

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 物理科

040107

微妙的震動

學校名稱：國立臺南第一高級中學

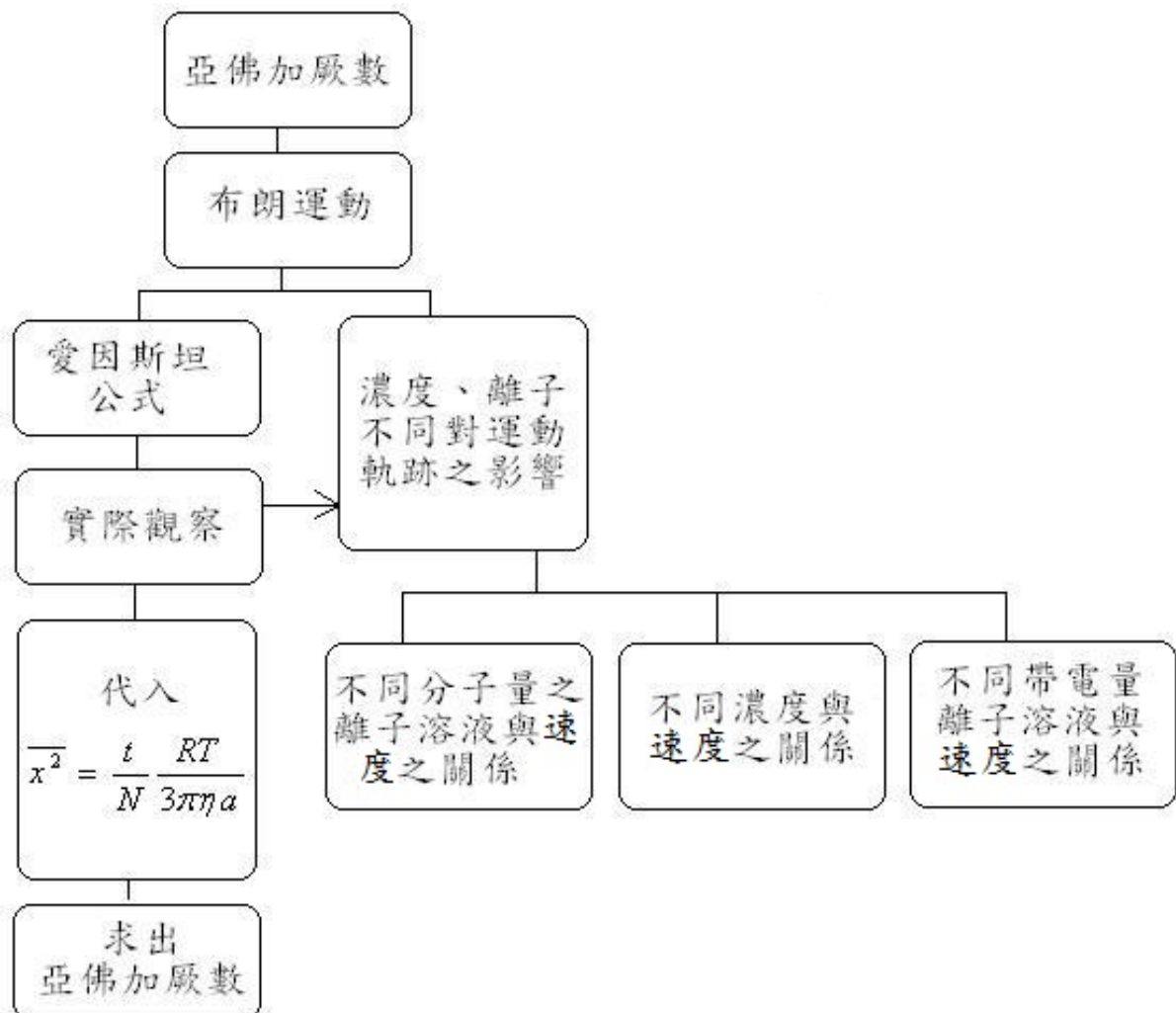
作者： 高二 陳彥志 高二 鄭順祥 高二 楊惟曉	指導老師： 陳文賢
---	------------------

關鍵詞：布朗運動、亞佛加厥常數、粒子速度

題目：微妙的震動

摘要

布朗運動，在人最常接觸的空氣與水中都會發生，卻很少人注意到，偶然的機會下，我們開始探討其現象。對於亞佛加厥數好奇嗎？在物理與化學中，這是個非常重要的常數，卻不知道它如何而來。為了證明其正確性，我們找到了愛因斯坦推導出的公式並藉由布朗運動，以創新的方法、便宜的儀器，觀察與測量並導入公式內，求出其值到 10^{23} 的科學尺度。現階段，測量濃度極小的溶液是相當不容易的，需要昂貴的儀器、特定的限制。實驗觀察的同時，我們發現有趣的現象：不同的濃度下，微小粒子在溶液中的運動方式竟然不同！於是對此現象加以探討，經由多次測量與計算，我們僅藉著實驗室中簡單的儀器：攝影機、電腦、顯微鏡，便能推測離子溶液的濃度。



壹、研究動機

- 一、作物理題目時總是離不開亞佛加厥數。對於亞佛加厥數的由來，我們都感到非常的好奇！到底 6×10^{23} 是怎麼推算出來的呢？為了解答，我們不但問了物理老師，更上網查了許多相關資料。費了九牛二虎之力，才明白：原來是羅伯特·布朗在用一般的顯微鏡觀察懸浮於水中由花粉所迸裂出之微粒時，發現微粒會呈現不規則狀的運動，因而稱它叫布朗運動；而聰明的愛因斯坦就從布朗運動裡，推導出一個公式。於是我們決定循著這一個令人感到好奇的公式的蹤跡，一步一步解開這不可思議的謎底……
- 二、化學實驗課時，每次都是秤溶質的重量，並加進定量的溶劑來調配溶液的濃度，我們相當的好奇「如何可從反面推測溶液的濃度？」不需要運用到相當的儀器，就可以測量出離子溶液的濃度。

