

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

佳作

040202

挑戰電中性原理～「帶電溶液」的研究

學校名稱： 國立彰化高級中學

作者： 高二 范剛璋 高二 王政 高二 謝曜謙 高二 周益田	指導老師： 李嘉輝 黃文吟
--	---------------------

關鍵詞：水合電子、靜電電解、Van de Graff 起電器

壹、摘要

利用范氏起電器將靜電導入蒸餾水、甘油、苯、環己烷、乙醇、正丙醇、正戊醇、 $\text{HCl}_{(aq)}$ 、 $\text{NaCl}_{(aq)}$ 、 $\text{CuSO4}_{(aq)}$ ……等不同溶液中。我們發現，非電解質溶液可以藉由極性分子的媒合作用“貯存”電子，而其中 H_2O 效果最好，即水合電子是可以穩定存在的！但在水中若添加 HCl 、 NaCl 等電解質將會提高溶液導電性，以致於無貯存電子的效果。我們也發現苯雖不是極性分子，但因具有 π 共振系統，也能有效貯存電子。

貳、研究動機

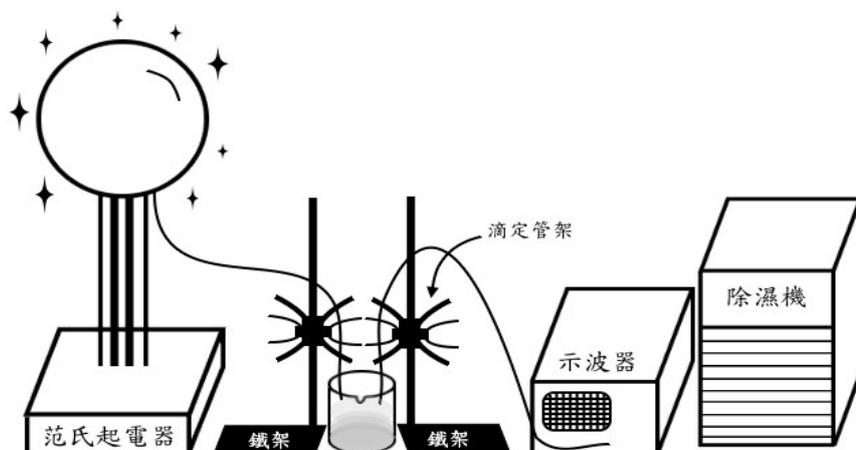
我們從化學課堂上得知，凡溶液皆為電中性的，但我們對其提出了質疑，想要挑戰溶液必定電中性的原理，製造一種帶電的溶液。在參考多本實驗書籍，又和老師討論後，著手帶電溶液的製備，看看是否可以找到方法能讓靜電產生的電子可以穩定存在溶液中。

參、研究目的

- 一、將靜電導入不同溶劑，並測定溶液的帶電情形。
- 二、探討不同靜電的導入方式對不互溶二溶劑系統的帶電影響。
- 三、利用靜電移除裝置測量靜電導入不同溶劑所能維持的時間。

肆、研究設備及器材

器 材		藥 品	
Van de Graff 起電器	1 台	苯	10ml
示波器	1 台	環己烷	20ml
除濕機	1 台	蒸餾水	25ml
吹風機	1 支	甘油	20ml
燒杯	3 個	異丙醇	15ml
定量滴管	1 支	靜電移除裝置	1 只
白金絲	1 條	導線	5 條



實驗裝置示意圖(位於通風櫥內)

伍、研究過程及方法

一、前置作業：在通風櫥內以除溼機運轉 15 分鐘，將實驗環境達到適濕狀態，使 Van de Graff 起電器達到最大輸出效能。

二、主題實驗：

(一)將靜電導入不同溶劑，並測定溶液的帶電情形

- 1.取蒸餾水 15ml，置於 50ml 燒杯中。
- 2.從 Van de Graff 起電器接出一條導線，以白金絲為電極接觸液面並固定於滴定夾上，以方便調整電極和溶液的接觸情況。
- 3.開啓示波器，將銅線接於探針上後亦固定於另一滴定夾上，使示波器可以擷取液面上電壓的變化情形。
- 4.將探針移至液面上方及下方 5mm 處，測量其電位〔對照組〕。
- 5.開啓 Van de Graff 起電器並觀察示波器的變化並加以記錄〔實驗組〕。
- 6.取甘油、環己烷、苯為待測液，重複步驟 1~6，並記錄。

