

台灣二〇〇二年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：電解質電容器

學 校：國立臺南第一高級中學

作 者：劉伊修

作者簡介



我的名字叫劉伊修，出生在臺南。國小時期喜歡觀察生活周遭的事物、閱讀課外書籍，並自己設計一些簡單的實驗和玩具。在這些遊戲中，我親身體會科學的神奇，因此我也熱愛思索其中的道理，逐漸養成思考的習慣。國中時期，我逐漸拓展我的知識領域，並規劃我人生的方向，我希望自己能走研究路線。高中時期，進入了臺南一中，我參加了一所大學的物理高資班。在那裡上課提早學更深一層的知識，對我的思維有更進一步的啟發。這次的科學展覽，從發現問題到實驗結束，學習到很多的經驗，我要感謝所有幫助過我的人。

電解質電容器

壹、英文研究摘要：

本研究主題是要探討以電解質作為電介質之電容器的放電情況及電容值。作者在電容器的兩極板中,灌入電解質溶液,作為電介質,發現確實能使電容值大增。作者再以不同電解質和外加磁場為變因,作出以下研究,以深入了解電容和電解質溶液的關係。

The main idea of this topic is to explore the amount of capacitance with electrolyte as dielectrics. The authors poured electrolyte solutions into the polar plate of capacitor and found the amount of capacitance increased. Then the authors used the different kinds of electrolyte and added magnetic field as changing factors. Authors performed the following research to deeply

find out the correlations between capacitance and electrolyte solutions.

貳、內文：

一、前言

研究動機：

作者在翻看一本電磁學書籍時,得知若在電容器的兩極板中,置入電介質,則電容將大幅增加。原因是電介質的兩面會產生相反的感應電荷使兩極板間的電場減小,讓極板上的電荷不會因為電壓過高而從中穿過,所以能夠承受的最大電量及電壓提高,因此電容增大。了解原因後,作者聯想到若在極板中加入電解質溶液,由於電解質易在有電場的情況下被極化,如此是否能有效增大電容。本研究旨在探討這個問題。

研究目的：

1. 研究在固定距離的兩極板間,不同溶液對電容的影響,並分析原因。
2. 研究在兩極板間離子數的多寡,和其對電容的影響。
3. 研究在充滿電解質溶液的兩極板間,外加磁場對電容的影響。

研究器材與設備：

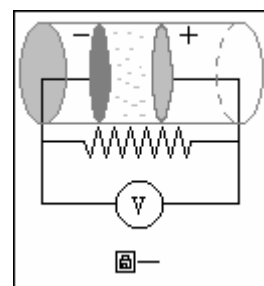
銅片(4cm²)×2 帶鱷魚夾電線 若干 底片盒×1 保特瓶蓋×1
熱熔膠 Na₂SO₄ 1 罐 K₂SO₄ 1 罐 KNO₃ 1 罐 NaOH 1 罐
電源供應器×1 燒杯 若干 滴管×1 玻璃棒×1 27Ω電阻
ScienceWorkshop500 電腦軟體及感測器 Origin50 電腦軟體

二、研究方法與步驟：

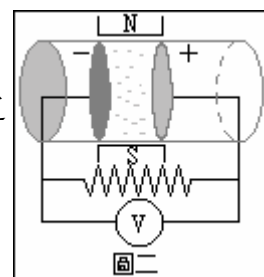
【實驗前提】

1. 為了保持溶液內正負離子數的穩定,採用不易氧化還原離子的電解質溶液。
2. 採用的 4 種電解質有些不易溶解,故本實驗使用低濃度的電解質溶液以利比較。
3. 記錄電壓時要與 27 歐姆之電阻並聯,因為若不加電阻時,感測器之電阻趨近於∞,導致幾乎不會放電。若所加電阻太小,則電壓下降太快,不易觀察變化,經比較後決定採用 27 歐姆之電阻。
4. 在實驗之前,作者先將兩極板距離為 0.45cm 其間不加任何溶液,所測得的電容值幾乎為 0。但在極板間加入任何一種溶液之後,皆可測得遠大於 0 的電容值,故認為極板間的溶液必對電容值產生影響。

實驗一：將 NaOH、Na₂SO₄、K₂SO₄、KNO₃ 配成 0.2M 的水溶液，依次將四種溶液灌入自製電容器的兩極板之間，並以 5V 之電源通電 1 分鐘後，將電容器與 ScienceWorkshop500 電壓感測器及 27 Ω 之電阻並聯（如圖一）斷電後並開始記錄。斷電後，將實驗數據代入公式 $V = V_0 \exp(-t/RC)$ 【R：電阻；C：電容；V₀：初始電壓；t：時間】；利用 Origin50 趨近，求得電容值。取電容值最大者，做為實驗二的樣品。



實驗二：將 Na₂SO₄ 0.25M 的水溶液注入自製電容器的兩極板之間，並以 5V 之電源通電 1 分鐘後，將電容器與 ScienceWorkshop500 電壓感測器及 27 Ω 之電阻並聯加入磁場（如圖二）斷電後並開始記錄。