貳、研究目的

- 一、實際觀測布朗運動。
- 二、從微小粒子的布朗運動中，運用愛因斯坦所推導出的公式 $\overline{x^2} = \frac{t}{N} \frac{RT}{3\pi\eta a}$ 求出亞佛加厥數。
- 三、運用布朗運動的現象，在顯微鏡底下，觀察碳粉每秒受撞擊之位移大小，和不同離子溶液濃度的關係變化，並將未知濃度的離子溶液，由拍攝、測量與計算將其推測。

註⁽¹⁾：R 理想氣體常數 = 8.31 J/mol·K，當時室溫約 24°C，T 為絕對溫度， η 為 24°C 時水的黏滯係數 0.000911 Kg/m-s，a 為粒子半徑，t 為時間， $\overline{x^2}$ 為位移平方的平均，N 為亞佛加厥數。

參、研究設備及器材

複式顯微鏡	蠟燭	碳粉	橡皮擦
嬰兒潤膚乳	花粉	大理石粉	三兩裝粉碎機
Motic Images 2000 1.2	粗吸管	水彩顏料	蓋玻片
載玻片、懸滴波片	蠟土	保麗龍	香菸
牛奶	豆漿	醋酸	培養皿
二氧化鈦	夾鏈袋	塑膠管	電子天秤
容量瓶	烘箱	鑷子	旋滴玻片(中間有凹槽)
抽濾球	sony 顯微鏡攝影機	nikon 高速攝影機	滴管
燒杯	漏斗	安全吸球、移液管	硝酸鈉(NaNO_3)
硝酸鉀(KNO_3)	氫氧化鈉(NaOH)	氨水(NH_4OH)	氫氧化鉀(KOH)
氯化鈉(NaCl)	氯化銣(RbCl)	氯化銫(CsCl)	氯化鎂(MgCl_2)
氯化鈣(CaCl_2)	氯化銦(SrCl_2)	氯化鋇(BaCl_2)	氯化鉀(KCl)



→ 配備有 40X 物鏡之顯微鏡、電腦

肆、研究過程與方法

以下是第一、二項實驗的步驟

一、實驗一：

(一)、我們嘗試了百合花、咸豐草、小黃花等來實驗。

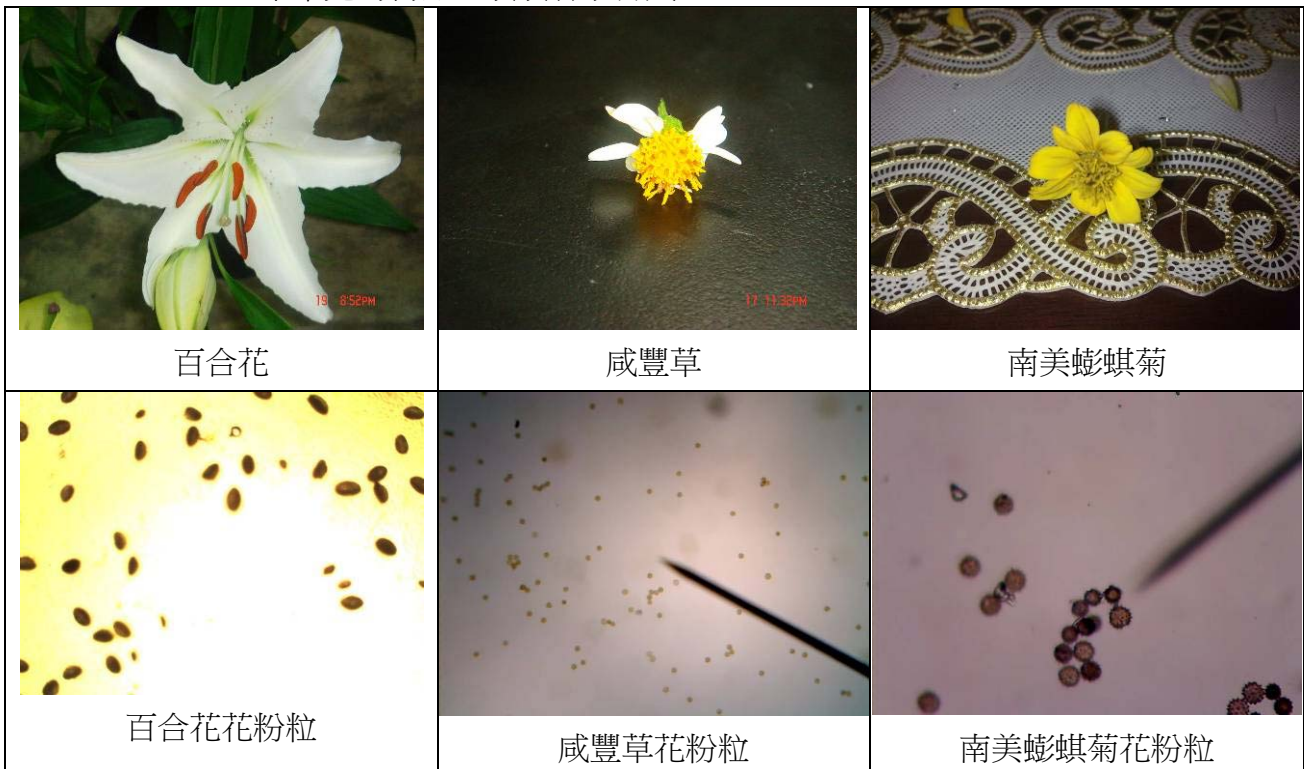
(二)、實驗過程：

1. 準備一培養皿，置入些許水，再加入花粉。
2. 因為培養皿過厚，致使無法放大至較大的倍率；所以我們嘗試其他方法：在載玻片上，放上一小段粗吸管，旁邊用蠟土填塞起來，裡面先裝水，再灑上花粉（因為我們發現先加花粉再加水，花粉容易沉澱）。
3. 因為光源的熱會產生熱對流，為此，我們將夾鍊袋裡裝水，放在光源上，使其吸熱減少熱對流的發生。
4. 觀察花粉運動並用複式生物顯微照相系統拍照，再用 Motic Images 2000 1.2 分析。