(二)探討不同靜電的導入方式對不互溶二溶劑系統的帶電影響

- 1.取蒸餾水 15ml 置入燒杯，加入 10ml 環己烷。
- 2.設置好起電器及示波器，並分別將探針及電極做下列擺放：

探針 電極	遠離	液面上	環己烷中	蒸餾水中
遠離			實驗 1A	實驗 2A
液面上		實驗 6	實驗 3A	實驗 4A
環己烷中	實驗 1B	實驗 3B	實驗 7	實驗 5A
蒸餾水中	實驗 2B	實驗 4B	實驗 5B	實驗 8

- 3.開啓 Van de Graff 起電器。
- 4.同時觀察各溶液現象以及示波器訊號，並記錄。

(三)測量出靜電導入不同溶劑在靜電移除裝置下所能維持的時間

- 1.取蒸餾水 40ml，置於 100ml 燒杯中。
- 2.從 Van de Graff 起電器接出一條導線，以白金絲為電極接觸液面並固定於滴定夾上，以方便調整電極和溶液的接觸情況。
- 3.分別將靜電導入 15、30、45、60、75、90 秒，完成後取出電極，使用靜電移除裝置測量其靜電在液面上存在的時間。
- 4.取甘油、環己烷、苯、乙醇、正丙醇、正戊醇為待測液，重複步驟 1~6，並記錄。

陸、研究結果

一、將靜電導入不同溶劑，並測定溶液的帶電情形

(一)實驗數據 (1):

【表一】靜電導入後不同溶液表面上之電位(V)

組別 溶液	對照組*	實驗組
蒸餾水	0	40.0
甘油	0	8.0
環己烷	0	1.0
苯	0	6.5

實驗數據 (2):

【表二】靜電導入後不同溶液表面下之電位(V)

組別 溶液	對照組*	實驗組
蒸餾水	0	35.0
甘油	0	4.0
環己烷	0	1.5
苯	0	6.0

*對照組：不經靜電電解而直接以示波器測其電壓之組別

(二)數據分析 (1):

以極性的有無作區別，則其中極性溶液之電位較大。而其中水之電位尤高於其他溶液。

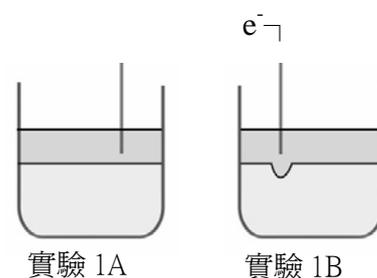
數據分析 (2):

以極性的有無作區別，除了苯溶液之外，大體上而言極性溶液液面下的電位仍然比非極性溶液來的高，這其中又以水為最高。

二、探討不同靜電的導入方式對不互溶二溶劑系統的帶電影響

(一)實驗現象:

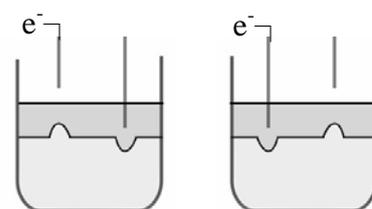
- 1.<實驗 1A>：電極遠離、示波器的探針在環己烷中皆無現象發生
- 2.<實驗 1B>：電極在環己烷中、探針遠離電極下方的環己烷—水界面向下凹
- 3.<實驗 2A>：電極遠離、探針在蒸餾水中無現象發生
- 4.<實驗 2B>：電極在蒸餾水中、探針遠離無現象發生



