

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組物理科

040109

宜蘭縣私立中道高級中學

指導老師姓名

鍾佩玲

張輝志

作者姓名

吳正陽

陳宣允

林必康

康柏皓

中華民國第 44 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

科別：物理科

組別：高中組

作品名稱：天生好動－探討花粉粒子於不同溶液中的布朗運動

關鍵詞：布朗運動、平均自由徑 ( $\lambda$ )、分子運動

編號：

## 壹、摘要：

本實驗使用香水百合花花粉粒子來觀測其在下列溶液中的布朗運動：HCl、CH<sub>3</sub>COOH、NaCl、KCl、NaOH、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>、C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>、ZnSO<sub>4</sub>、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>、Ca(OH)<sub>2</sub>、CaCO<sub>3</sub>。藉由三眼顯微鏡量測電視螢幕上花粉粒子布朗運動的路徑圖，並由此算出粒子運動的平均自由徑（ $\lambda$ ）。

用統計學的方法分析，就溶液濃度、酸鹼度、解離率三部份來討論實驗結果，發現：溶質粒子的大小是影響花粉布朗運動 $\lambda$ 值的最大因素；pH值愈大的溶液， $\lambda$ 愈小；解離率愈大的溶液， $\lambda$ 愈小。

推論其原因，認為溶質粒子愈大，花粉周圍的粒子愈少，周圍分子的撞擊力不易平衡，故 $\lambda$ 小；OH<sup>-</sup>較H<sup>+</sup>的氫鍵強，所以pH值愈大的溶液，因有愈多的OH<sup>-</sup>，而使溶液不穩定，故 $\lambda$ 愈小；化合物溶於水解離後的粒子是“離子”因是帶電的粒子，故使花粉粒子在溶液中的運動較不穩定，故 $\lambda$ 較小。

此外，我們的結果分析推論亦可在第四部分「混合溶液－布朗運動」的實驗結果獲得驗證。

## 貳、研究動機：

高二的物質科學物理篇（下冊）第十二章「氣體動力論」教到：西元1827年，英國植物學家布朗首先在顯微鏡下觀察到水中的花粉粒子不停地作不規則的運動。後來，科學家深入理解布朗運動的本質，證實了分子的存在和分子運動的存在。

因此我們想--布朗觀察的是“水”中的布朗運動，若將水改成“溶液”，則溶液中的布朗運動情形為何？溶液的化學性質對其有何影響？

## 參、研究目的：

測量溶液中花粉粒子布朗運動的平均自由徑（ $\lambda$ ）來討論“溶液化學性質與花粉粒子布朗運動的關係”。註： $\lambda$ 指花粉布朗運動中，兩次轉折間直線位移大小的平均值。）

- 一、探討「溶液濃度－布朗運動」的關係。
- 二、探討「溶液酸鹼度－布朗運動」的關係。
- 三、探討「溶液解離率－布朗運動」的關係。
- 四、探討「混合溶液－布朗運動」的關係。

## 肆、研究設備及器材：

### 一、器材

三眼顯微鏡 1 台  
棉紙(45×30cm<sup>2</sup>)400 張  
方形玻片 8 片  
滴管 40 個  
棉線適長數段

pH

電視 1 架、  
香水百合數朵  
燒杯(150mL) 40 個  
碼錶 1 個  
計 1 個。

## 二、溶液

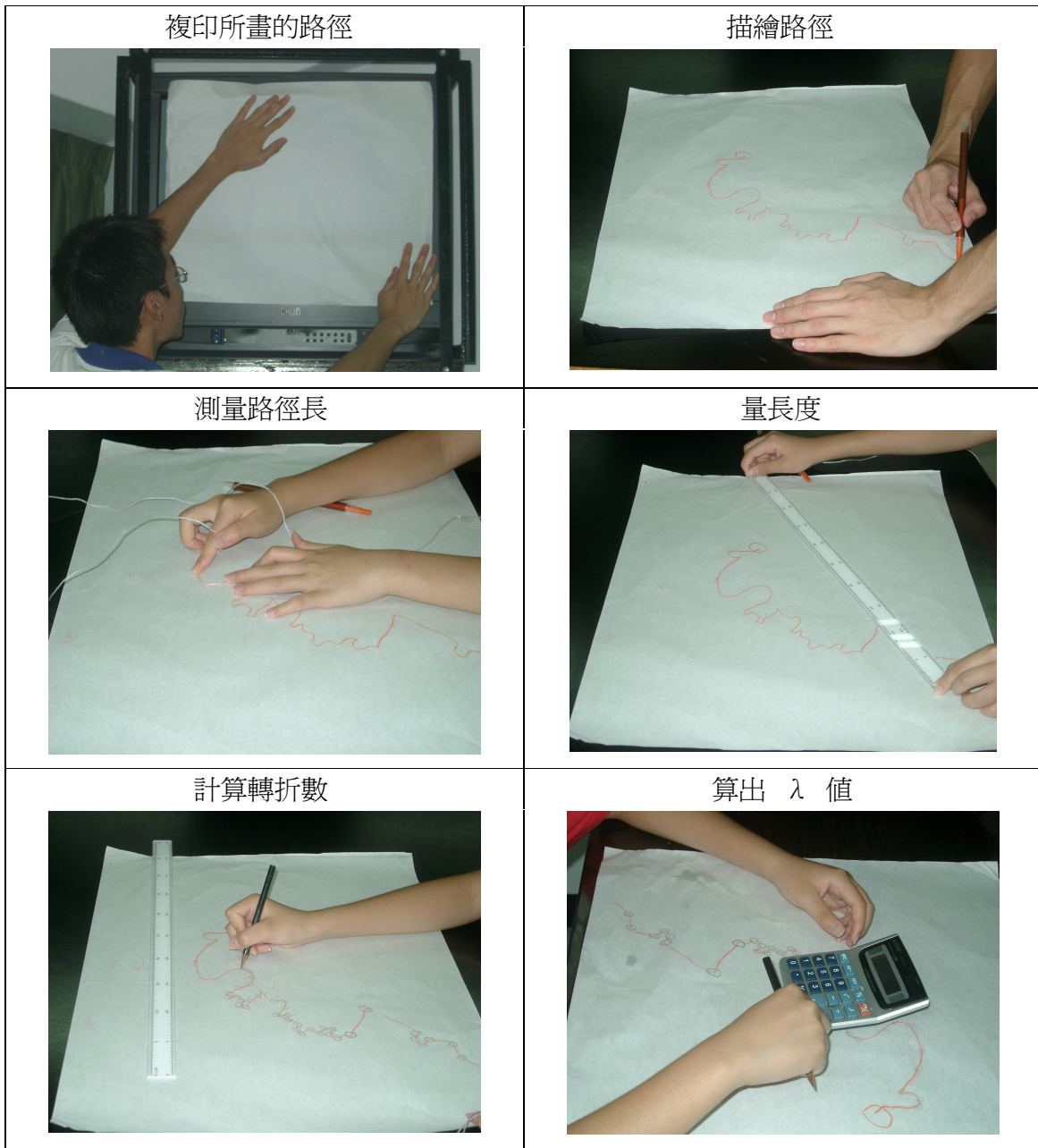
- (一) 1.0M、0.1M、0.05M、0.01M、0.005M HCl、 $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、NaCl、KCl、NaOH、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 、 $\text{ZnSO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  各 50 毫升。
- (二) 1.0M CaO、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{NaHCO}_3$  水溶液各 50 毫升。
- (三) 1.0M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  25 毫升 + 1.0M  $\text{ZnSO}_4$  25 毫升、1.0M  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  25 毫升 + 1.0M NaOH 25 毫升、1.0M  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  25 毫升 + 1.0M  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  25 毫升、1.0M  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  25 毫升 + 1.0M HCl 25 毫升。