(三)、運用此方法有許多缺失，故將其方法捨棄，原因如下：

1. 花粉容易沉澱，不易觀察。
2. 花粉受熱過度，會爆開，裡面黃色的黏絲互相牽制，不易觀察。
3. 因為熱對流之關係，而無法非常順利看見花粉進行布朗運動。
4. 粗吸管面積過小，需尋找面積更大的材料。

(四)、運用花粉來做，缺失過多，所以我們決定先從實驗室中的用品和生活中常見的物品一項項著手嘗試。



二、實驗二：

(一)、我們使用上次（實驗一）所做的特殊載玻片和大理石粉、碳粉、保麗龍和橡皮擦來實驗。

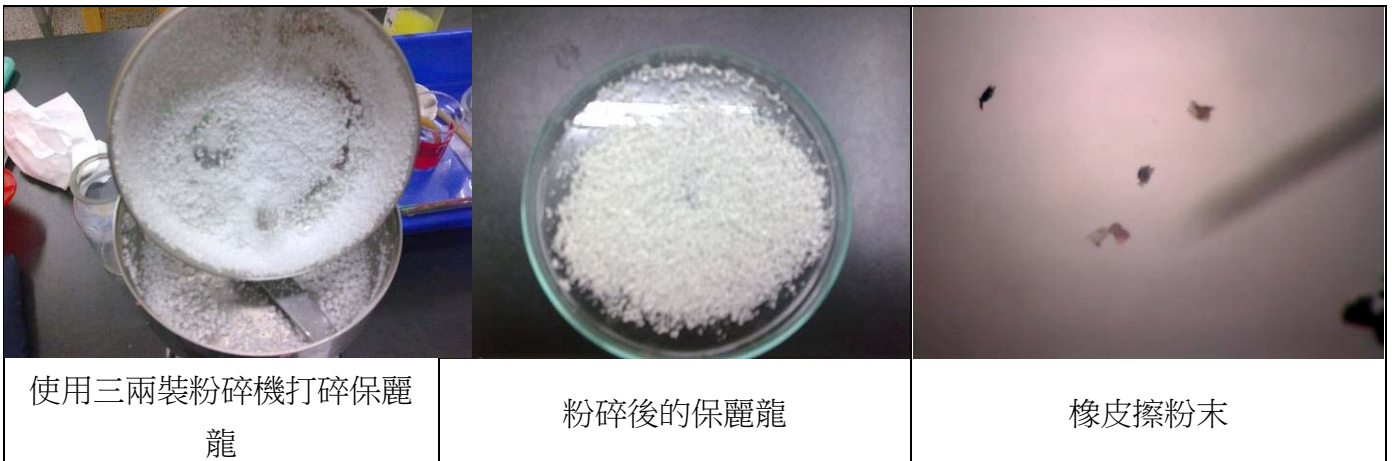
(二)、實驗過程：

1. 使用上次我們所做的特殊載玻片，在中間加水，再加入大理石粉、碳粉、保麗龍粉末和橡皮擦粉末來觀察。
2. 觀察大理石粉、碳粉、保麗龍和橡皮擦的運動並用複式生物顯微照相系統拍照，再用 Motic Images 2000 1.2 分析。

(三)、此方法亦有缺失，原因：

1. 加入觀測物質的時候，容易一次灑太多，使其布滿管中，不易觀測。
2. 容易產生靜電，使觀測物質的粒子倆倆黏在一塊兒，導致無法產生布朗運動。
3. 橡皮擦和保麗龍的顆粒太大，無法產生布朗運動。

(四)、我們開始上網尋找不易產生靜電的物質。



三、實驗三：

(一)、上網查詢後，發現有人使用煙灰來做實驗；又因有人建議使用氧化鎂嘗試，故使用這兩種物質來實驗。

(二)、實驗過程：

1. 先將鎂帶和香菸燃燒，取得煙灰和氧化鎂。
2. 使用特殊載玻片，在中間加水，再加入氧化鎂、煙灰來觀察。
3. 觀察煙灰和氧化鎂的運動並用複式生物顯微照相系統拍照，再用 Motic Images 2000 1.2 分析。

(三)、當兩個粉末一接觸到，就容易倆倆黏在一塊兒，導致無法產生布朗運動。



燃燒鎂帶



氧化鎂

四、實驗四：

(一)、繼碳粉、大理石粉、氧化鎂和煙灰因靜電而不易觀察，我們開始考慮是否拿生活中的東西來做觀察。

(二)、我們決定用豆漿跟牛奶中的豆渣和牛奶脂肪來實驗。

(三)、實驗過程：

1. 使用特殊載玻片，在裡面滴滿牛奶，在滴少許的水和幾滴醋酸(使牛奶結塊)，再均勻攪拌(豆漿方法亦同)。
2. 觀察豆渣和牛奶脂肪的運動並用複式生物顯微照相系統拍照，再用 Motic Images 2000 1.2 分析。

(四)、此方法缺失：

1. 牛奶的脂肪太小，不易找尋，觀察不但吃力且不易測量。
2. 豆漿的豆渣濾太乾淨且數量太少，亦不易觀察。

五、實驗五：

(一)、經過這幾次的實驗，我們決定先到網站上找更多的資料，再著手研究。

在維基百科中，我們發現，花粉直徑介於於 $30\sim 50\mu\text{m}$ ，最小的也有 $10\mu\text{m}$ 。

相較之下，水分子的直徑約 0.3nm ，大概是花粉的萬分之一，難以使花粉產生不規則的振動。因此，**花粉幾乎不受布朗運動的影響**，所以我們想到在做實驗一時，百合花粉受熱而爆開，掉出的小顆粒可以嘗試拿來實驗。

(二)、實驗過程：

1. 將百合花花粉灑在特殊載玻片上，再加入些許的水。
2. 放在顯微鏡上開大燈加熱，直到花粉爆開。
3. 觀察花粉中的小顆粒的運動並用複式生物顯微照相系統拍照，再用 Motic Images 2000 1.2 分析。