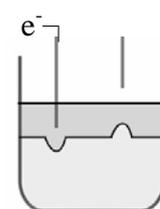
註：

- 1.上層為環己烷
- 2.下層為蒸餾水
- 3.導入靜電電極置於溶液左側
- 4.示波器探針置於溶液右側

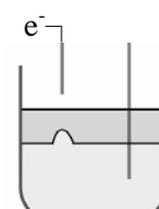
- 5.<實驗 3A>：電極在液面上、探針在環己烷中
電極下方的環己烷—水界面向上凸
探針下方的環己烷—水界面向下凹
- 6.<實驗 3B>：電極在環己烷中、探針在液面上
電極下方的環己烷—水界面向下凹
探針下方的環己烷—水界面向上凸
- 7.<實驗 4A>：電極在液面上、探針在蒸餾水中
電極下方的環己烷—水界面向上凸
探針處無現象
- 8.<實驗 4B>：電極在蒸餾水中、探針在液面上
電極處無現象
探針下方的環己烷—水界面向上凸
- 9.<實驗 5A>：電極在環己烷中、探針在蒸餾水中
電極下方的環己烷—水界面向下凹
探針處無現象
- 10.<實驗 5B>：電極在蒸餾水中、探針在環己烷中
電極處無現象
探針下方的環己烷—水界面向下凹
- 11.<實驗 6>：電極在液面上、探針在液面上
皆無現象發生
- 12.<實驗 7>：電極在環己烷中、探針在環己烷中
電極下方的環己烷—水界面向下凹
探針下方的環己烷—水界面向下凹
- 13.<實驗 8>：電極在蒸餾水中、探針在蒸餾水中
皆無現象發生



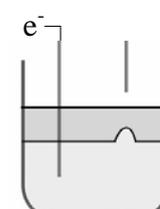
實驗 3A



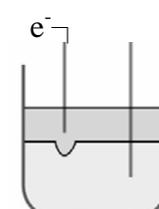
實驗 3B



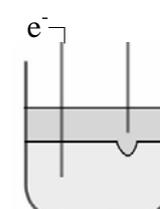
實驗 4A



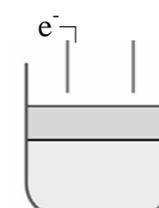
實驗 4B



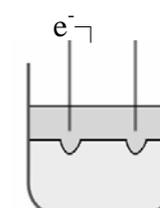
實驗 5A



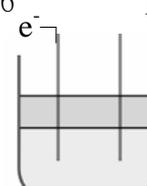
實驗 5B



實驗 6



實驗 7



實驗 8

(二)實驗歸納

1.單極(探針或電極)時：

- (1)探針不管置於何處，皆不會有現象發生
- (2)電極置於環己烷中，下方的環己烷—水界面向下凹
置於液面上或蒸餾水中則無反應

2.雙極(探針和電極)時：

電極和探針的效應相同(與”身份”無關)，只和擺放位置有關

- (1)若置於液面上，則其下方的環己烷—水界面向上凸
- (2)若置於環己烷中，則其下方的環己烷—水界面向下凹
- (3)若置於蒸餾水中，則無現象發生

三、測量出靜電導入不同溶劑在靜電移除裝置下所能維持的時間

(一)實驗數據 (1)：

【表三】蒸餾水中靜電導入時間及留存時間關係

導入時間(s)	留存時間(s)			平均
	1	2	3	
15	9.31	8.87	9.79	9.32
30	10.78	10.75	10.53	10.67
45	13.06	11.53	12.04	12.21
60	11.63	12.43	12.72	12.26
75	13.03	12.62	11.44	12.36
90	10.88	10.19	11.28	10.78

實驗數據 (2)：

【表四】甘油中靜電導入時間及留存時間關係

導入時間(s)	留存時間(s)			平均
	1	2	3	
15	7.09	6.88	7.03	7.00
30	7.37	6.72	6.84	6.98
45	6.57	5.65	8.19	6.80
60	4.49	4.58	6.60	5.21
75	5.59	6.47	6.81	6.29
90	5.66	7.16	7.21	6.68

實驗數據 (3)：

【表五】苯中靜電導入時間及留存時間關係

導入時間(s)	留存時間(s)			平均
	1	2	3	
15	10.71	10.72	10.10	10.51
30	7.69	12.22	13.59	11.17
45	13.50	12.47	12.47	12.81
60	12.47	13.00	11.69	12.39
75	13.94	11.97	13.06	12.99
90	12.63	11.13	11.72	11.83

實驗數據 (4):

【表六】環己烷中靜電導入時間及留存時間關係

導入時間(s)	留存時間(s)			平均
	1	2	3	
15	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	0.00	0.00	0.00
75	0.00	0.00	0.00	0.00
90	0.00	0.00	0.00	0.00