## 伍、實驗步驟：

一、將三眼顯微鏡接上電視，利用 0.50cm 竹籤在電視螢幕上的長度，求出電視螢幕放大的倍數。

◎依下列步驟來量測花粉粒子布朗運動的平均自由徑：





## 二、「溶液濃度－布朗運動」的關係。

(一) 分別配製 1.0M、0.1M、0.05M、0.01M、0.005M 的水溶液各 50 毫升。

1. 在方形玻璃片上加入 1.0M 水溶液 80 滴，於溶液中置入花粉粒子，並將玻璃片放入顯微鏡下觀察。
2. 調整顯微鏡找到待測花粉粒子，計算 30 秒後，將 t 秒內花粉粒子的路徑圖於電視螢幕上記錄下來。  
(註：因不同溶液的花粉粒子移動速率不同，將在視野內運動的時間記下，即為 t 秒。)
3. 重複步驟 1、2，分別測出各濃度水溶液的花粉粒子布朗運動路徑圖。

### 三、「溶液酸鹼度－布朗運動」的關係。

#### (一) 酸鹼溶液：

1. 在方形玻璃片上加入 1M 酸鹼溶液 ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $\text{NaCl}$ 、 $\text{KCl}$ 、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ ) 80 滴，於溶液中置入花粉粒子，並將玻璃片放入顯微鏡下觀察。
2. 調整顯微鏡找到待測花粉粒子，計算 30 秒後，將 t 秒內花粉粒子的路徑圖於電視螢幕上記錄下來。

### 四、「溶液解離率－布朗運動」的關係。

#### (一) 溶液的解離率：

1. 在方形玻璃片上加入不同解離率的溶液 ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{CaCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、) 80 滴 (均取 1.0M) 於溶液中置入花粉粒子，並將玻璃片放入顯微鏡下觀察。
2. 調整顯微鏡找到待測花粉粒子，計算 30 秒後，將 t 秒內花粉粒子的路徑圖於電視螢幕上記錄下來。

### 五、「混合溶液－布朗運動」的關係。

#### (一) 混合溶液：

1. 在方形玻璃片上加入不同混合溶液 (1.0M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  25 毫升+1.0M  $\text{ZnSO}_4$  25 毫升、1.0M  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  25 毫升+1.0M  $\text{NaOH}$  25 毫升、1.0M  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  25 毫升+1.0M  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  25 毫升、1.0M  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  25 毫升+1.0M  $\text{HCl}$  25 毫升) 80 滴，於溶液中置入花粉粒子，並將玻璃片放入顯微鏡下觀察。
2. 調整顯微鏡找到待測花粉粒子，計算 30 秒後，將 t 秒內花粉粒子的路徑圖於電視螢幕上記錄下來。

### 六、「蒸餾水－布朗運動」的關係。

(一) 利用相同步驟測出七次  $\text{H}_2\text{O}$  的花粉粒子布朗運動路徑圖，當作其他實驗的對照值。

七、利用棉線量出每張紀錄花粉粒子運動的路徑長，並除以轉折數，得到花粉粒子的「平均自由徑 ( $\lambda$ )」記錄於〈表一〉至〈表十六〉。

## 陸、研究結果：

### 一、「溶液濃度－布朗運動」的關係：

1.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

HCl	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	2.22	1.94	1.25	1.67	2.10
$\lambda_2$	<del>3.60</del>	3.00	2.06	1.79	1.83
$\lambda_3$	1.42	1.64	3.38	2.2	1.63
$\lambda_4$	1.50	2.17	1.30	1.51	1.88
$\lambda_5$	1.65	2.74	3.32	2.44	<del>3.08</del>
$\lambda_6$	1.14	1.68	1.88	3.96	1.79
$\lambda_7$	1.36	1.71	1.11	3.08	1.87
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	1.55 $\pm$ 0.37	2.13 $\pm$ 0.55	2.04 $\pm$ 0.96	2.38 $\pm$ 0.88	1.85 $\pm$ 0.15