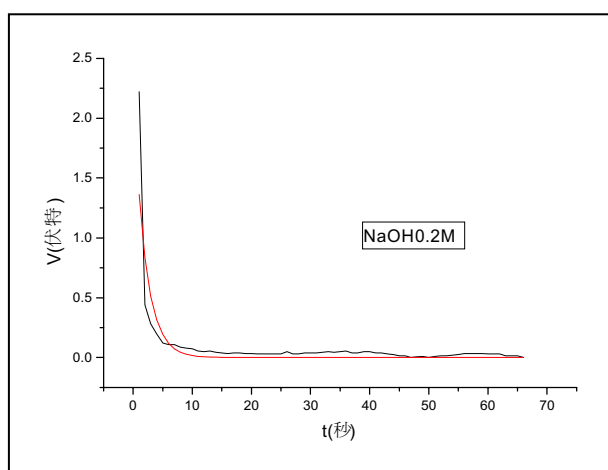


【註】：爲了解磁場對電能之保存的影響，所以實驗二採用間接放電的型式，其中間接放電之間隔時間爲 10 秒，而實驗一則採用連續放電。

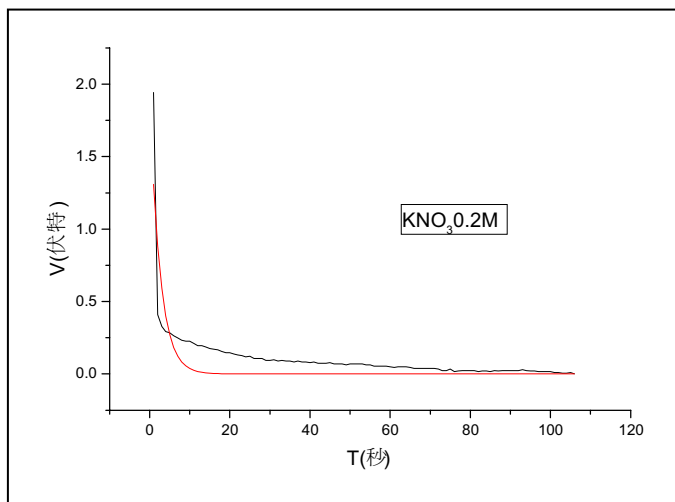
三、實驗結果與數據：

實驗一：

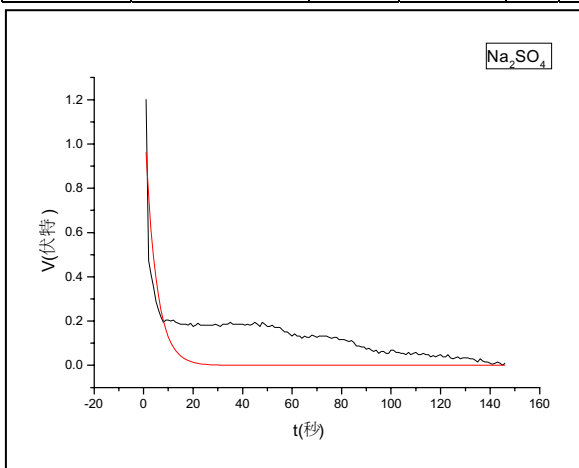
| NaOH 0.2M | | C=0.07572pF | | | | | | | |
|-----------|---------|-------------|-------|----|-------|----|-------|----|---|
| 時間(秒) | 電壓 (伏特) | | | | | | | | |
| 1 | 2.222 | 17 | 0.039 | 33 | 0.049 | 49 | 0 | 65 | 0 |
| 2 | 0.439 | 18 | 0.039 | 34 | 0.044 | 50 | 0.01 | | |
| 3 | 0.283 | 19 | 0.034 | 35 | 0.049 | 51 | 0.015 | | |
| 4 | 0.195 | 20 | 0.034 | 36 | 0.054 | 52 | 0.015 | | |
| 5 | 0.122 | 21 | 0.029 | 37 | 0.039 | 53 | 0.02 | | |
| 6 | 0.107 | 22 | 0.029 | 38 | 0.039 | 54 | 0.024 | | |
| 7 | 0.107 | 23 | 0.029 | 39 | 0.049 | 55 | 0.034 | | |
| 8 | 0.088 | 24 | 0.029 | 40 | 0.049 | 56 | 0.034 | | |
| 9 | 0.078 | 25 | 0.029 | 41 | 0.039 | 57 | 0.034 | | |
| 10 | 0.073 | 26 | 0.049 | 42 | 0.029 | 58 | 0.034 | | |
| 11 | 0.054 | 27 | 0.029 | 43 | 0.024 | 59 | 0.029 | | |
| 12 | 0.049 | 28 | 0.029 | 44 | 0.015 | 60 | 0.029 | | |
| 13 | 0.054 | 29 | 0.039 | 45 | 0.015 | 61 | 0.029 | | |
| 14 | 0.044 | 30 | 0.039 | 46 | 0 | 62 | 0.015 | | |
| 15 | 0.039 | 31 | 0.039 | 47 | 0.005 | 63 | 0.015 | | |
| 16 | 0.034 | 32 | 0.044 | 48 | 0.01 | 64 | 0.015 | | |



