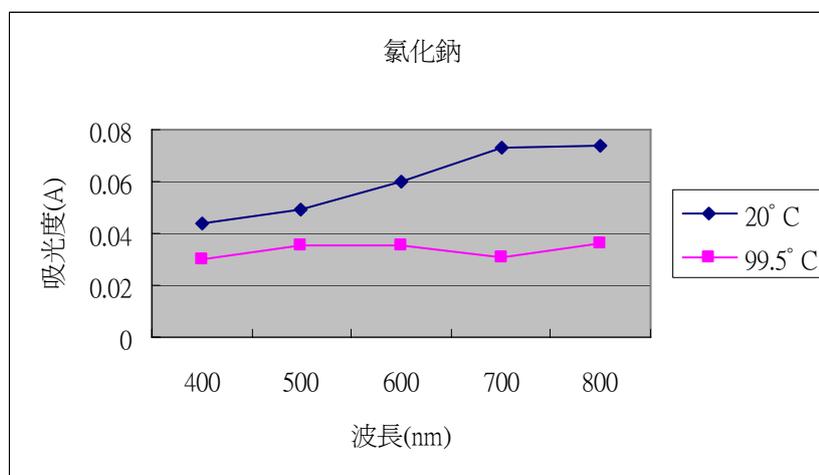
[實驗四結果]

- 一、這個實驗，是從熱學的觀點來著手。在原有的背景知識中我們都曉得在溫度升高時，粒子會加速震動，若粒子與粒子之間的引力無法承受這個震動，就會趨向於脫離，但要脫離這種震動，只有較弱的引力才會脫離，所以猜想在溫度升高時，水團膠體的水團會逐漸縮小，使得它的吸收光度會下降。
- 二、在此實驗中並不探討不同種物質之間在不同溫度下的吸收光度變化，因為每杯水溶液都有各自的飽和濃度，所以並不能拿來相比。此處是針對同一支試管中的水溶液在不同溫度的變化，首先我們先觀察水在 20°C 時和 98°C 的變化，然後再繼續進行觀察其他水溶液。
- 三、數據呈現：(以下的數據都是以扣掉當時背景樣液的吸光度，所分析的範圍都是從 $400\text{--}800\text{nm}$ 光波長)

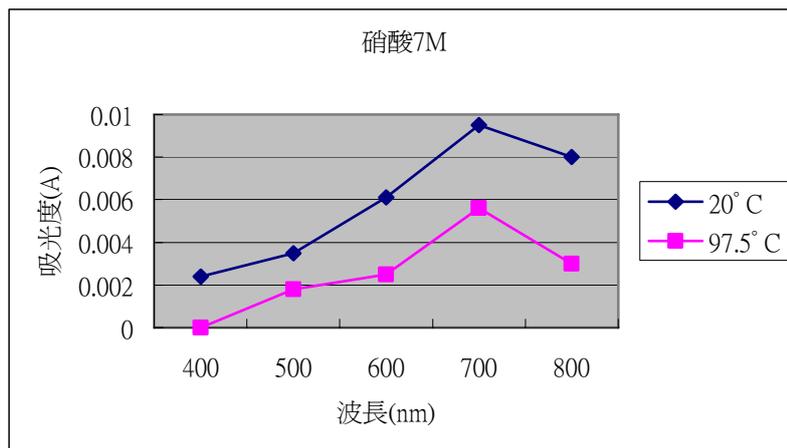
(一) 水 20°C 和 98.5°C 的吸收光度(圖三十九)



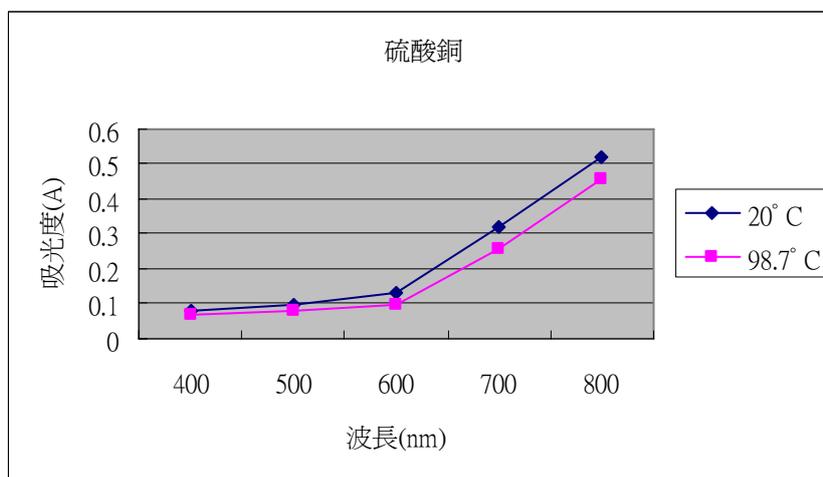
(二) NaCl 20°C 和 99.5°C 的吸收光度 (圖四十)