<表一> 花粉粒子在各種濃度的 HCl 溶液中布朗運動之平均自由徑

2.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

CH <sub>3</sub> COOH	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	1.97	2.31	2.85	4.11	1.97
$\lambda_2$	1.97	3.00	1.08	1.63	3.13
$\lambda_3$	3.04	2.44	4.50	3.38	3.21
$\lambda_4$	1.54	1.22	1.25	0.39	1.56
$\lambda_5$	1.80	2.60	3.05	3.74	4.53
$\lambda_6$	2.10	2.53	2.94	1.65	1.42
$\lambda_7$	0.84	1.91	3.50	4.78	4.70
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	1.89 $\pm$ 0.66	2.29 $\pm$ 0.57	2.74 $\pm$ 1.21	2.81 $\pm$ 1.60	2.93 $\pm$ 1.35

<表二> 花粉粒子在各種濃度的 CH<sub>3</sub>COOH 溶液中布朗運動之平均自由徑

3.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

NaOH	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	1.31	1.13	0.88	1.09	1.78
$\lambda_2$	1.31	2.00	1.87	1.84	3.14
$\lambda_3$	1.52	3.36	5.6	2.00	5.79
$\lambda_4$	1.17	4.48	1.29	2.19	1.34
$\lambda_5$	1.32	2.92	4.18	3.13	2.88
$\lambda_6$	1.30	2.11	1.35	1.93	1.14
$\lambda_7$	1.46	2.12	1.38	1.24	1.26
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	1.34 $\pm$ 0.12	2.59 $\pm$ 1.10	2.36 $\pm$ 1.80	1.92 $\pm$ 0.67	2.48 $\pm$ 1.66

<表三> 花粉粒子在各種濃度的 NaOH 溶液中布朗運動之平均自由徑

4.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{Na}_2\text{CO}_3$	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	1.15	0.90	2.29	1.50	1.05
$\lambda_2$	1.38	2.25	2.55	2.00	3.33
$\lambda_3$	0.94	2.11	3.43	2.36	1.72
$\lambda_4$	0.86	1.78	3.88	2.32	1.35
$\lambda_5$	1.28	2.08	2.62	2.00	1.95
$\lambda_6$	1.60	1.66	1.62	1.87	1.77
$\lambda_7$	1.54	0.57	1.79	2.40	1.89
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$1.25 \pm 0.28$	$1.62 \pm 0.65$	$2.60 \pm 0.82$	$2.06 \pm 0.32$	$1.87 \pm 0.72$

<表四> 花粉粒子在各種濃度的  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液中布朗運動之平均自由徑

5.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{NaCl}$	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	2.24	2.00	1.35	1.81	2.18
$\lambda_2$	1.35	2.09	4.00	3.50	1.40
$\lambda_3$	2.46	2.69	3.29	4.57	1.22
$\lambda_4$	1.74	1.14	3.15	1.56	1.79
$\lambda_5$	3.38	2.06	3.73	2.3	3.59
$\lambda_6$	1.61	2.76	1.04	2.00	3.05
$\lambda_7$	1.74	1.50	4.09	1.73	1.85
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$2.07 \pm 0.69$	$2.03 \pm 0.58$	$2.95 \pm 1.25$	$2.50 \pm 1.12$	$2.15 \pm 0.87$

<表五> 花粉粒子在各種濃度的  $\text{NaCl}$  溶液中布朗運動之平均自由徑

6.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{KCl}$	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	2.22	1.38	1.78	1.67	2.45
$\lambda_2$	3.60	1.22	6.67	2.08	2.18
$\lambda_3$	1.42	1.90	2.50	3.40	2.52
$\lambda_4$	1.50	1.24	1.80	1.36	1.59
$\lambda_5$	1.65	2.13	2.20	4.96	2.41
$\lambda_6$	3.77	1.37	1.44	3.09	1.37
$\lambda_7$	1.30	1.40	1.43	2.78	2.08
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$2.21 \pm 1.05$	$1.52 \pm 0.35$	$1.86 \pm 0.42$	$2.76 \pm 1.22$	$2.09 \pm 0.45$

<表六> 花粉粒子在各種濃度的  $\text{KCl}$  溶液中布朗運動之平均自由徑



7.

(單位:  $10^{-4}\text{m}$ )

ZnSO <sub>4</sub>	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	1.07	1.23	1.03	1.44	1.03
$\lambda_2$	1.33	5.07	3.83	5.31	2.27
$\lambda_3$	1.55	3.56	3.39	5.44	2.73
$\lambda_4$	1.53	1.34	1.49	3.26	1.35
$\lambda_5$	1.94	2.85	6.80	1.46	2.91
$\lambda_6$	1.55	1.58	1.81	1.91	1.30
$\lambda_7$	1.65	1.43	1.86	1.82	1.54
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	1.52±0.27	2.44±1.46	2.89±2.00	2.95±1.77	1.88±0.75

<表七> 花粉粒子在各種濃度的 ZnSO<sub>4</sub> 溶液中布朗運動之平均自由徑

8.

(單位:  $10^{-4}\text{m}$ )

Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	1.46	2.00	2.00	2.14	1.00
$\lambda_2$	1.63	1.78	3.00	<del>5.33</del>	2.13
$\lambda_3$	1.03	2.55	<del>4.78</del>	2.61	3.13
$\lambda_4$	1.58	2.02	1.37	2.47	1.94
$\lambda_5$	1.08	3.00	2.18	2.17	3.08
$\lambda_6$	0.85	1.59	1.96	3.28	2.92
$\lambda_7$	1.86	3.86	1.58	2.22	1.42
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	1.36±0.37	2.40±0.80	2.02±0.57	2.48±0.43	2.23±0.84

<表八> 花粉粒子在各種濃度的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液中布朗運動之平均自由徑

9.