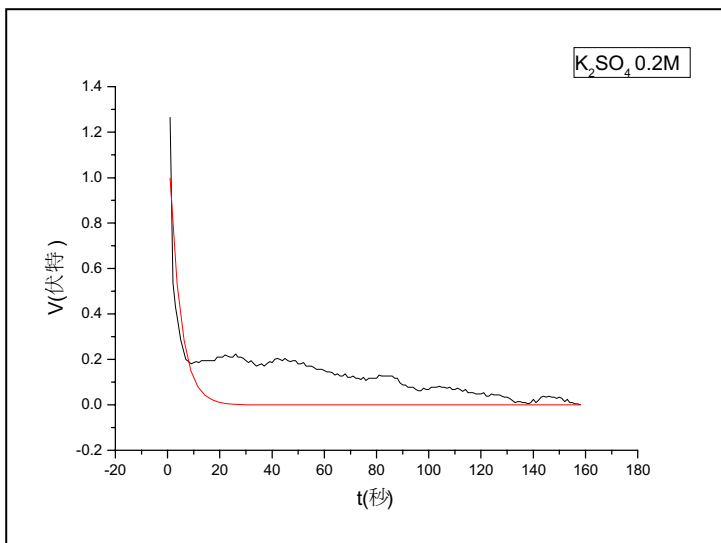
| KNO ₃ 0.2M | | | C=0.09373pF | | | | |
|-----------------------|---------|----|-------------|----|-------|-----|-------|
| 時間 (秒) | 電壓 (伏特) | | | | | | |
| 1 | 1.943 | 28 | 0.107 | 55 | 0.054 | 82 | 0.02 |
| 2 | 0.41 | 29 | 0.093 | 56 | 0.054 | 83 | 0.02 |
| 3 | 0.327 | 30 | 0.093 | 57 | 0.054 | 84 | 0.015 |
| 4 | 0.293 | 31 | 0.098 | 58 | 0.054 | 85 | 0.024 |
| 5 | 0.283 | 32 | 0.088 | 59 | 0.049 | 86 | 0.02 |
| 6 | 0.264 | 33 | 0.093 | 60 | 0.044 | 87 | 0.024 |
| 7 | 0.249 | 34 | 0.088 | 61 | 0.049 | 88 | 0.024 |
| 8 | 0.234 | 35 | 0.088 | 62 | 0.049 | 89 | 0.024 |
| 9 | 0.225 | 36 | 0.083 | 63 | 0.049 | 90 | 0.024 |
| 10 | 0.225 | 37 | 0.088 | 64 | 0.044 | 91 | 0.024 |
| 11 | 0.21 | 38 | 0.083 | 65 | 0.039 | 92 | 0.029 |
| 12 | 0.195 | 39 | 0.083 | 66 | 0.039 | 93 | 0.024 |
| 13 | 0.195 | 40 | 0.078 | 67 | 0.039 | 94 | 0.02 |
| 14 | 0.186 | 41 | 0.083 | 68 | 0.039 | 95 | 0.02 |
| 15 | 0.176 | 42 | 0.073 | 69 | 0.039 | 96 | 0.015 |
| 16 | 0.171 | 43 | 0.073 | 70 | 0.039 | 97 | 0.015 |
| 17 | 0.166 | 44 | 0.078 | 71 | 0.034 | 98 | 0.015 |
| 18 | 0.156 | 45 | 0.068 | 72 | 0.024 | 99 | 0.015 |
| 19 | 0.146 | 46 | 0.068 | 73 | 0.024 | 100 | 0.01 |
| 20 | 0.146 | 47 | 0.068 | 74 | 0.034 | 101 | 0.01 |
| 21 | 0.137 | 48 | 0.063 | 75 | 0.015 | 102 | 0.005 |
| 22 | 0.132 | 49 | 0.068 | 76 | 0.02 | 103 | 0.005 |
| 23 | 0.127 | 50 | 0.068 | 77 | 0.024 | 104 | 0.01 |
| 24 | 0.117 | 51 | 0.068 | 78 | 0.024 | 105 | 0 |
| 25 | 0.122 | 52 | 0.068 | 79 | 0.024 | | |
| 26 | 0.107 | 53 | 0.063 | 80 | 0.024 | | |
| 27 | 0.107 | 54 | 0.063 | 81 | 0.015 | | |



| Na ₂ SO ₄ 0.2M | | | C=0.16614pF | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|----|-------------|----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|---|
| 時間(秒) | 電壓 (伏特) | | | | | | | | | | |
| 1 | 1.201 | 30 | 0.181 | 59 | 0.132 | 88 | 0.083 | 117 | 0.039 | 146 | 0 |
| 2 | 0.474 | 31 | 0.176 | 60 | 0.142 | 89 | 0.073 | 118 | 0.044 | | |
| 3 | 0.415 | 32 | 0.186 | 61 | 0.132 | 90 | 0.078 | 119 | 0.049 | | |
| 4 | 0.356 | 33 | 0.186 | 62 | 0.132 | 91 | 0.068 | 120 | 0.039 | | |
| 5 | 0.288 | 34 | 0.186 | 63 | 0.122 | 92 | 0.063 | 121 | 0.039 | | |
| 6 | 0.249 | 35 | 0.195 | 64 | 0.132 | 93 | 0.068 | 122 | 0.049 | | |
| 7 | 0.22 | 36 | 0.186 | 65 | 0.127 | 94 | 0.054 | 123 | 0.034 | | |
| 8 | 0.195 | 37 | 0.186 | 66 | 0.127 | 95 | 0.063 | 124 | 0.029 | | |
| 9 | 0.205 | 38 | 0.186 | 67 | 0.137 | 96 | 0.063 | 125 | 0.034 | | |
| 10 | 0.205 | 39 | 0.186 | 68 | 0.132 | 97 | 0.054 | 126 | 0.039 | | |
| 11 | 0.2 | 40 | 0.186 | 69 | 0.127 | 98 | 0.054 | 127 | 0.029 | | |
| 12 | 0.205 | 41 | 0.181 | 70 | 0.132 | 99 | 0.068 | 128 | 0.034 | | |
| 13 | 0.195 | 42 | 0.181 | 71 | 0.132 | 100 | 0.068 | 129 | 0.034 | | |
| 14 | 0.19 | 43 | 0.186 | 72 | 0.132 | 101 | 0.059 | 130 | 0.034 | | |
| 15 | 0.186 | 44 | 0.195 | 73 | 0.132 | 102 | 0.059 | 131 | 0.029 | | |
| 16 | 0.186 | 45 | 0.186 | 74 | 0.127 | 103 | 0.054 | 132 | 0.029 | | |
| 17 | 0.186 | 46 | 0.176 | 75 | 0.122 | 104 | 0.054 | 133 | 0.024 | | |
| 18 | 0.181 | 47 | 0.195 | 76 | 0.127 | 105 | 0.049 | 134 | 0.015 | | |
| 19 | 0.19 | 48 | 0.186 | 77 | 0.127 | 106 | 0.059 | 135 | 0.029 | | |
| 20 | 0.176 | 49 | 0.176 | 78 | 0.117 | 107 | 0.049 | 136 | 0.02 | | |
| 21 | 0.181 | 50 | 0.176 | 79 | 0.117 | 108 | 0.054 | 137 | 0.015 | | |
| 22 | 0.19 | 51 | 0.181 | 80 | 0.117 | 109 | 0.059 | 138 | 0.015 | | |
| 23 | 0.181 | 52 | 0.171 | 81 | 0.112 | 110 | 0.049 | 139 | 0.01 | | |
| 24 | 0.181 | 53 | 0.171 | 82 | 0.107 | 111 | 0.049 | 140 | 0.005 | | |
| 25 | 0.181 | 54 | 0.171 | 83 | 0.112 | 112 | 0.054 | 141 | 0.01 | | |
| 26 | 0.181 | 55 | 0.161 | 84 | 0.103 | 113 | 0.049 | 142 | 0.015 | | |
| 27 | 0.181 | 56 | 0.151 | 85 | 0.088 | 114 | 0.049 | 143 | 0.01 | | |
| 28 | 0.181 | 57 | 0.151 | 86 | 0.088 | 115 | 0.039 | 144 | 0 | | |
| 29 | 0.186 | 58 | 0.142 | 87 | 0.083 | 116 | 0.044 | 145 | 0.01 | | |