(三)、觀察後，我們發現有許多需改進之處：

1. 花粉爆開後，顆粒依然很大，水分子無法使其產生明顯的振動。
2. 使用 40X 物鏡時發現，物鏡會碰到水，故不能觀察。

(四)、因為我們自製的特殊載玻片無法用 40X 物鏡觀測，因此我們決定嘗試其他載玻片。

六、實驗六：

(一)、原本是用塑膠玻片來做特殊載玻片，但無法使用 40X 物鏡觀察，因此我們決定改良物鏡。

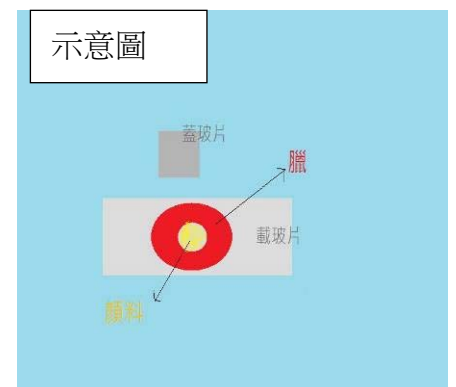
(二)、瀏覽網頁時，在偶然的機運下發現大陸的研究生為了研究方便，皆使用水彩顏料來做實驗，因此我們決定用水彩嘗試。

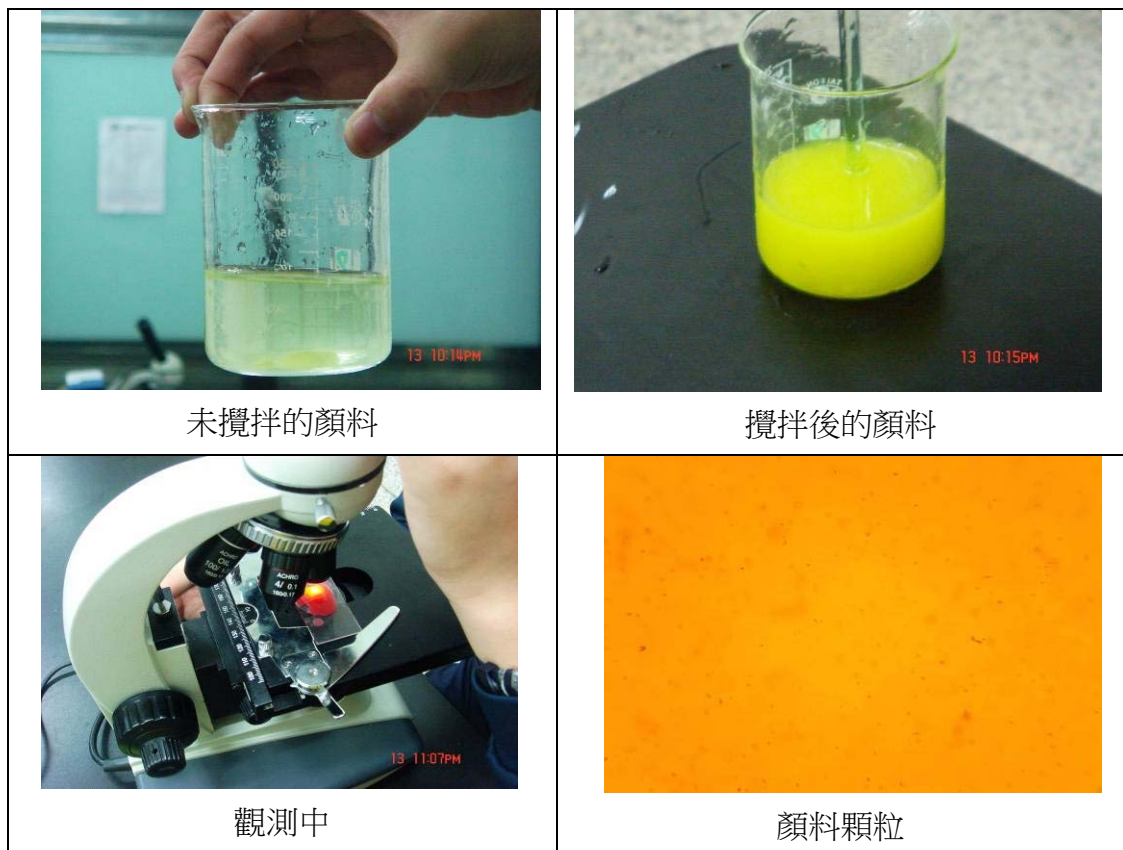
(三)、實驗過程：

1. 在載玻片上，用融化的蠟油滴成一圈，製成第二版特殊載玻片。
2. 將水彩顏料與適當的水混和，再加入第二版特殊載玻片中。
3. 觀察水彩顏料的運動並用複式生物顯微照相系統拍照，再用 Motic Images 2000 1.2 分析。

(四)、觀察後，我們發現有許多需改進之處：

1. 水彩顏料和水的比例不易配置，太濃或太淡都無法看見布朗運動。
2. 雖然已經能放到 400 倍，但有時物鏡和第二版特殊載玻片中的觀測物質還是會接觸到，使反應不易觀察，所以我們必須找出更適合的載玻片。





七、實驗七：

- (一)、經過多番的打聽，我們找到一種叫「懸滴玻片」的載玻片，它不同於一般玻片的地方是玻片中心有一個圓形小凹洞，我們能將觀測物品放在洞中。這樣不但節省空間，物鏡也不會接觸到觀測物。
- (二)、後來老師幫我們找到一種白色粉末，稱為二氧化鈦，在理化課本中有提到過，所以我們嘗試利用二氧化鈦來做實驗。
- (三)、實驗過程：
 1. 先在懸滴玻片中加入適量的水，再灑上二氧化鈦、蓋上蓋玻片。
 2. 觀察二氧化鈦的布朗運動並用複式生物顯微照相系統拍照，再用 Motic Images 2000 1.2 分析。
- (四)、相較於之前的實驗，使用二氧化鈦加上懸滴玻片是較好的選擇，因此我們選定這種方式發展，來求出更精準的結果。