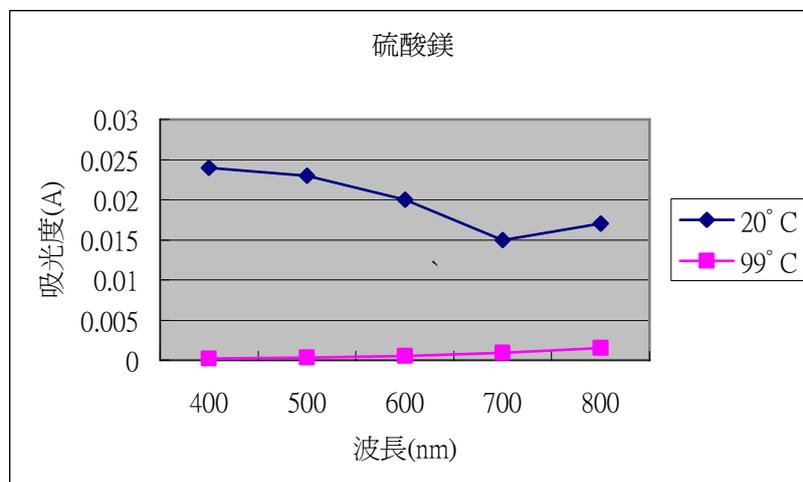
(三) HNO_3 20°C 和 97.5°C 的吸收光度 (圖四十一)



(四) CuSO_4 20°C 和 98.7°C 的吸收光度(圖四十二)



(五) MgSO_4 20°C 和 99°C 的吸收光度(圖四十三)



[實驗四結果分析]

- 一、從此實驗所得到的圖形，只有水在溫度變化下，圖形幾乎沒改變。
- 二、其餘的飽和水溶液在溫度升高時，吸收度幾乎都明顯的下降，而這些圖形下降變化的原因，應該可以排除離子和最內層水分子的配位共價鍵，因為他們是強鍵，溫度升高時並不會破壞其鍵結，因此其吸收度應該不會不改變，那造成它變的原因似乎就只有水團大小改變的理由了。
- 三、除了我們可以從這些圖形的變化下，了解到應該有水團的存在外，以下試圖找出一價和二價水團之間大小的比例和關係，接著在下一個實驗中我們就會來探討這方面的資料。

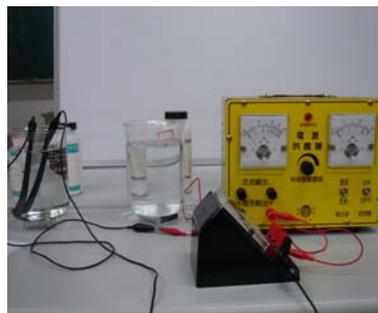
[實驗五結果]

- 一、在實驗四中，我們要探討的是能否從電解實驗中，得到一些有關水團膠體的端倪。並利用已有科學家發現的膠體關係式試著推算看看，是否也能推算出一價和二價離子水團膠體大小的比例。在實驗四中，固定兩電極的寬度、距水面高度、以及電壓，只有電解液改變當作操縱變因，來測量它們電流的大小。
- 二、結果呈現：

圖四十四、固定電壓



圖四十五、裝置



(一) 以 KClO_4 為電解液：測得的平均電流為 41.5mA ，電壓固定 5V (表二)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	41.0	40.5	41.3	41.8	42.6

(二) 以 CaSO_4 為電解液：測得的平均電流 45.5mA ，電壓固定 5V (表三)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	45.2	44.6	46.9	44.8	46.2

(三) 以 NaClO_4 為電解液：測得的平均電流為 28.6mA ，電壓固定 5V (表四)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	29.0	28.0	28.5	28.5	29.0

(四) 以 $MgSO_4$ 為電解液：測得的平均電流 41.8mA，電壓固定 5V(表五)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	42.0	42.0	41.5	42.0	41.5