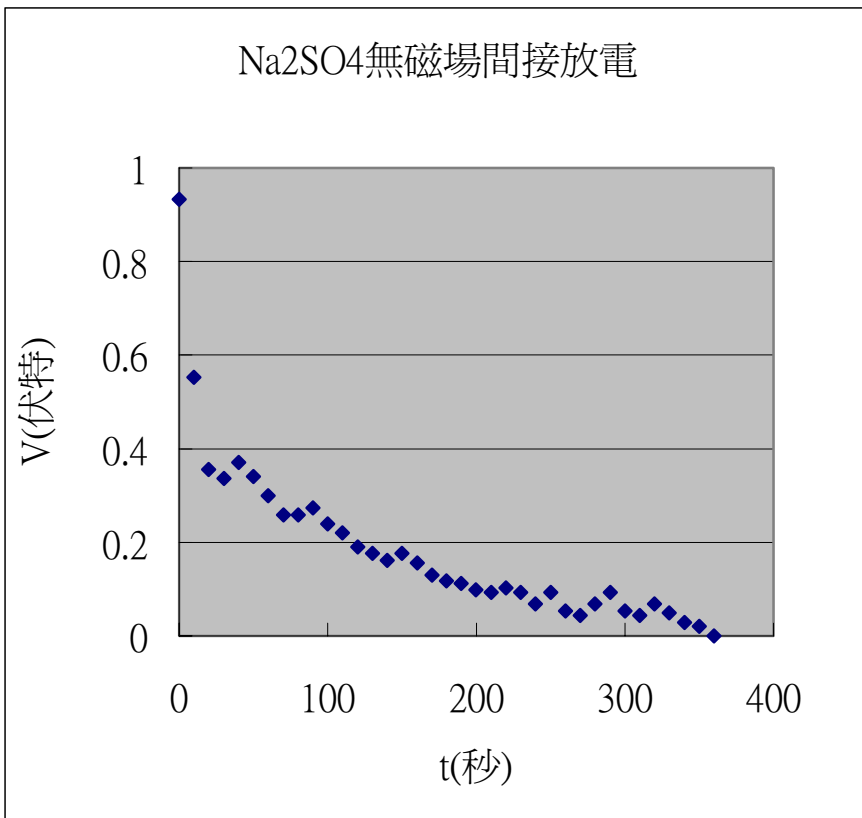


| K ₂ SO ₄ 0.2M | | | | C=0.15629pF | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------|----|-------|-------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| 時間(秒) | 電壓 (伏特) | | | | | | | | | | |
| 1 | 1.265 | 28 | 0.21 | 55 | 0.171 | 82 | 0.127 | 109 | 0.068 | 136 | 0.01 |
| 2 | 0.537 | 29 | 0.205 | 56 | 0.166 | 83 | 0.127 | 110 | 0.068 | 137 | 0.01 |
| 3 | 0.43 | 30 | 0.195 | 57 | 0.156 | 84 | 0.127 | 111 | 0.073 | 138 | 0.005 |
| 4 | 0.361 | 31 | 0.186 | 58 | 0.156 | 85 | 0.127 | 112 | 0.068 | 139 | 0.01 |
| 5 | 0.288 | 32 | 0.195 | 59 | 0.156 | 86 | 0.127 | 113 | 0.059 | 140 | 0.024 |
| 6 | 0.244 | 33 | 0.181 | 60 | 0.151 | 87 | 0.117 | 114 | 0.068 | 141 | 0.01 |
| 7 | 0.2 | 34 | 0.171 | 61 | 0.146 | 88 | 0.117 | 115 | 0.054 | 142 | 0.02 |
| 8 | 0.19 | 35 | 0.176 | 62 | 0.146 | 89 | 0.098 | 116 | 0.054 | 143 | 0.034 |
| 9 | 0.181 | 36 | 0.181 | 63 | 0.142 | 90 | 0.088 | 117 | 0.054 | 144 | 0.039 |
| 10 | 0.186 | 37 | 0.171 | 64 | 0.132 | 91 | 0.088 | 118 | 0.049 | 145 | 0.034 |
| 11 | 0.19 | 38 | 0.181 | 65 | 0.137 | 92 | 0.078 | 119 | 0.049 | 146 | 0.039 |
| 12 | 0.186 | 39 | 0.19 | 66 | 0.127 | 93 | 0.078 | 120 | 0.049 | 147 | 0.034 |
| 13 | 0.195 | 40 | 0.186 | 67 | 0.127 | 94 | 0.078 | 121 | 0.054 | 148 | 0.034 |
| 14 | 0.195 | 41 | 0.2 | 68 | 0.137 | 95 | 0.068 | 122 | 0.039 | 149 | 0.029 |
| 15 | 0.195 | 42 | 0.205 | 69 | 0.122 | 96 | 0.063 | 123 | 0.039 | 150 | 0.034 |
| 16 | 0.195 | 43 | 0.2 | 70 | 0.122 | 97 | 0.063 | 124 | 0.049 | 151 | 0.029 |