實驗數據 (5):

【表七】乙醇中靜電導入時間及留存時間關係

導入時間(s)	留存時間(s)			平均
	1	2	3	
15	9.65	10.00	9.10	9.58
30	11.22	9.87	11.03	10.71
45	11.47	11.87	11.44	11.59
60	9.10	11.12	11.37	10.53
75	13.00	11.44	10.87	11.77
90	10.72	11.62	10.57	10.97

實驗數據 (6):

【表八】正丙醇中靜電導入時間及留存時間關係

導入時間(s)	留存時間(s)			平均
	1	2	3	
15	6.87	7.56	7.00	7.14
30	7.25	7.38	6.62	7.08
45	6.28	6.03	6.65	6.32
60	7.53	7.22	7.56	7.44
75	8.72	8.19	8.18	8.36
90	10.63	11.16	8.69	10.16

實驗數據 (7):

【表九】正戊醇中靜電導入時間及留存時間關係

導入時間(s)	留存時間(s)			平均
	1	2	3	
15	5.66	5.81	5.75	5.74
30	6.93	7.81	6.91	7.22
45	6.60	6.53	6.50	6.54
60	5.16	7.16	5.53	5.95
75	7.59	6.25	7.53	7.12
90	4.38	5.97	6.19	5.51



【照片一】實驗 4A 實景



【照片二】實驗 7A 實景



【照片三】實驗 5A 實景



【照片四】靜電移除裝置近照

柒、討論

一、將靜電導入不同溶劑，並測定溶液的帶電情形

(一)對於本實驗選用的溶液，有下列特性

- 1.蒸餾水：極性，分子較小
- 2.甘油：極性，分子較蒸餾水大，具黏稠性
- 3.環己烷：非極性，分子較大
- 4.苯：非極性，分子較大，擁有共振之 π 電子系統

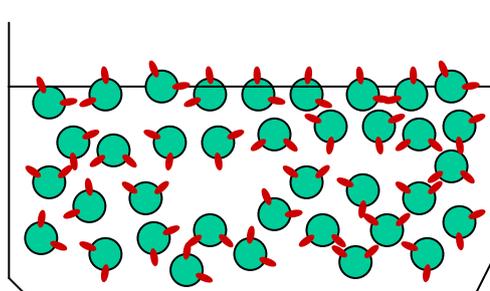
(二)溶液上及溶液下之電位平均值

我們使用示波器測定溶液電位，在實驗中，我們發現最高電位的蒸餾水中，電荷分布在液面，因此我們將示波器探針固定在一面上下各 5mm 並取其平均值為測定電壓。

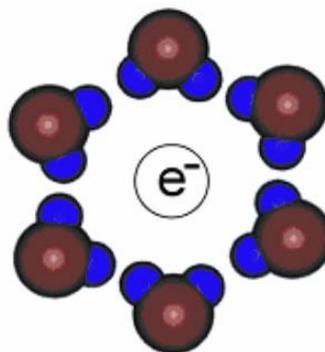
【表十】靜電導入後不同溶液表面上之電位(V)