[實驗五結果分析]

一、由此實驗中，我們發現了在所有條件固定下，包括濃度相同以及兩種電解液在解離後離子的質量相當接近(K^+ ：39、 Ca^{2+} ：40、 ClO_4^- ：99.5、 SO_4^{2-} ：96; Na^+ ：23、 Mg^{2+} ：24、 ClO_4^- ：99.5、 SO_4^{2-} ：96)，所改變的操縱變因是價數，也就是電荷數的差別，其中之一的價數是另一的兩倍，但電流呢？也是兩倍嗎？測出來的電流並非兩倍，這頗出乎意料。很明顯的二價離子的離子團似乎很大。再從泳速的觀點來看，利用 $I = u \times \Delta A \times C$ 推導出他們的泳速比：

$$u_{K^+ClO_4^-} : u_{Ca^{2+}SO_4^{2-}} = \frac{41.5 / 1}{45.5 / 2} = 1.82 : 1 \approx 2 : 1$$

$$u_{Na^+ClO_4^-} : u_{Mg^{2+}SO_4^{2-}} = \frac{28.6 / 1}{41.8 / 2} = 1.36 : 1 \approx 3 : 2$$

很明顯的二價離子帶的電荷數較多，且此時我所測的離子，個別質量都很接近，照理說引力是一價的兩倍，速度也會比一價離子快很多，但事實並非如此，反倒是一價的離子泳速較快，很明顯地可以聯想到離子外面還包附有東西，而影響這結果的應該只有一個原因，那就是水團。而且從此數據看來，帶電荷數越大的離子它外面所包的水團一定比帶電荷數小的離子大。除此之外，這數據還告訴我們另一件事，那就是如果我們把這兩組數據交叉比較，過氯酸鉀和過氯酸鈉比；硫酸鎂和硫酸鈣比，又可發現鉀離子的泳速比鈉離子快，鈣離子的泳速比鎂離子快。離子質量越重的反而越快，這項結果又可以告訴我們它們絕不是以單純的離子型態在水中遷移，一定有其他的原因使它們遷移速度不合乎基本的概念，我想那原因就是--外面的水團在作祟，而且水團大小有差距，對實驗結果造成很大的影響。

二、利用科學家推算出的圓形膠粒的阻力關係式，由此關係式可以找到半徑的比例，若真的有水團膠體，何不藉此公式算算看一價和二價水團膠體半徑的比例和面積比例呢！

由文獻探討以提到的公式帶進來：

$$I = u \times A \times C \quad (5)$$

$$\Rightarrow u = \frac{I}{A \cdot C}$$

$$F_1 = qw \quad (6) \quad F_2 = 6\pi \eta ru \quad (7) \quad qw = 6\pi \eta ru \quad (8)$$

再將電流和價數的關係代入，計算其比例。得以下結果：

1. F_1' F_2' 指的是一價 (KClO_4) 和二價 (CaSO_4) 所受到的靜電力，又 $\Rightarrow F_2' = 2F_1'$

$$\Rightarrow \frac{2F_1'}{F_1'} = \frac{r_2' u_2'}{r_1' u_1'} = \frac{r_2'}{r_1'} \times \frac{45.5}{2} \Big/ \frac{41.5}{1} = 2$$

$$\Rightarrow \frac{r_2'}{r_1'} = \frac{166}{45.5} = 3.65$$

2. F_1'' F_2'' 指的是一價 (NaClO_4) 和二價 (MgSO_4) 所受到的靜電力，又

$$\Rightarrow F_2'' = 2F_1''$$

$$\Rightarrow \frac{2F_1''}{F_1''} = \frac{r_2'' u_2''}{r_1'' u_1''} = \frac{r_2''}{r_1''} \times \frac{41.8}{2} \Big/ \frac{28.6}{1} = 2$$

$$\Rightarrow \frac{r_2''}{r_1''} = \frac{114.4}{41.8} = 2.74$$

3. 從以上的推算就可以把我們對水團膠體大小的認定，以數據化明確說出他們的比例，且此一比例似乎隨著不同種類的一價和二價離子而有所差異，但可以肯定的是，越高價數的離子，外面所包附的水團越大。

[實驗六結果]