| 17 | 0.195 | 44 | 0.195 | 71 | 0.127 | 98 | 0.073 | 125 | 0.044 | 152 | 0.015 |
| 18 | 0.195 | 45 | 0.205 | 72 | 0.117 | 99 | 0.068 | 126 | 0.044 | 153 | 0.024 |
| 19 | 0.21 | 46 | 0.195 | 73 | 0.117 | 100 | 0.068 | 127 | 0.044 | 154 | 0.01 |
| 20 | 0.21 | 47 | 0.19 | 74 | 0.112 | 101 | 0.078 | 128 | 0.039 | 155 | 0.01 |
| 21 | 0.21 | 48 | 0.195 | 75 | 0.122 | 102 | 0.078 | 129 | 0.034 | 156 | 0.005 |
| 22 | 0.22 | 49 | 0.195 | 76 | 0.107 | 103 | 0.078 | 130 | 0.034 | 157 | 0.005 |
| 23 | 0.215 | 50 | 0.181 | 77 | 0.117 | 104 | 0.083 | 131 | 0.029 | 158 | 0 |
| 24 | 0.21 | 51 | 0.181 | 78 | 0.117 | 105 | 0.078 | 132 | 0.02 | | |
| 25 | 0.21 | 52 | 0.186 | 79 | 0.117 | 106 | 0.078 | 133 | 0.01 | | |
| 26 | 0.225 | 53 | 0.171 | 80 | 0.117 | 107 | 0.073 | 134 | 0.015 | | |
| 27 | 0.21 | 54 | 0.171 | 81 | 0.132 | 108 | 0.078 | 135 | 0.015 | | |

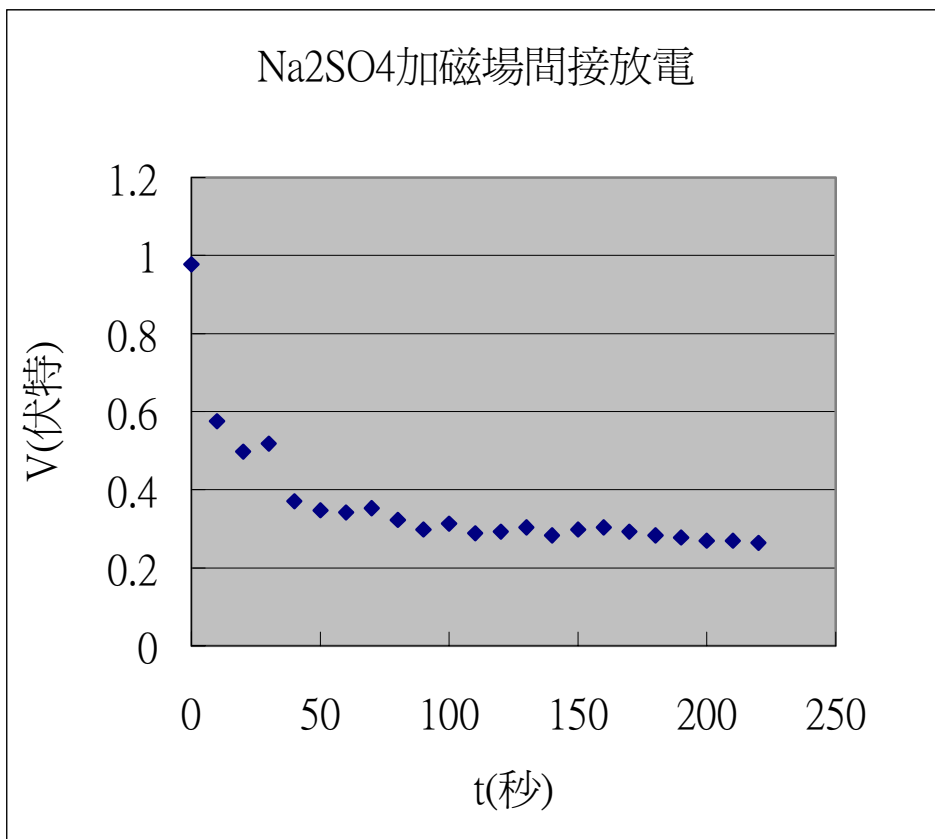


實驗二:

| Na ₂ SO ₄ 0.25M 間接 | | | | | | | | |
|--|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|--|
| 時間(t) | 電壓(v) | | | | | | | |
| 0 | 0.933 | 110 | 0.22 | 220 | 0.103 | 330 | 0.049 | |
| 10 | 0.552 | 120 | 0.19 | 230 | 0.093 | 340 | 0.029 | |
| 20 | 0.356 | 130 | 0.176 | 240 | 0.068 | 350 | 0.02 | |
| 30 | 0.337 | 140 | 0.161 | 250 | 0.093 | 360 | 0 | |
| 40 | 0.371 | 150 | 0.176 | 260 | 0.054 | | | |
| 50 | 0.341 | 160 | 0.156 | 270 | 0.044 | | | |
| 60 | 0.3 | 170 | 0.13 | 280 | 0.068 | | | |
| 70 | 0.259 | 180 | 0.117 | 290 | 0.093 | | | |
| 80 | 0.259 | 190 | 0.112 | 300 | 0.054 | | | |
| 90 | 0.273 | 200 | 0.098 | 310 | 0.044 | | | |
| 100 | 0.239 | 210 | 0.093 | 320 | 0.068 | | | |