(單位:  $10^{-4}\text{m}$ )

C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	1.67	3.45	2.29	5.56	3.25
$\lambda_2$	1.68	4.50	3.94	<del>8.13</del>	2.50
$\lambda_3$	1.46	2.51	4.70	1.71	2.50
$\lambda_4$	2.64	2.44	2.25	2.31	1.75
$\lambda_5$	0.76	1.71	3.64	4.10	2.24
$\lambda_6$	2.10	2.64	4.81	1.44	2.18
$\lambda_7$	2.75	1.84	3.13	2.88	1.81
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	1.87±0.69	2.73±0.97	3.54±1.04	3.00±1.57	2.32±0.51

<表九> 花粉粒子在各種濃度的 C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> 溶液中布朗運動之平均自由徑

10.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	1.0M	0.1M	0.05M	0.01M	0.005M
$\lambda_1$	1.16	1.13	1.48	2.42	2.02
$\lambda_2$	1.95	1.54	<del>4.50</del>	1.36	1.54
$\lambda_3$	1.59	1.90	1.21	2.06	4.85
$\lambda_4$	0.85	1.92	2.38	2.21	4.08
$\lambda_5$	1.43	1.24	0.62	0.78	0.78
$\lambda_6$	1.69	1.41	1.74	1.57	2.45
$\lambda_7$	1.14	1.41	1.49	1.28	1.66
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$1.40 \pm 0.38$	$1.51 \pm 0.31$	$1.49 \pm 0.58$	$1.67 \pm 0.59$	$2.48 \pm 1.46$

<表十> 花粉粒子在各種濃度的  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  溶液中布朗運動之平均自由徑

11.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{H}_2\text{O}$	
$\lambda_1$	2.02
$\lambda_2$	2.08
$\lambda_3$	1.24
$\lambda_4$	1.48
$\lambda_5$	1.75
$\lambda_6$	1.34
$\lambda_7$	1.26
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$1.60 \pm 0.36$

<表十一> 花粉粒子在  $\text{H}_2\text{O}$  中布朗運動之平均自由徑

12.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{H}_2\text{O}_2$	1.0M
$\lambda_1$	1.39
$\lambda_2$	1.17
$\lambda_3$	1.12
$\lambda_4$	<del>2.78</del>
$\lambda_5$	1.23
$\lambda_6$	1.10
$\lambda_7$	0.93
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$1.16 \pm 0.15$

<表十二> 花粉粒子在 1M 的  $\text{H}_2\text{O}_{2(\text{eq})}$  中布朗運動之平均自由徑

13. (單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	1.0M
$\lambda_1$	1.39
$\lambda_2$	1.83
$\lambda_3$	1.83
$\lambda_4$	3.20
$\lambda_5$	1.85
$\lambda_6$	3.01
$\lambda_7$	3.00
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$2.30 \pm 0.74$

<表十三> 花粉粒子在 1M 的  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{eq})}$  中布朗運動之平均自由徑

14. (單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{Ca}(\text{OH})_2$	1.0M
$\lambda_1$	0.83
$\lambda_2$	1.84
$\lambda_3$	1.41
$\lambda_4$	1.89
$\lambda_5$	1.95
$\lambda_6$	1.50
$\lambda_7$	1.25
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$1.52 \pm 0.41$

<表十四> 花粉粒子在 1M 的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  中布朗運動之平均自由徑

15. (單位： $10^{-4}\text{m}$ )

$\text{CaCO}_3$	1.0M
$\lambda_1$	1.39
$\lambda_2$	1.83
$\lambda_3$	1.83
$\lambda_4$	3.20
$\lambda_5$	1.85
$\lambda_6$	3.01
$\lambda_7$	3.00
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$2.30 \pm 0.74$

<表十五> 花粉粒子在 1.0M 的  $\text{CaCO}_{3(\text{eq})}$  中布朗運動之平均自由徑

16.

(單位： $10^{-4}\text{m}$ )

1.0M	$\text{Na}_2\text{CO}_3+\text{ZnSO}_4$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6+\text{NaOH}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6+\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6+\text{HCl}$
$\lambda_1$	1.52	1.10	1.17	2.78
$\lambda_2$	2.80	2.29	1.88	2.21
$\lambda_3$	1.89	1.56	1.14	2.59
$\lambda_4$	1.12	1.80	1.19	2.68
$\lambda_5$	1.69	1.26	1.53	1.59
$\lambda_6$	1.81	1.71	1.35	1.71
$\lambda_7$	2.10	1.56	1.44	2.95
$\bar{\lambda} \pm \sigma$	$1.85 \pm 0.52$	$1.61 \pm 0.39$	$1.39 \pm 0.26$	$2.36 \pm 0.54$

<表十六> 花粉粒子在 1.0M 濃度的混合溶液中布朗運動之平均自由徑

## 柒、討論：

### 一、「溶液濃度－布朗運動」的關係：

由<表一>至<表十>的實驗結果統計得<圖一>至<圖十>，發現所有溶液、各種濃度的平均自由徑，出現機率最大者為「 $1 \leq \lambda < 2$ 」( $10^{-4}\text{m}$ )。

(以下用「 $\lambda_m$ 」表示最大可能出現機率的平均自由徑。)

#### (一)依分子量大小約略排出溶液分子的大小：

$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}(342) > \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(180) > \text{ZnSO}_4(162) > \text{Na}_2\text{SO}_4(142) > \text{Na}_2\text{CO}_3(106) > \text{KCl}(74.6) > \text{CH}_3\text{COOH}(60) > \text{NaCl}(58.4) > \text{NaOH}(40) > \text{HCl}(36.5)$

由結果分析<圖一>至<圖十>看出，當溶質粒子大，如 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \sim \text{Na}_2\text{CO}_3$ ，幾乎不出現 $\lambda$ 值 $> \lambda_m$ ，(即 $2 \leq \lambda < 6$ 的機率很低)，但溶質粒子小時，機率則明顯增加。即「溶質粒子大， $\lambda$ 值小；溶質粒子小， $\lambda$ 值大」。

推論是，當溶質粒子愈大，包圍花粉的粒子數目愈少，周圍粒子撞擊力較不易平衡，故易轉折運動， $\lambda$ 值較小；反之，溶質粒子愈小， $\lambda$ 將愈大。