組別 溶液	對照組	實驗組
蒸餾水	0	37.5
甘油	0	6.0
環己烷	0	1.25
苯	0	6.25

(三)以極性的有無作區分，則有極性的溶液測得的電位較高，而無極性的溶液電位較低。導入“水合電子”的模型做下列解釋：



【圖一】

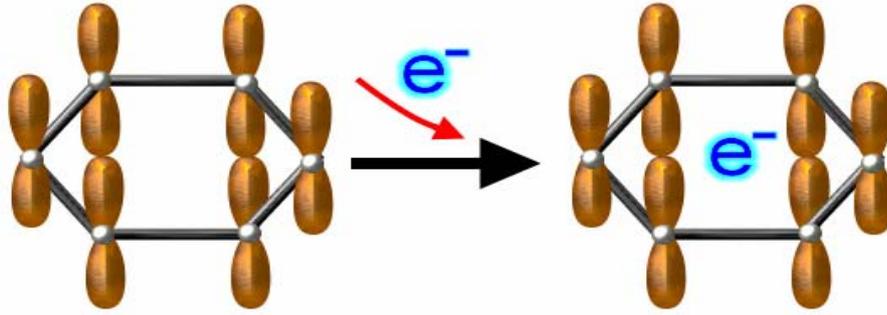


【圖二】

【註：圖一為 Y. R. Shen 博士 Water and Ice 之理論】

- 1.裸露的電子藉著自身形成的電場吸引週遭的極性分子以成為團簇分子，藉此較穩定的存於極性溶液中。故極性溶液之電位較非極性溶液之電位高。
- 2.而極性溶液之中，水分子較甘油分子小且質輕，較容易受到裸露電子的吸引而形成穩定狀態，故水分子之電位較甘油高。

(四)對於非極性溶液中之環己烷和苯電位之差距，則可推論為苯相較於環己烷，擁有 π 電子的共振系統可容納靜電導入電子，以致其電位高於環己烷。



【圖三】 π 電子的共振系統示意圖

二、探討不同靜電的導入方式對不互溶二溶劑系統的帶電影響

- (一)1.由實驗一中電位數據顯示，相對於環己烷，電荷極傾向於存在於蒸餾水之中，而環己烷可以看成一層很滑溜的溶劑，沒有任何保存電荷的效能，將靜電導入後，電子會很快的從環己烷中“滑走”，並沒有留存在其中。
- 2.由上頁水分子的微觀分布圖看來，氫原子是朝向液面的，由於氧原子的電負度較大，使氫原子那端相較之下偏向帶正電的情形，也就是說，水的表面是偏正電性的。
- 3.我們也測量出示波器的探針那端，是帶有靜電的(後來根據實驗結果我們推斷是帶有正電荷的感應場)，也就是探針也有他自己的靜電場存在，並不是被動的電中性狀態。據此討論下列情形。
- (二)1.<實驗 1A>中，因為沒有電極將起電器產生的電荷導入，故探針周圍沒有任何的反應。
- 2.<實驗 1B>中，電子由電極導入到環己烷中，而因為電子在環己烷中快速的溜走到水裡，使蒸餾水中充滿了負電荷，而和帶有負電的電極有相斥作用，與水表面相斥而下凹。
- 3.(1)電極一端：
<實驗 3A>中，電極沒碰到任何溶劑，但仍存在著他的負電場，和蒸餾水偏帶正電的液面有相互吸引的作用，造成液面上凸。
- (2)探針一端：
由於示波器探針帶有正的電場，因此和蒸餾水偏帶正電的液面會有相斥的現象發生，蒸餾水液面下凹。

4.(1) 電極一端：

<實驗 3B>中，電子由電極導入到環己烷中，而因為電子在環己烷中快速的溜走到水裡，使蒸餾水中充滿了負電荷，而和帶有負電的電極有相斥作用，與水表面相斥而下凹。

(2) 探針一端：

電極所放出的電子大量又快速的從環己烷中滑進水裡後，水中平均充滿了負電荷，因此和帶有正電場的探針相吸引，以至於蒸餾水的液面上凸。

5.(1) 電極一端：

<實驗 4A>中，電極沒碰到任何溶劑，但仍存在著他的負電場，和蒸餾水偏帶正電的液面有相互吸引的作用，造成液面上凸。

(2) 探針一端：

此時蒸餾水中沒有外來的電荷存在，仍保持電中性的狀態，也因此整根探針插入其中也不會有什麼現象產生。

6.(1) 電極一端：

<實驗 4B>中，左邊的電極因為直接插入水中，故起電器產生的電荷直接被送入水中傳導，沒有吸引相斥的現象產生。

(2) 探針一端：

電極所放出的電子大量又快速的從環己烷中滑進水裡後，水中平均充滿了負電荷，因此和帶有正電場的探針相吸引，以至於蒸餾水的液面上凸。

7.(1) 電極一端：

<實驗 5A>中，電子由電極導入到環己烷中，而因為電子在環己烷中快速的溜走到水裡，使蒸餾水中充滿了負電荷，而和帶有負電的電極有相斥作用，與水表面相斥而下凹。

(2) 探針一端：此時蒸餾水中沒有外來的電荷存在，仍保持電中性的狀態，也因此整根探針插入其中也不會有什麼現象產生。

8.(1) 電極一端：

<實驗 5B>中，左邊的電極因為直接插入水中，故起電器產生的電荷直接被送入水中傳導，沒有吸引相斥的現象產生。

(2) 探針一端：

電極那邊導了很多負電荷到水中，使蒸餾水中充滿了負電，但是因為電子在經過環己烷的時候就已經會部份跑出在環己烷中滑動，而滑到探針那一端去，遂使探針亦帶起了負電荷，而和帶負電的蒸餾水液面產生相斥，液面於是下凹。