| Na ₂ SO ₄ 0.25M 磁場間接放電 | | | | 磁場=0.06T | | | |
|--|-------|-----|-------|----------|-------|-----|-------|
| 時間(t) | 電壓(v) | | | | | | |
| 0 | 0.977 | 60 | 0.342 | 120 | 0.293 | 180 | 0.283 |
| 10 | 0.576 | 70 | 0.352 | 130 | 0.303 | 190 | 0.278 |
| 20 | 0.498 | 80 | 0.322 | 140 | 0.283 | 200 | 0.269 |
| 30 | 0.518 | 90 | 0.298 | 150 | 0.298 | 210 | 0.269 |
| 40 | 0.371 | 100 | 0.313 | 160 | 0.303 | 220 | 0.264 |
| 50 | 0.347 | 110 | 0.288 | 170 | 0.293 | | |



四、研究討論:

1. 為何離子溶液會影響兩極板間的電容值？

當在極板上通電時，正離子游向負極板，負離子游向正極板，且正負離子最後各別吸附在負正的極板上。斷電的瞬間，同時開始測量電壓時，在極板附近的正負離子有保持正負極板上的電荷不容易散失的作用。〈 ∵此時兩極板必為電中性，又其附近各有未中和的正負離子，故極板上勢必要存有等量且電性相反的電荷〉所以極板間的溶液會對電容質有影響。此效應就如同在電容器極板間放入不同的電介質對電容值亦會有影響〈增大〉。(因為極板之間的距離過大,0.45cm,所以兩極板所造成的電場幾乎為零,電荷保持不住)若兩極板間不充入電解質溶液，其電容值小到幾乎無法測量。但若加入離子溶液，根據實驗數據，其電容值皆可增大好幾倍，至少在可以測量的範圍內。

2. 在研究一中的四種溶液，電壓下降速率由快到慢，

順序為 NaOH > KNO₃ > K₂SO₄ ≅ Na₂SO₄，因素何在？

由於斷電後，吸附在極板上的離子，一方面受到正負離子層間庫倫引力的影響，會向溶液中心靠近；另一方面，熱攪拌運動會使得已分離正負離子層逐漸混合，終至電中性。若離子質量越大，則庫倫引力和熱攪拌運動對此離子的影響越小。以下為正負離子的原子量。

| Na ⁺ | K ⁺ | OH ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ |
|-----------------|----------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|
| 22.99amu | 39.1amu | 17.008amu | 62.01amu | 96.07amu |

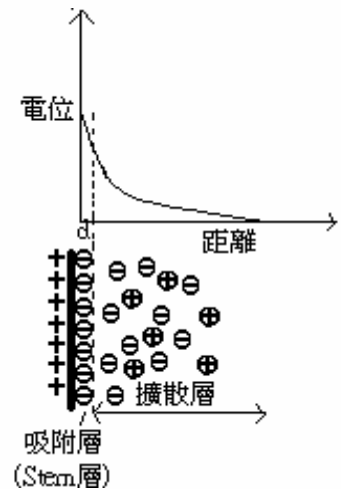
因為 $m(\text{OH}^-) < m(\text{NO}_3^-) < m(\text{SO}_4^{2-})$ ， $m(\text{Na}^+) < m(\text{K}^+)$ ，所以起初電壓下降速率快慢為 NaOH > KNO₃ > K₂SO₄ ≅ Na₂SO₄。但事實上，K₂SO₄ 電壓下降速率確實略大於 Na₂SO₄。

| NaOH | 電壓(V) | KNO ₃ | 電壓(V) | K ₂ SO ₄ | 電壓(V) | Na ₂ SO ₄ | 電壓(V) |
|------|-------|------------------|-------|--------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
| 1 | 2.222 | 1 | 1.943 | 1 | 1.265 | 1 | 1.201 |
| 2 | 0.439 | 2 | 0.41 | 2 | 0.537 | 2 | 0.474 |
| 3 | 0.283 | 3 | 0.327 | 3 | 0.43 | 3 | 0.415 |
| 4 | 0.195 | 4 | 0.293 | 4 | 0.361 | 4 | 0.356 |
| 5 | 0.122 | 5 | 0.283 | 5 | 0.288 | 5 | 0.288 |

3. 在研究一中，為何 K₂SO₄、Na₂SO₄ 溶液皆在放電過程中能產生數段的穩定電壓（即曲線圖有平台狀的結構）？

原先作者也認為不應該會產生數段的穩定電壓，因此重覆做此實驗，在證實結果正確無誤後，才提出此問題。

由於這種電解質電容器其內電介質的結構並非如此單純，也就是並不只是兩極板上電子移動的問題，應該大部分牽涉到內部離子的運動。根據電雙層理論，在充電時正負極板上皆產生離子的吸附層。在斷電後，正負離子層皆開始向溶液中心移動。同時熱攪拌運動也正使離子逐漸混合，因此極板上的電荷和異號離子層之間的電場強度亦會快速減弱。因此，部分極板的電荷保留不住，而經由導線中和。