#### (二)由結果分析<圖五>至<圖十>看出，

1.解離數均為2的 $\text{NaCl}$ 、 $\text{KCl}$ 及 $\text{ZnSO}_4$ 溶液， $\lambda > \lambda_m$ 的機率為 $\text{ZnSO}_4 < \text{KCl} < \text{NaCl}$ 。

2.解離數分別為1、2、3的 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 、 $\text{ZnSO}_4$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 溶液從實驗結果看出 $\lambda > \lambda_m$ 的機率為 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} < \text{ZnSO}_4 < \text{Na}_2\text{SO}_4$ 。

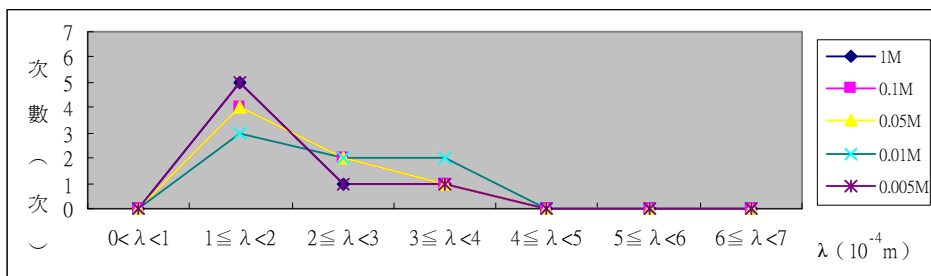
#### 3.推論：

同濃度時，解離數大的溶液有較多的溶質粒子，因此在花粉周圍的粒子數應較多，而使花粉易處於周圍撞擊力平衡的狀態， $\lambda$ 值應較大；而溶質粒子大時，圍繞花粉周圍的粒子數較少，因此 $\lambda$ 值應較小。

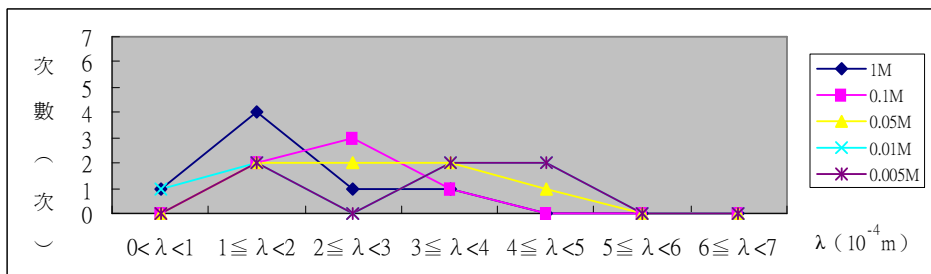
我們的實驗結果顯示，同濃度時，雖然解離數大者溶液中溶質粒子數較多，但仍以溶質分子量大、粒子顆粒大者， $\lambda > \lambda_m$ 的機率愈低(即 $\lambda$ 值偏小)。所以，證實分子大小對 $\lambda$ 的影響較解離數對其的影響大。

#### (三)綜合上述知，花粉粒子布朗運動的平均自由徑與溶液的酸鹼度關聯性低；溶液解離數亦不及溶質粒子大小對 $\lambda$ 的影響大。多是溶質粒子愈大，花粉粒子的平均自由徑就愈小。

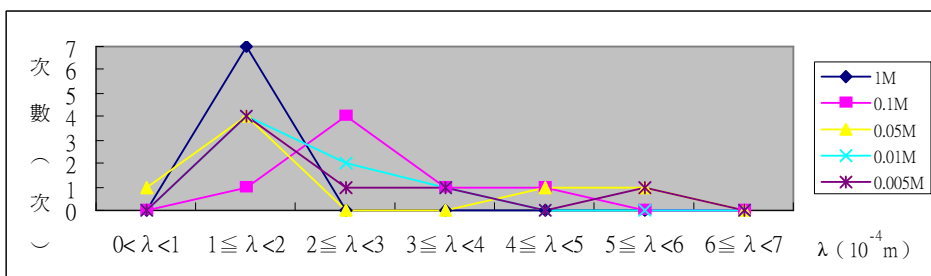
**註：**為確認並進一步討論溶液酸鹼度及解離率對花粉粒子布朗運動的影響，我們在分區科展後，再取1.0M的 $\text{H}_2\text{O}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{CaCO}_3$ 溶液，及 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{ZnSO}_4$ 、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{NaOH}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{HCl}$ 的混合溶液來觀測，得到了更完整的結果，如第二、三、四部分的討論。



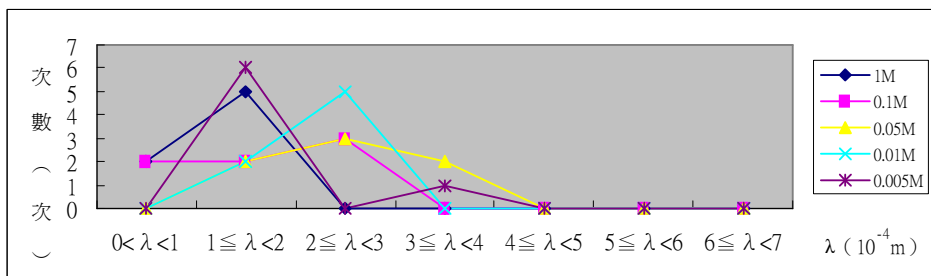
<圖一> 5 種濃度的 HCl 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖



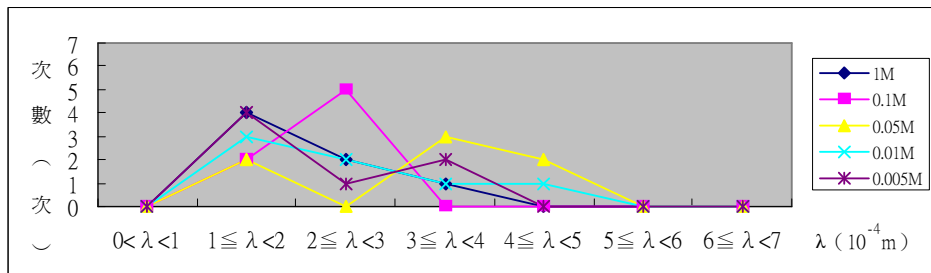
<圖二> 5 種濃度的 CH<sub>3</sub>COOH 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖



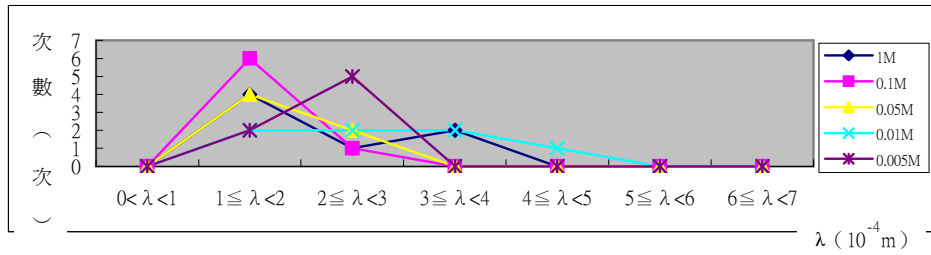
<圖三> 5 種濃度的 NaOH 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖



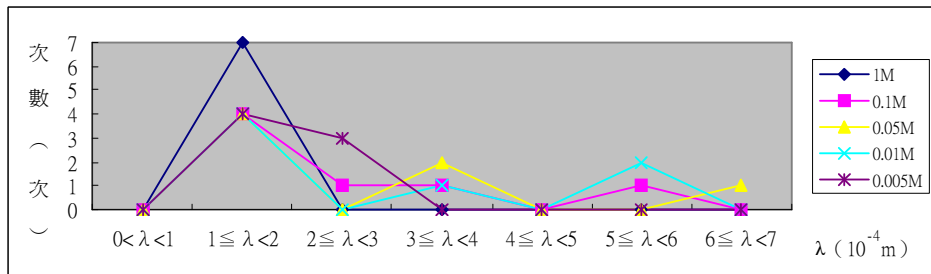
<圖四> 5 種濃度的 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖



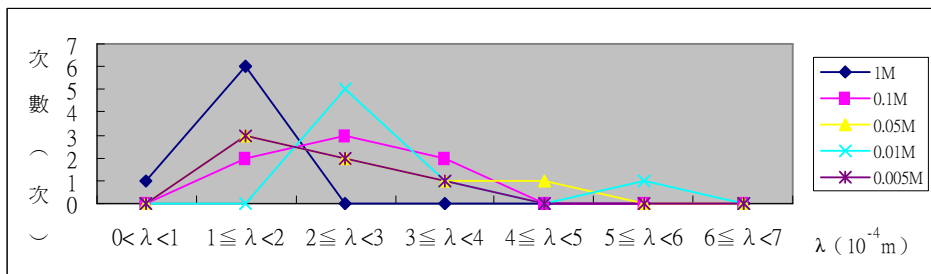
<圖五> 5 種濃度的 NaCl 溶液之  $\lambda$  分布次數統計



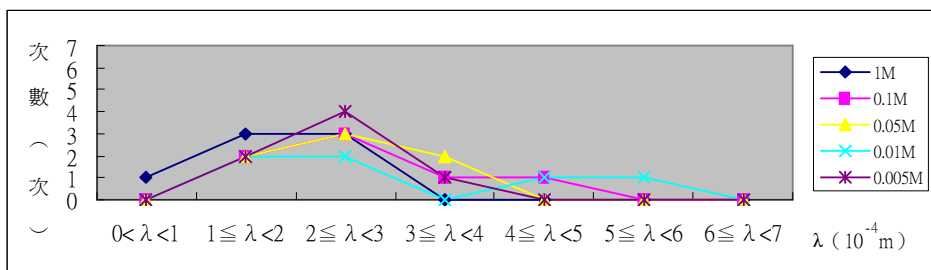
<圖六> 5 種濃度的 KCl 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖



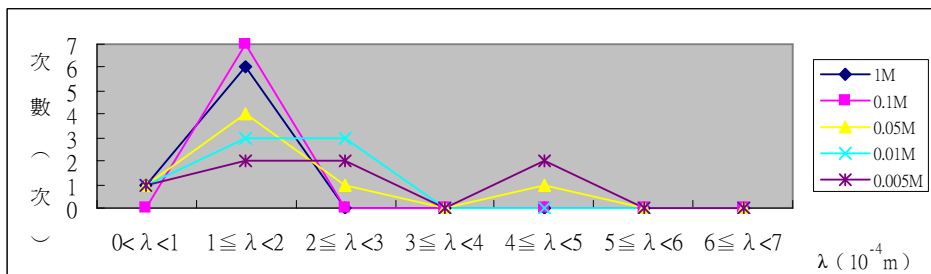
<圖七> 5 種濃度的 ZnSO<sub>4</sub> 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖



<圖八> 5 種濃度的 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖



<圖九> 5 種濃度的 C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖



<圖十> 5 種濃度的 C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub> 溶液之  $\lambda$  分布次數統計圖

二、「溶液酸鹼度 – 布朗運動」的關係

1. 實驗利用 PH 計測量溶液酸鹼度，觀測時發現 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 及 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 中花粉除了移動還有轉動或振動。