以下是第三項實驗的步驟

八、我們使用了碳粉，碳粉在水中的顆粒大小相當清晰，方便測量與觀察。

我們使用懸滴玻片將少許碳粉置入溶液中(圖 1)，蓋上蓋玻片(圖 2)並放置複試顯微鏡下觀察(圖 3)

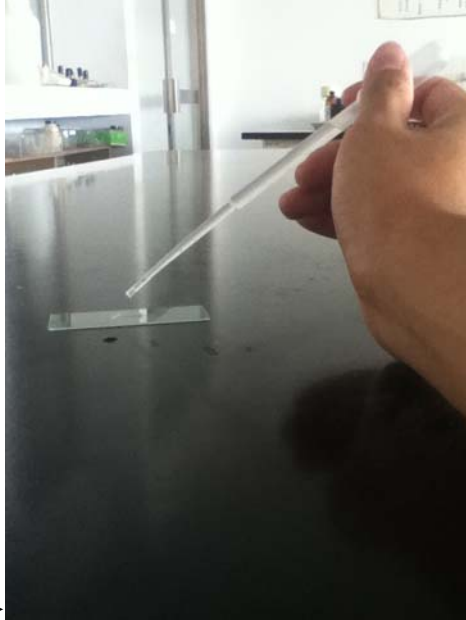


圖 1→

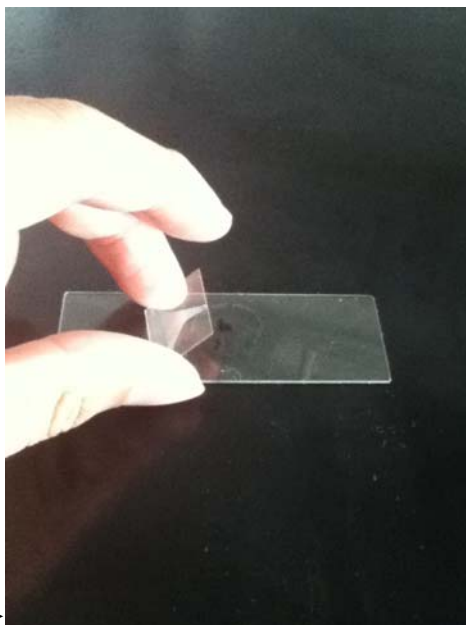


圖 2→



圖 3→

九、再來開始針對不同濃度的相同溶液去進行觀察。首先，我們將硝酸鉀(圖 6)以電子天秤取定量(圖 7)溶於水中，並利用移液管(圖 8)和容量瓶將它調配成 1M、0.1M、0.01M、0.001M、0.0001M 五組(圖 9)，然後用滴管將其抽出少許(圖 10)，製作成不同濃度的玻片並觀察其運動(圖 11)，在觀察過程至中，我們以夾鏈袋裝水放置燈原處，有效大幅降低燈原溫度，爾後的三種不同化合物也是依此方法操作。



圖 6→



圖 7→



圖 8→



圖 9→



圖 10→

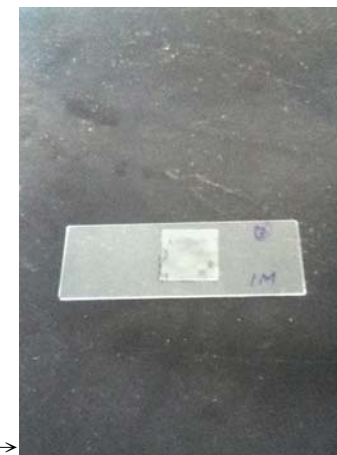
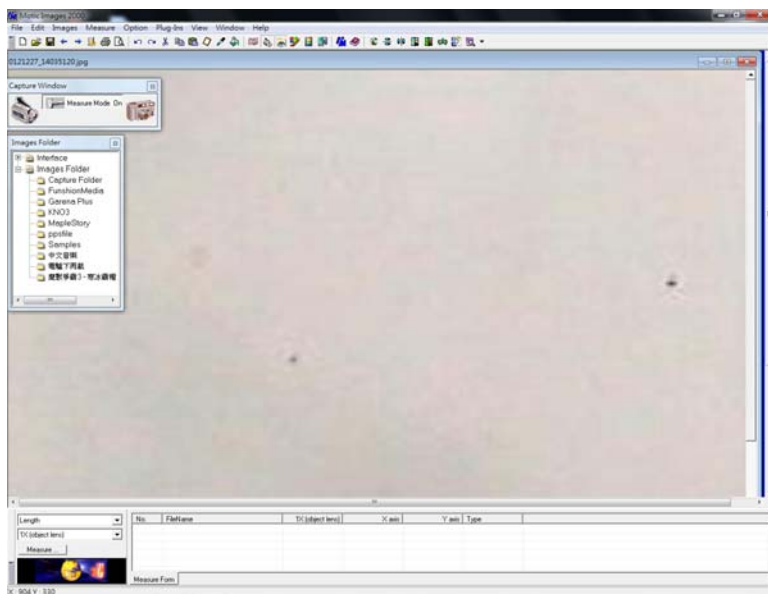
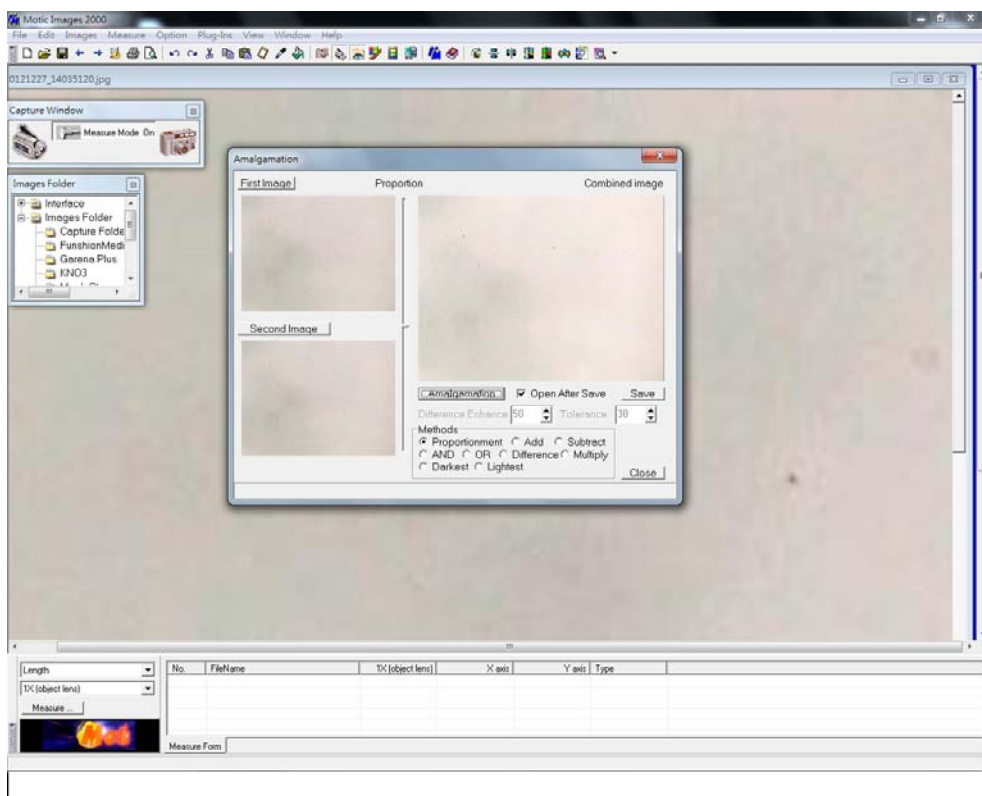