如圖，斷電的瞬間，正負離子只要稍微離開極板極小的距離，電壓就會下降很大，這可以解釋為何每個曲線圖開端都有段下降快速的區域。因此若離子層向溶液中心移動速率越快或離子越易混合，則電壓下降越迅速。但在 K₂SO₄、Na₂SO₄ 的曲線中皆出現幾小段平穩電壓，而兩者在電壓快速下降到 0.19V 時，出現第一段的平穩電壓。

而電壓穩定的這段時間中： \therefore 此時 V 不變，又負載的電阻 R 固定
 $\therefore V/R = I$ 電流穩定，即 $I = dq / dt$

$\Rightarrow q$ 對 t 的時變率穩定 \Rightarrow 極板上的電量 q 等速減少。

假設：1. 吸附層和極板之間的距離為 h 、電場強度為 E 、電壓為 V' （和數據上的 V 不同）、電容為 C 。

$$\text{則 } q = CV'$$

$$\Rightarrow q - \Delta q = C(V' - \Delta V')$$

$$\Delta q = C\Delta V'$$

$$\Rightarrow \Delta q = C\Delta(Eh)$$

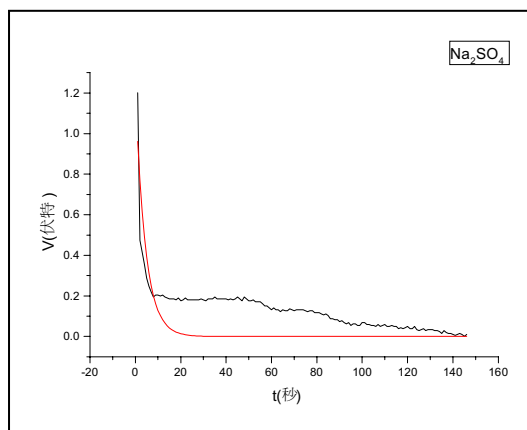
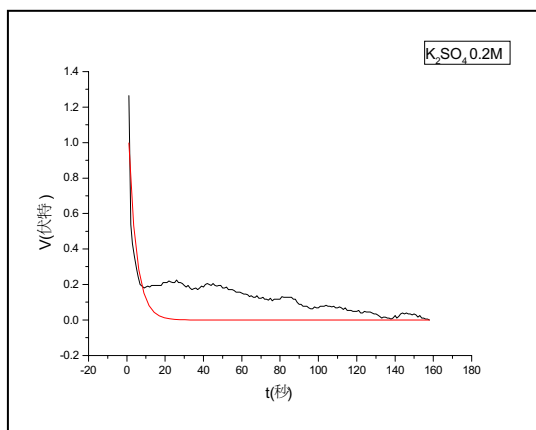
又吸附層和極板之間的 E 和 h 皆為變量，所以 $\Delta q = C\Delta E\Delta h$

$$\Delta q / C = \Delta E\Delta h$$

$$\Delta q / (C\Delta t) = \Delta E\Delta h / \Delta t \Rightarrow I / C = \Delta E\Delta h / \Delta t$$

$$\lim(I/C) = \lim(\Delta E\Delta h / \Delta t) = E(dh/dt) + h(dE/dt) \text{ 為定值} \cdots \cdots \Delta t \rightarrow 0$$

又 SO_4^{2-} 是所有離子質量最大的，所以作者猜測是否在某一質量範圍內恰能使 $E(dE/dt) + h(dE/dt)$ 保持定值，才能產生這種情況。

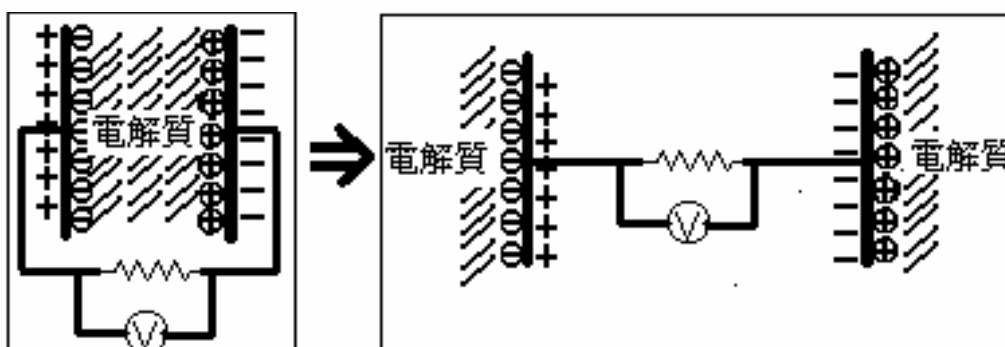


4. 為何 KNO_3 0.2M、 NaOH 0.2M 的初始電壓值大約為 K_2SO_4 0.2M、 Na_2SO_4 0.2M 的 2 倍？

在實驗一中，以各溶液為電介質時，初始電壓如下：

| | | | | |
|-------|--------------------------|-------------------------|----------------|---------------|
| | Na_2SO_4 | K_2SO_4 | KNO_3 | NaOH |
| V_0 | 1.201V | 1.265V | 1.943V | 2.222V |

為了方便探討，我們可以先將極板和離子層對換角色（如圖），則導線和極板就像兩離子層之間的金屬電介質。



由 Origin 50 所趨近出的電容值如下：

| | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|----------------|---------------|
| | Na_2SO_4 | K_2SO_4 | KNO_3 | NaOH |
| C | 0.17847pF | 0.17438pF | 0.09373PF | 0.07572pF |

$\because q = CV$ ，我們可以求出斷電的瞬間在兩極板上的平均電量如下：

| | | | | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Na_2SO_4 | K_2SO_4 | KNO_3 | NaOH |
| q | $2.1434 \times 10^{-13} \text{C}$ | $2.2059 \times 10^{-13} \text{C}$ | $1.8212 \times 10^{-13} \text{C}$ | $1.6825 \times 10^{-13} \text{C}$ |