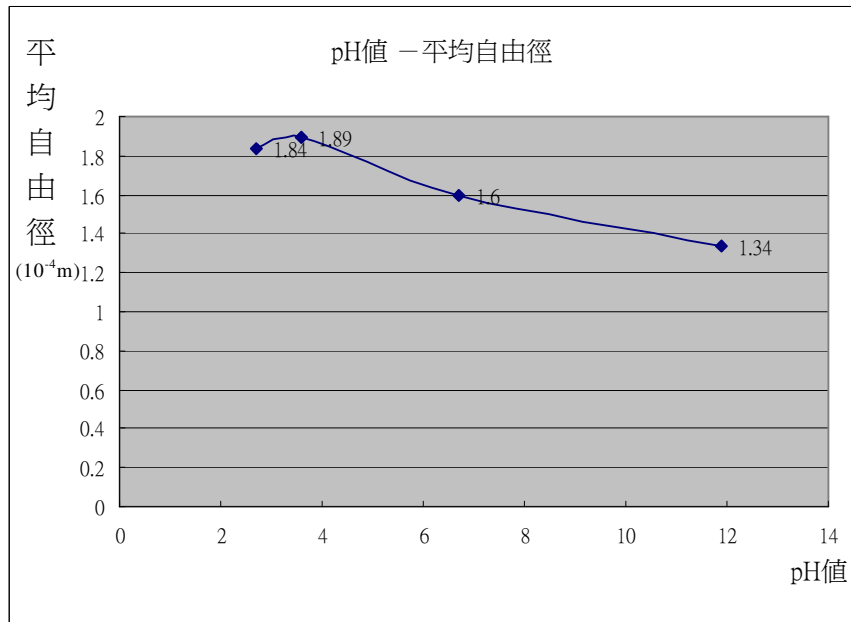
(1) C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH--花粉粒子 受到揮發的乙醇分子碰撞，而有明顯的翻轉，但其  $\bar{\lambda}$  最大；推論因 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 是極易揮發的溶液，乙醇分子“揮發”是鉛直方向的運動，水平方向穩定，故之。

(2) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>--雙氧水在空氣中易產生氧氣，實驗觀測時，明顯看到花粉粒子被帶上帶下地振動，極不穩定，故  $\bar{\lambda}$  偏小。

2. 若將 C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH 及 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 剔除不看(因其有自身獨特的性質)，則由<圖十一>看出 pH 值愈大， $\bar{\lambda}$  愈小。推論 OH<sup>-</sup>較 H<sup>+</sup>的氫鍵強，所以 pH 值愈大的溶液中，因有愈多的 OH<sup>-</sup>，而使溶液不穩定，故  $\bar{\lambda}$  愈小。

濃度 溶液 $\bar{\lambda}$ (10 <sup>-4</sup> m)	pH 值	1.0 M 的 $\bar{\lambda}$ (10 <sup>-4</sup> m)
HCl	2.7	1.84
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	3.4	1.39
CH <sub>3</sub> COOH	3.6	1.89
H <sub>2</sub> O	6.7	1.60
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	8.9	2.30
NaOH	11.9	1.34

<表十七> 花粉粒子在 pH 值不同的溶液中之  $\bar{\lambda}$



<圖十一> 花粉粒子在 pH 值不同的溶液中之  $\bar{\lambda}$  分布圖

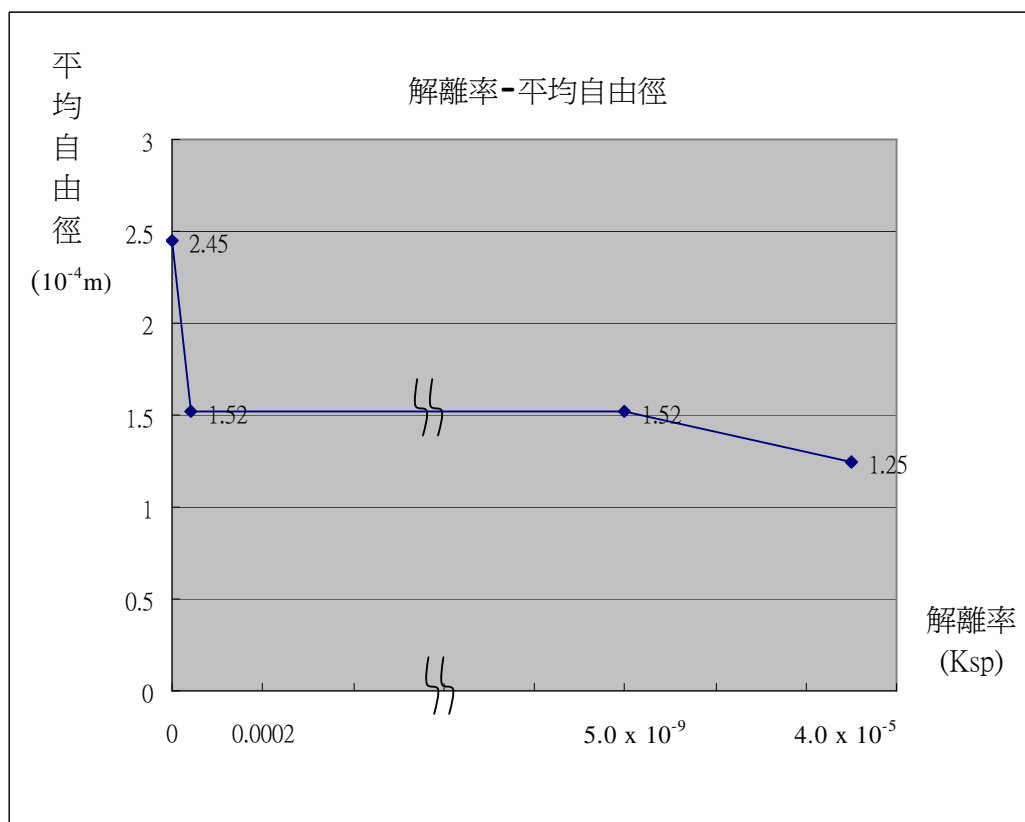


三、「溶液解離率－布朗運動」的關係。(室溫約為 25°C)

1. 由<圖十二>看出解離率愈大， $\bar{\lambda}$ 愈小。
2. 雖然書籍上一般記載「花粉粒子周圍的粒子數目愈多，愈容易成平衡， $\lambda$ 愈大」，但我們觀測的結果則是「解離率愈大， $\lambda$ 愈小」推論--化合物溶於水解離後的粒子是「離子」因是帶電的粒子，故使花粉粒子在溶液中的運動較不穩定，故 $\lambda$ 較小。