9.<實驗 6>中，接起電器的左側電極沒有觸碰到溶液，而右邊的探針也沒有觸碰到溶液，通路難以形成，感應電荷的現象於是不太明顯，故兩極皆沒有反應產生，但若將兩電極靠近，則兩極會直接在空氣中發生放電現象。

10.(1) 電極一端：

<實驗 7> 中，電子由電極導入到環己烷中，而因為電子在環己烷中快速的溜走到水裡，使蒸餾水中充滿了負電荷，而和帶有負電的電極有相斥作用，與水表面相斥而下凹。

(2) 探針一端：

因為電子在經過環己烷的時候就已經會部份跑出在環己烷中滑動，而滑到探針那一端去，遂使探針亦帶起了負電荷，而和帶負電的蒸餾水液面產生相斥，液面於是下凹。

11.<實驗 8> 中，左邊的電極和右邊的探針都深入水中，電子直接在水中傳遞著，界面沒有明顯的變化。

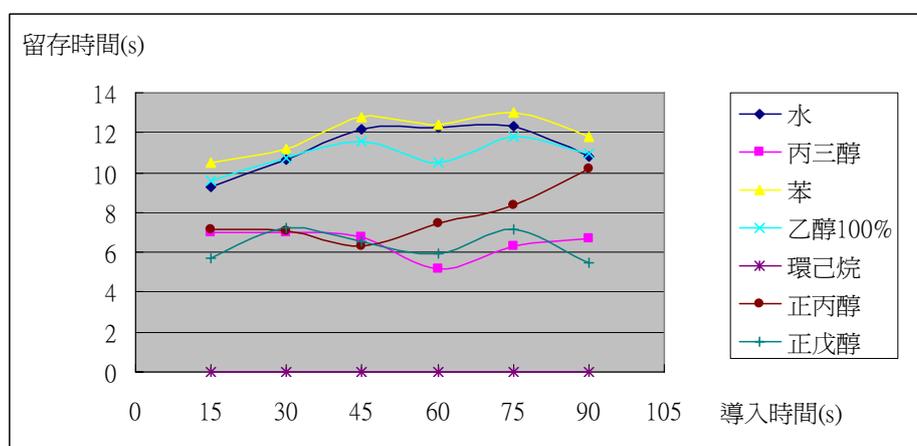


【照片五】實驗裝置實景圖

三、測量出靜電導入不同溶劑在靜電移除裝置下所能維持的時間

【表十一】各溶液中靜電導入時間及留存時間關係

時間 樣本	15	30	45	60	75	90
蒸餾水	9.32	10.67	12.21	12.26	12.36	10.78
甘油	7.00	6.98	6.80	5.21	6.29	6.68
苯	10.51	11.17	12.81	12.39	12.99	11.83
環己烷	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
乙醇	9.58	10.71	11.59	10.53	11.77	10.97
正丙醇	7.14	7.08	6.32	7.44	8.36	10.16
正戊醇	5.74	7.22	6.54	5.95	7.12	5.51



【圖四】各溶液中靜電導入時間及留存時間關係

(一)綜觀所有樣本液，靜電導入的時間並不會和留存時間成正比，而呈現一種“雙峰值圖形”。其中峰值位置集中於 45、75 秒處，而 60 秒處則有下降現象，採取下列推測：