根據歐姆定律 $V = IR$ ，又電阻固定為 27 歐姆，所以 $V \propto I$ ，也就是與某一時間電流成正比。而在本實驗中，初始電壓的大小順序為 $\text{NaOH} > \text{KNO}_3 > \text{K}_2\text{SO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4$ 。若回想討論 2 中，下降速率的比較結果也是相同的排序。這不禁讓人聯想到：是否也跟離子質量有密切關係呢？因為

$V \propto I \Rightarrow V \propto dq/dt$ ；所以初始電壓 V_0 正比於斷電後極短時間之內通過導電的電荷量，而電荷之所以會流經導線，必定是外部電場有了改變，使得導體（極板和導線）內的電荷必須重新分布，以維持內部電場為 0。我們知道：斷電後，極板旁的離子層正在逐漸被混合。而且，對於導體而言，外部的電場就是離子層對於導體所造成的電場。由以上可推論：單位時間內，外部電場減少愈多，通過導電的電流愈大。而由討論 2 知：質量愈大的離子，愈不容易混合；換句話說，質量大的離子，對極板造成的電場減小愈慢。

整合以上的討論得知， V_0 的大小決定於斷電瞬間的放電速率。（放電速率又與質量有關）

5. 為何在研究三中，加入磁場能使電壓下降的速率減慢？

由研究三，雖然作者採間接放電(每十秒一次)，但是在每十秒的間隔中我們可以看出電壓也有下降，只是比起連續放電速率比較慢，但由此數據，我們可以推測：如果將這樣的電容器充電後不放電，一段時間後，電壓必歸零，可是為什麼呢？一般市面上的電容器，漏電的現象不可能那麼明顯？

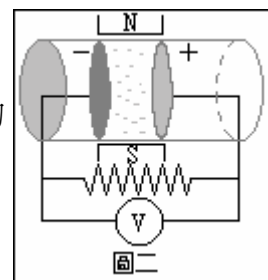
討論後，做出以下解答。

由於之前我們曾提過：兩極板間的距離太大(0.45cm)，電壓又只有 5V，所以電場強度幾乎為零，電荷保存不佳。因此，溶液中的電場是由正負離子層所造成的，來幫助極板保存電荷。而在斷電後，正負離子層會逐漸消失(不論有沒有外接導線)，因此電容器內的有效電量會隨時間減弱。由此可知，不論有沒有外接導線，只要溶液中的正負離子位置隨時間改變，我們測得的電壓就會隨時間改變。這也可以證明討論 3 中，極板間的電壓大部分牽涉到離子的運動。

而觀察研究三的實驗數據發現：外加 0.06T 的直線磁場，使得電容器內部皆沉浸於磁場中，電壓下降的速率比沒有外加磁場來得慢，因素在何？

如(圖二)

首先，我們必須從離子運動談起。由於離子有帶電荷，又有本身的動能，所以在溶液中是不會靜止，也就是必有速度。而有速度的帶電粒子會在磁場中做圓周運動，則這樣的運動可視為對離子層擴散而混合的阻礙。既然離子層擴散不易，極板的電量就愈容易保存。



結論：

我們知道，在有電壓的極板間加入電介質，電場會變小，原因在於電介質一面有感應正電荷，另一面有感應負電荷。而若將電介質改為導體，則導體的兩面會感應出等量的正負電荷，於是導體中就沒有電場了。而本實驗就是將電介質改為電解質溶液提出來探討金屬導體和電解質之間相同之處就是都有能夠自由移動的電荷，內部沒有電場；相異之處就是離子的運動比起自由電子複雜許多，又由於離子質量 \gg 電子質量，因此在這方面的探討，必須考慮到更多的因素。

而由實驗中得知：在極板間加入溶液，真的能夠讓極板間的電容量大增（由 $C \rightarrow 0$ 增加到 $C = 0.05 \sim 0.2 \text{pF}$ ）。只不過以 $\text{K}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_{4(\text{aq})}$ 為電介質的曲

線圖和理想的曲線有較大的偏差，經討論後認為是質量的影響。從這裡看來，一般視電荷(電子)質量為 0 的電容理論，若用於有質量的電荷上，勢必要經過修正。但由於能力不足尚無法解決。而在磁場使得電壓下降變慢，也間接證明了離子的運動確實對電壓有重大的影響。

※離子質量可能是影響結果的最重要因素之一；由此實驗至少可知：離子質量影響到初始電壓和下降速率(放電速率)。猜測受磁場影響的大小：質量愈小，影響愈大。

展望：

1. 在研究一中，若能再增加實驗的樣品，在相互比較下，必能提出更多的問題來討論，對於各種現象的了解能夠更深一層。
2. 在研究三中，作者採間接放電，如果能研究外加磁場下連續放電，根據對於穩定電壓的解釋，是否也能夠使質量小的離子產生平台狀的曲線？
3. 以極板距離、容量、輸入的電壓為操縱變因也很值得研究。

五、參考資料:

陳順強 譯 費因曼物理學二上 徐氏基金會出版 1995 年 P115~118；P182

沈在崧 譯 基本電學電子學上 徐氏基金會出版 1987 年 P175；P517~520

曹培熙 譯 基礎物理學(第三版擴增本)下冊 曉園出版社出版 P751~P753；P759~764

萬其超 譯 電化學之原理與應用 徐氏基金會出版 P63~68

六、致謝

在實驗期間，多次陷入困境，多賴學校提供實驗器材及劉演文老師、鄧明聖組長等的適時幫助與指導，使我們能夠從多次失敗中重新站起。