溶液種類	Ksp	1.0 M 的 $\bar{\lambda}$ ( $10^{-4}$ m)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	易溶	1.25
ZnSO <sub>4</sub>	可溶	1.52
Ca(OH) <sub>2</sub>	$4.0 \times 10^{-5}$	1.52
CaCO <sub>3</sub>	$5.0 \times 10^{-9}$	2.45

<表十八> 花粉粒子在解離率不同的溶液中之  $\bar{\lambda}$



<圖十二> 花粉粒子在解離率不同的溶液中之  $\bar{\lambda}$

#### 四、「混合溶液－布朗運動」的關係

1. 由<表十九>，比較編號 2、3、4 的混合溶液，相當於在 50 毫升的  $C_6H_{12}O_6$  溶液中，分別以 NaOH、 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 、HCl 用一半的量取代。發現並推論－

(1) 以 NaOH 取代  $C_6H_{12}O_6$ ，溶液中多了  $OH^-$  離子，故  $\bar{\lambda}$  變小。

(驗證第二部分討論)

(2) 以  $C_{12}H_{22}O_{11}$  取代  $C_6H_{12}O_6$ ，溶液中因粒子變大、粒子數減少，故  $\bar{\lambda}$  變小。

(驗證第一部分討論)

(3) 由第一部份「溶液濃度－布朗運動關係」的討論知，粒子大小影響的效應較溶液酸鹼度影響的效應大，所以用 HCl 取代  $C_6H_{12}O_6$ ，溶液中雖多了  $H^+$  離子(影響效應不及  $OH^-$  離子)，但溶液中粒子數增多，易平衡，故  $\bar{\lambda}$  變大。

(驗證第一、二部分討論)

2. 由<表十九>，在編號 1 的混合溶液中， $Na_2CO_3$  與  $ZnSO_4$  會產生部份取代作用，相當於溶解度小的  $ZnSO_4$  以  $Na_2CO_3$  取代，讓大分子的  $ZnSO_4$  減少－

(1) 由第一部份「溶液濃度－布朗運動關係」的討論知，粒子大小影響粒子數的效應較溶液解離度影響的效應大，所以用  $Na_2CO_3$  取代  $ZnSO_4$ ，溶液中雖然離子數增多，但(小)粒子數增多，故  $\lambda$  值變大。

(驗證第一部分討論)

(2) 由第三部份「溶液溶解度－布朗運動關係」的實驗結果知，若離子數愈多， $\lambda$  愈小，故在此用  $ZnSO_4$  取代  $Na_2CO_3$  的觀點來看，溶液中的離子數減少， $\lambda$  值即變大。

(驗證第三部分討論)

編號	混合溶液的種類 (25 毫升 + 25 毫升)	$\bar{\lambda} (10^{-4} m)$	對照單一溶液的 $\bar{\lambda} (10^{-4} m)$		$\bar{\lambda}$ 的改變
1	1.0 M $Na_2CO_3$ + 1.0 M $ZnSO_4$	1.85	$Na_2CO_3$	1.25	+ 0.60
			$ZnSO_4$	1.52	+ 0.33
2	1.0 M $C_6H_{12}O_6$ + 1.0 M NaOH	1.61	$C_6H_{12}O_6$	1.87	- 0.26
3	1.0 M $C_6H_{12}O_6$ + 1.0 M $C_{12}H_{22}O_{11}$	1.39	$C_6H_{12}O_6$	1.87	- 0.48
4	1.0 M $C_6H_{12}O_6$ + 1.0 M HCl	2.56	$C_6H_{12}O_6$	1.87	+ 0.69

<表十九> 花粉粒子在混合溶液中之  $\bar{\lambda}$  及在單一溶液的  $\bar{\lambda}$  之比較

#### 五、其他

(一) 我們測試多種花卉的花粉，以香水百合花的花粉較佳，布朗運動顯著。

(二) 難解離的物質(如  $Ca(OH)_2$ ) 為使觀察準確，本組利用沉澱及離心機離心法使溶液澄清。

## 捌、結論：

本實驗在不知溶液性質對花粉布朗運動的影響下，先測出各種溶液的花粉布朗運動路徑圖，再利用棉線算出每次的平均自由徑  $\lambda$ 。由初步的實驗結果，應用「統計學」的方法，試著找出溶液酸鹼度、解離率對花粉布朗運動  $\lambda$  的影響。

從實驗結果看出溶質粒子大小、酸鹼性質、解離性質均會影響花粉粒子的布朗運動，溶質粒子愈大、溶液 pH 值愈大或溶液解離率愈大， $\lambda$  值均愈小。由此推知，溶質粒子大時，因花粉周圍的粒子數減少，不易穩定，故  $\lambda$  較小；溶液中  $\text{OH}^-$  的氫鍵較強，會使溶液較不穩定，故  $\lambda$  較小；溶液中有愈多的離子，比較非電解質溶液，卻因離子而使溶液不穩定，故  $\lambda$  較小。

課堂上，老師告訴我們「布朗運動」時，現象的描述及平均自由徑的解釋都是紙上談兵，此次實驗，剛開始因花粉種類不適當，布朗運動極不顯著，幾番挫折、再嘗試後，當看到百合花粉的布朗運動，那種欣喜真是難以言喻。直接看到粒子的布朗運動，心中對粒子的“天生好動”真是讚嘆！

## 玖、參考文獻：

- 1.王忠茂、邱智宏、翁春和、葉名倉,「高中化學(上)」修訂初版,台南,南一有限公司,p.158,2003。
- 2.李育嘉,「漫談布朗運動」,[http://episte.math.ntu.edu.tw/articles/mm/mm\\_09\\_3\\_03/index.html](http://episte.math.ntu.edu.tw/articles/mm/mm_09_3_03/index.html)

## 評語

040109 高中組物理科 最佳團隊合作獎

天生好動

- 一、 實驗數據詳盡。
- 二、 測量方式合宜，惟放大的倍數須標明。
- 三、 對於粒子大小、酸鹼、解離與平均自由徑的關係的推論符合實驗結果。