一、這項實驗是比較兩系列同價數但不同種類離子之間的導電能力，也就是離子的泳速比。在提供一樣的電壓，及一樣的濃度時它們的導電能力是如何呢？

二、結果呈現：

{第一系列}相同陰離子與不同陽離子構成的離子化合物

(一) 氯化鋰 0.01M: 固定電壓五伏特，測得的平均電流 29.08mA (表七)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	29.2	28.5	29.0	29.7	29.0

(二) 氯化鈉 0.01M:固定電壓五伏特，測得的平均電流 36.8 mA(表八)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	35.1	37.2	37.5	37.8	36.4

(三) 氯化鉀 0.01M:固定電壓五伏特，測得的平均電流 47.1mA(表九)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	48.5	48.0	46.5	46.0	46.5

{第二系列}相同陽離子與不同陰離子構成的離子化合物

(四) 氟化鉀 0.01M:固定電壓五伏特，測得的平均電流 30.7mA(表十)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	30.5	31.0	30.0	31.0	31.0

(五) 氯化鉀 0.01M:固定電壓五伏特，測得的平均電流 47.1mA(表十一)

電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	48.5	48.0	46.5	46.0	46.5

(六) 碘化鉀 0.01M:固定電壓五伏特，測得的平均電流 42.4mA(表十二)

(七) 電壓 5 伏特	第 1 次	第二次	第三次	第四次	第五次
電流 (mA)	41.0	42.0	41.5	43.0	44.5

[實驗六結果分析]

一、 第一系列離子之間的泳速比：

$$u_{Li^+} : u_{Na^+} : u_{K^+} = 5 : 6 : 8 (\text{取最簡整數比})$$

二、 第二系列離子之間的泳速比：

$$u_{F^-} : u_{Cl^-} : u_{I^-} = 5 : 8 : 7 (\text{取最簡整數比})$$

三、 從這兩系列的實驗，發現離子的質量似乎與它的泳速沒有絕對的關係，質量大的竟然也可游的比質量小的快。推論一定有另外的原因，促使質量小的離子反倒受的阻力較大。而這原因似乎就只有一個可能，那就是外面包附的水分子非常的多導致它們所受的阻力成爲它們移動變慢的主因。而這一現象與過去科學家曾提出溶劑化的現象，不謀而合。而且水團膠體的想法或許也能將“溶劑化”解釋的更清楚。

陸、討論：

- 一、從以上五個實驗所得到的結果，觀念似乎能串聯起來。首先是第一個實驗觀察到除了純水以外，其餘的陰陽離子與極性化合物配製的溶液，都能呈現出廷得耳效應，而這種現象與教科書所謂廷得耳效應是膠態溶液的特性，而真溶液皆無廷得耳效應有著不同的結果。接著在實驗二藉著揮發性氣體溶於水以加強水溶液的純度，雜質的量可說是降到更低，但在通入雷射光以後，依舊出現了光帶。而這些光帶的亮度與寬度似乎與它們的電荷數有著明顯的關係，從圖片中可歸納出，一價的離子水溶液測出來最細也最暗，較明顯的為二價離子水溶液，而三價水溶液所呈現的就最寬與最亮了。整理出來的結果呈現光帶的亮度與寬度與粒子核心的大小有很顯著的關係，因為粒子越大它的散射率就越高，進到人眼的入射光就越亮。而我作了幾種不帶電但有極性的化合物，它們也都有廷得耳效應出現，所以我想膠體不用帶電這件事，也都反映在這些化合物上了，它們只要能夠懸浮在水中，而不沉澱，且粒子大小超過 1nm，它們都有機會稱得上是膠體。
- 二、延續著實驗一的概念，在實驗三中實際測得了各種化合物水溶液光帶的散射光強度，並且確定一、二價的離子水溶液確實具備廷得耳效應的特性，並且發現廷得耳效應的顯著性與價數成正相關。除此之外，也可確實推知價數越高的離子溶液，粒徑應該越大。這結論也可與實驗五互相呼應。
- 三、接著在實驗四，所呈現出來的結果繼續支持著此架構的假說，在溫度升高時，一價和二價的離子水溶液，吸收光度比常溫時小了许多，明顯的變化就與我所推論水團會明顯變小的想法完全符合，這樣得到的一個結果與實驗一和實驗三的結果似乎有著密不可分的关系。
- 四、接著在實驗五中，由電流大小的比較，可以分析出以下的結果，帶電荷數越大的離子它外面所包的水團比帶電荷數小的離子大。因為二價離子帶的電荷數多，照理說泳速應該較快，但測出的結果卻是較慢，以此來看水團的存在獲得證實，且其影響力絕對不小。再者又可由同價數的比較，發現離子越重的反而泳速越大，造成這原因的解釋似乎只有一個，那就是輕的離子它外面所包附的水團大到足以讓結果與預期相反。如果說離子在水中真的是以水團膠體的形式存在，那二價水團膠體到底比一價大多少呢？後來在一份中國科學家的實驗論文上，看到已有科學家推算出有關圓形膠體半徑、速度和阻力的關係式，於是試著藉此公式推出一價和二價離子水團膠體的半徑比例。果真在實驗四的測定中，都有所需要的資料數據，於是代入公式並解出了二價離子水團的半徑是一價離子水團的數倍。這也與實驗三所觀察到的現象互相呼應。
- 五、除了實驗三、四的直接證據外，加上實驗六所得到的結果更是令人不得不相信水團膠體的存在。由實驗六中，發現離子的泳速和離子的質量沒有什麼直接關係，甚至質量相差 7 倍時，質量大者仍較快(I^- ：127; F^- ：19)這代表著有另一因素操縱它們在水中的阻力大小，而這唯一的解釋，就是外面包附的水分子數非常多，且各種離子包附的水分子數量也不一樣，造成他們所受的阻力並不相等。這一現象，也足以解釋過去科學