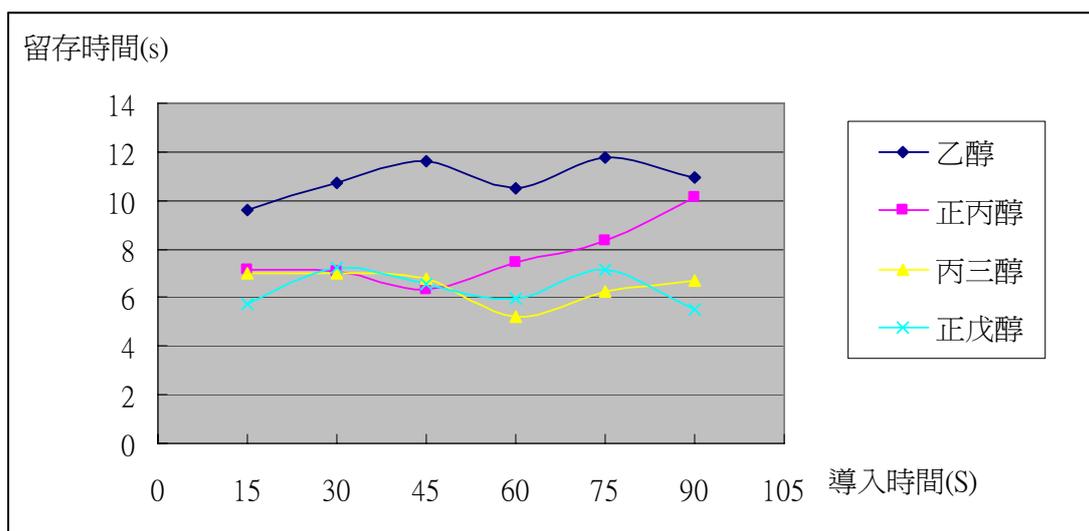
1.每種溶液所蓄積的靜電荷有一最大值，故圖形不為正比時的斜直線

2.令靜電荷導入速率為 R_{in} ，與周圍環境放電的靜電荷消耗速率為 R_{out}

而 R_{in} 隨導入電荷的增加而漸減，反之 R_{out} 則漸增。當溶液之電荷量達到最大值時 $R_{in} = R_{out}$ ，一但超越最大值，則 $R_{in} < R_{out}$ 固電荷量會下降，導致留存時間下降(60 秒處)。60 秒後 R_{in} 逐漸大於 R_{out}

所以電荷量又持續上升，如此週而復始持續下去。

(二)如同實驗一的結果，極性溶液所能保存電荷的時間較長，而非極性如環己烷則無蓄電能力。然而苯則是一例外，實驗一中其帶電壓不及於水，而本實驗中蓄電能力卻勝於水，推測 π 電子系統具有強蓄電能力。



【圖五】各醇類中靜電導入時間及留存時間關係

(三)首先比較醇類碳氫尾端長短(分子大小)及蓄電能力之關係。其中碳氫尾端長度：正戊醇>正丙醇>乙醇，然而蓄電能力卻為：乙醇>正丙醇>正戊醇。推究其因，可解釋為碳氫尾端越長(分子越大)，與電子的媒合能力越差，故其蓄電能力下降。

(四)再來比較 OH 基團數量和蓄電能力的關係。其中丙三醇之 OH 基團數量大於正丙醇，產生較多的氫鍵，使得丙三醇分子與分子間的作用力較大，因此媒合電子的能力自然會降低。

捌、結論

- 一、在測量蒸餾水、甘油、環己烷、苯等溶液液面上下電位的實驗中，能夠發現極性溶液的電位較非極性溶液的電位大，特別的是，以蒸餾水電位最高，符合水合電子的模型。然而目前還只能測量一定距離的電位，將更進一步求出距液面上下之距離—電位關係圖。
- 二、我們用環己烷和水不互溶的特性為控制變因，而改變探針和電極的相對位置以分析電荷傳導的一些現象，試推究其中的原因，大概可歸類為以下結論：
環己烷是一種非極性溶液，無法媒合導入的電子，可看成一層很滑溜的溶劑，沒有任何保存電荷的效能，將靜電導入後，電子會很快從環己烷中“滑走”。而由水分子的微觀分布圖看來，氫原子是朝向液面的，由於氧原子的電負度較大，使氫原子那端相較之下偏向帶正電的情形，因此造成當帶負電的電極靠近時，水的液面受到吸引而產生上凸現象。
- 三、在電荷留存的實驗之中，極性溶液蓄電效果顯著較好，其中又因為與電子媒合的能力而有差別。分子較小、極性較強的蒸餾水、乙醇的媒合能力較佳，故蓄電能力較強；而分子較大、極性相對較弱的正戊醇蓄電能力較差，非極性環己烷無蓄電能力。然而苯卻獨天得厚的擁有 π 電子的共振系統，使其蓄電能力甚至高於水。
- 四、由於在水中若添加 HCl、NaCl 等電解質將會提高溶液導電性，以致於無貯存電子的效果。但是 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 相較於其他種電解質卻明顯有良好的貯存靜電效能，因此我們依此推測 $\text{CuSO}_{4(\text{aq})}$ 可能是它帶的電荷價數高， Cu^{2+} 、 SO_4^{2-} 有較多的水分子附著在其周圍，離子移動速率慢，以致於較易保存靜電而不像其他電解質，電荷在其中的移動速率較快，造成靜電和空氣常常接觸電性中和而散失掉。