圖 11→

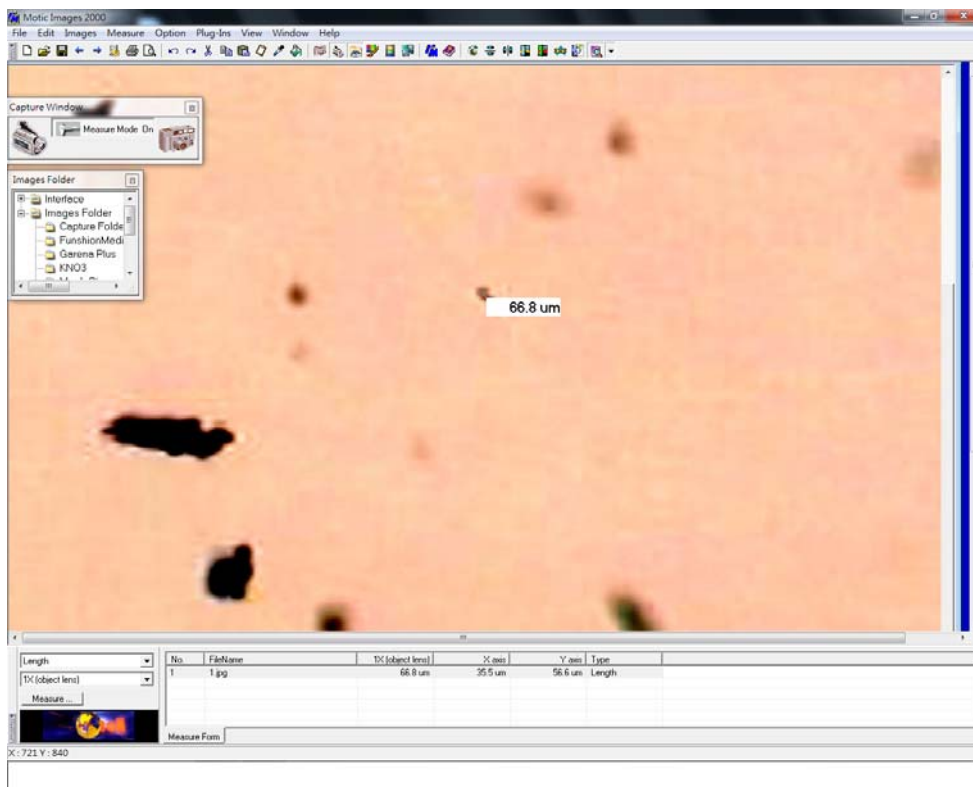
十、一開始的拍攝過程，我們用高速攝影機與顯微鏡攝影機拍攝，卻發現無法測量出其正確的數據，因此最後使用了 Motic Images 2000 1.2 軟體 以及一體成形的攝影顯微鏡，把結果拍攝下來，記錄並測量。



十一、每秒拍一張，每組 20 張，每個濃度 10 組。我們使用 Motic Images 2000 1.2 將第 1 張圖疊至第 2 張圖；第 2 張圖疊至第 3 張圖…依此類推(圖 12)，測量其每秒位移 (圖 13)。