家所提出的”溶劑化”影響因素。因此從直接的證據和間接的證據都訴說著水團膠體的存在。

柒、結論：

一、從以上的所有實驗結果和舊有的概念，我們可得到三點結論：

1.以旭本 RO 逆滲透公司所提供的資料，從逆滲透膜的特性和觀點來看，溶解性離子的大小根本就超過了 1nm，此大小已經進入了膠體範圍。再加上實驗結果，可以得到第一點結論--膠體普遍存在，反倒是真溶液要有更嚴謹的定義。

2.水溶液膠體，除了電雙層的理論外，我們已經證明還有陰陽離子及有極性不帶電的化合物水溶液都是膠體，它們可以稱作水團膠體。且水團膠體的大小，會跟著它所帶的電荷量呈正相關。也就是它是幾價的離子會影響它的膠體大小。除了一價和二價離子外，+3 價的化合物它所具有的膠體應該也有一部分是這種水團膠體。我認為水團膠體可以將它分為帶電和不帶電兩種。

3.高中課本中所提到的真溶液無廷得耳效應是不對的，真溶液可能絕大多數是膠體，我們推估「真正的真溶液」是不帶電且非極性或低極性難溶於水的「稀薄溶液」，如 O_2/H_2O 、 CH_4/H_2O 、 CO/H_2O 、 H_2/H_2O 、 He/H_2O 、 NO/H_2O

捌、參考資料及其他：

1. <高中國文、英文、物理、化學四科疑難問題解答彙編-翁春和教授，葉名昌教授解答>
2. 高等學校工程專科教材—物理化學 廖雨郊主編 蔡福安編 高等教育出版社
3. <化學> 作者:Steven S. Zumdahl 出版公司:新文京開發股份有限公司
4. 網路資料關鍵字:電泳 搜尋資料:實驗二十四、電泳[簡]
www2.zzu.edu.cn/hxx/xxkd/jpkc/wlhx/xy/jb/24.doc
5. 中國大百科智慧藏
<http://wordpedia.pidc.org.tw/Default.htm>
6. 網路資料關鍵字:逆滲透 搜尋資料:滲透原理-健康安全飲用水，何為 RO 逆滲透
提供來源: 旭本實業有限公司 <http://www.ppw.com.tw/reverse.htm>
7. 中國高等學校教材—普通化學(第三版) 浙江大學普通化學教研組編

評 語

040217 少年廷得耳的煩惱……真溶液的廷得耳效應

本件作品在探討膠體溶液和真溶液的性質。作者藉著廷得耳效應逐一地檢視了五種現象，最後歸納形成了一個創新的結論：幾乎所有的離子和極性物質水溶液都是膠體，亦即真溶液可能是膠體。由於作者的實驗研究過程嚴謹，逐一地展開各項變因的實驗，且形成了創新的結論。就方法與成果而言，是一件優良的作品。

作者的研究記錄簿詳細的登載了整個研究日誌，有目錄也有實驗記錄簿，詳細地登錄每一次實驗的日期、目的與方法、結果。這個良好的習慣值得鼓勵。