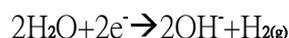
五、未來展望：

(一)以目前的實驗成果，我們仍想繼續量測出界面之累積電荷量，並做出液面上下距離和電位的關係圖，以為此實驗添增更多理論的根據。還有電荷在液體中移動速率大小也是我們所想測出的，或許可以藉此深入了解不同液體對儲存靜電能力的特性。

(二)我們想了一個實驗裝置圖，如下圖(六)。

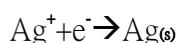
在把閃電經由避雷針導入分子蓄電瓶後，先由蓄電能力強的苯，將大量電子儲存起來，然後再經由導線將苯液體內的電子導入各種液體中：

1.水：

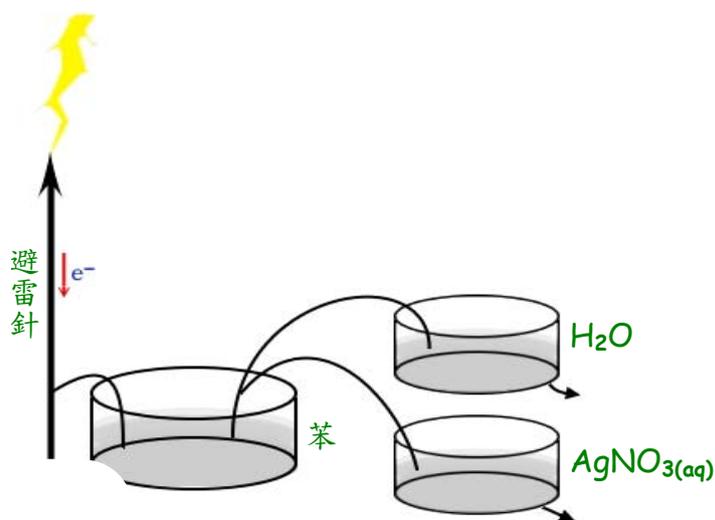


電子導入水中後，會進行上式反應，而產生了氫氣和氫氧根，氫氣是可利用的一種能源，而剩下的氫氧根可以加入海水，和海水中的鎂離子沉澱進而收集到鎂元素。

2.硝酸銀：



電子導入含銀離子的溶液，會進行上式反應，而產生了銀金屬的結晶。實驗室常有硝酸銀的廢液，可藉此回收廢液中的銀這種貴金屬。



【圖六】水合電子應用構想圖

玖、參考資料及其他

- 一、賴耿陽，靜電對策實務，復文書局
- 二、曾國輝，化學，藝軒出版社
- 三、Merck & Co.,Inc.，The Merck Index，11th

評 語

040202 挑戰電中性原理~「帶電溶液」的研究

本作品確如作者所云，是一挑戰性的物理化學，想要克服熱力平衡性，不易做實驗的 charge、separation 之基礎問題。利用 vande graff 起電器充電：由極性高的水溶液到非極性的〔苯〕量測液面間之 V (電位)，很可惜由水(35.0V)突然的可 charge(〔苯〕，6.0)、(trans-環己烷 1.5)……，如果能找到適當的研究對象物化，因此，亦看不出水合電子到苯合電子之間，結構和電位及結構間的定量關係！(甚至所引用圖一、二之關係)！但好奇心與尋求跨領域精神可佳。