←圖 12



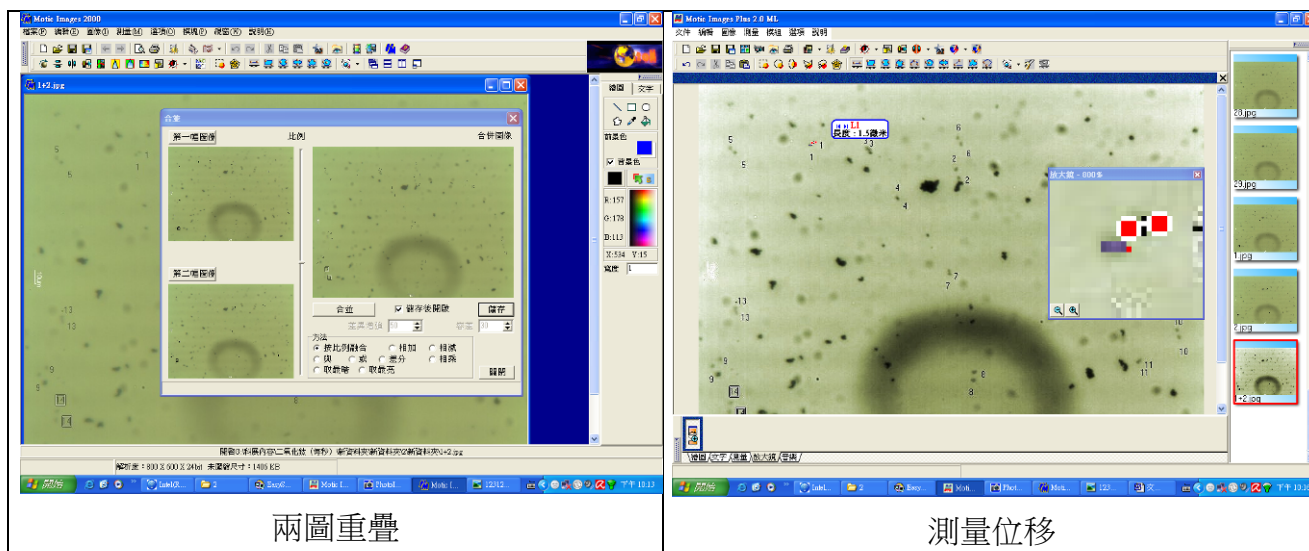
←圖 13

伍、研究結果

- 一、在嘗試了所有的方法後，我們發現利用懸滴玻片和二氧化鈦，來觀測布朗運動最為明顯，於是我們利用軟體定時拍攝的功能，測量了十數次後，挑選了五個最清楚的樣本，然後以間隔十秒或十二秒的照片，利用軟體將兩圖重疊，量測出二氧化鈦粒子在 X 軸與 Y 軸方向移動的位移，同時也測量出二氧化鈦粒子的直徑，代入愛因斯坦在論文中所提到的公式

$$\overline{x^2} = \frac{t}{N} \frac{RT}{3\pi\eta a}$$

進而計算出亞佛加厥數。



兩圖重疊

測量位移

我們取了實驗數據中的樣本一來說明：

(一) 樣本一：

項次	直徑(μm)	x 軸(μm)	y 軸(μm)	時間(秒)	亞佛加厥數	誤差
1	1.953006	2.66436	0.343739	10	4.07887E+23	-32.27%
2	1.953006	1.473612	0.770755	10	1.0644E+24	76.75%
3	1.953006	0	2.195122	10	6.1091E+23	1.45%
4	1.953006	0.484429	3.902439	10	1.90362E+23	-68.39%
5	1.953006	0.726644	2.451022	10	4.50416E+23	-25.20%
6	1.953006	1.937716	4.146341	10	1.40532E+23	-76.66%
7	1.953006	0.726644	3.909949	10	1.86125E+23	-69.09%
8	1.953006	1.712955	0.54463	10	9.11128E+23	51.30%
9	1.953006	1.953006	1.243333	10	5.49188E+23	-8.80%
10	1.953006	0.242215	2.208445	10	5.96387E+23	-0.97%
11	1.953006	2.422145	1.463415	10	3.67579E+23	-38.96%
12	1.953006	1.937716	1.707317	10	4.41357E+23	-26.71%
13	1.953006	1.453287	0.54463	10	1.22213E+24	102.94%
14	1.953006	1.211073	1.774712	10	6.37676E+23	5.89%
15	1.953006	0.687477	2.936835	10	3.23569E+23	-46.27%
16	1.953006	1.473612	1.707317	10	5.78733E+23	-3.90%
17	1.953006	0.766485	2.926829	10	3.21582E+23	-46.60%
18	1.953006	2.6755	2.208448	10	2.44584E+23	-59.38%
19	1.953006	1.712955	1.243333	10	6.57064E+23	9.11%
20	1.953006	0.484429	3.666546	10	2.15211E+23	-64.26%
21	1.953006	0.343739	2.693838	10	3.99151E+23	-33.72%
22	1.953006	1.953006	2.936835	10	2.36647E+23	-60.70%
23	1.953006	3.148789	3.17997	10	1.46986E+23	-75.59%
平均					3.349E+23	-44.39%

- 1.在經過了幾次的測量後，我們累積了不少經驗，包括製作的玻片已經以很容易地看到布朗運動的現象，而且我們操作軟體來拍照、測量的能力也更為熟練，所以我們本次測量我們取了最多的數據，而我們發現在此次測量中，有多組數據幾乎已非常近理論值，在 23 組數據中誤差在 $\pm 10\%$ 之內的組數有 6 組，最接近一組的數據為 5.96387×10^{23} ，誤差只有 -0.97% ，而誤差最大的，達到 102.94% 。
- 2.我們求得的平均值為 3.349×10^{23} ，雖然與理論值的誤差仍達到 -44.39% ，但比前面的測量都更接近理論值，也顯示我們的量測技術已經有相當大的進步。

(二)、以下列舉幾個樣本來作為參考(因篇幅問題，僅列舉八項)

樣本編號	所求亞佛加厥數平均值
一	3.349E+23
二	1.146E+23
三	5.200E+23
四	1.088E+23
五	1.085E+23
六	1.380E+23
七	3.381E+23
八	2.286E+23

1.我們以簡易的設備來操作實驗，結果都能夠達到 10^{23} 次方的科學尺度，以簡單儀器來看已是相當精確了。

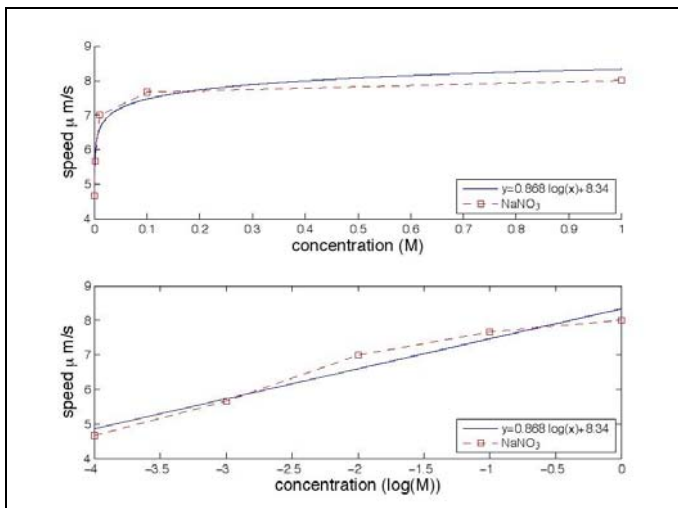
二、我們做了五種不同的濃度，分別是 1M、0.1M、0.01M、0.001M、0.0001M。

每個濃度取 10 顆不同的碳粉顆粒，一顆顆粒拍 20 張照片，再將每個濃度的平均與顆粒大小會製成圖

三、濃度對速度關係

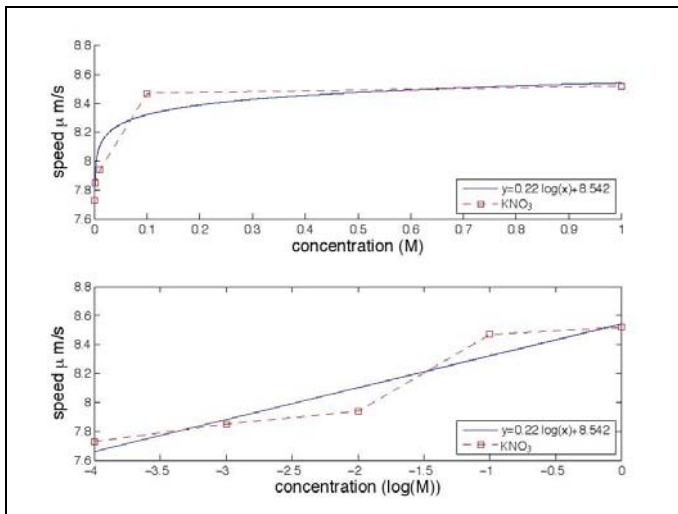
(一)、將所有離子的濃度對速度關係製成圖表

1.NaNO₃:迴歸公式 $y=0.868 \log(x)+8.34$



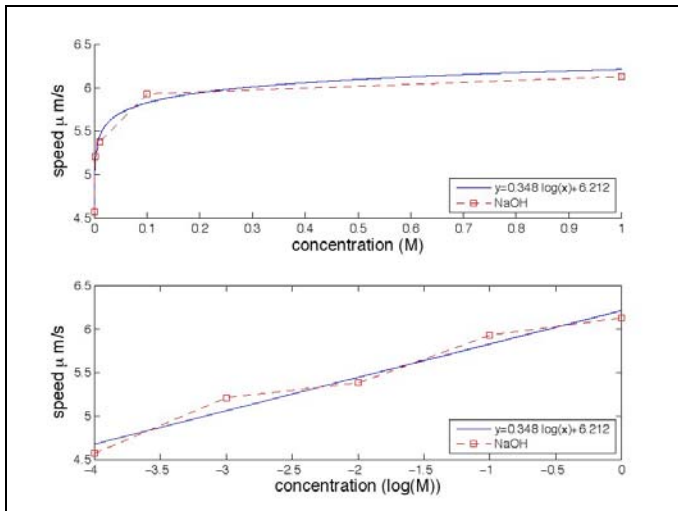
濃度(M)	平均速度 (μ m/s)
0.0001	4.67
0.001	5.67
0.01	7.00
0.1	7.67
1	8.01

2.KNO₃:迴歸公式 $y=0.22 \log(x)+8.542$



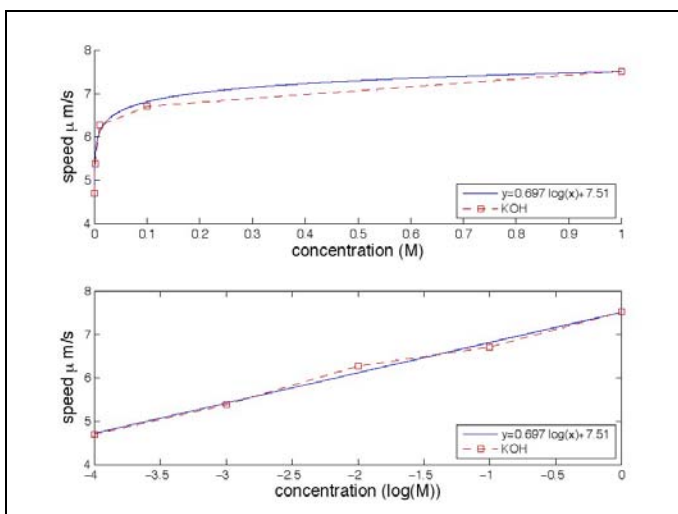
濃度(M)	平均速度 (μ m/s)
0.0001	7.73
0.001	7.85
0.01	7.94
0.1	8.47
1	8.52

3.NaOH:迴歸公式 $y=0.348 \log(x)+6.212$



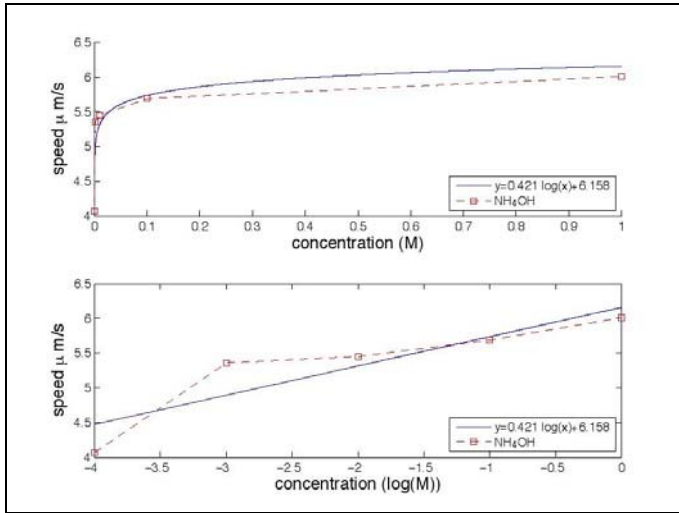
濃度(M)	平均速度 (μ m/s)
0.0001	4.57
0.001	5.21
0.01	5.38
0.1	5.93
1	6.13

4.KOH:迴歸公式 $y=0.697 \log(x)+7.51$



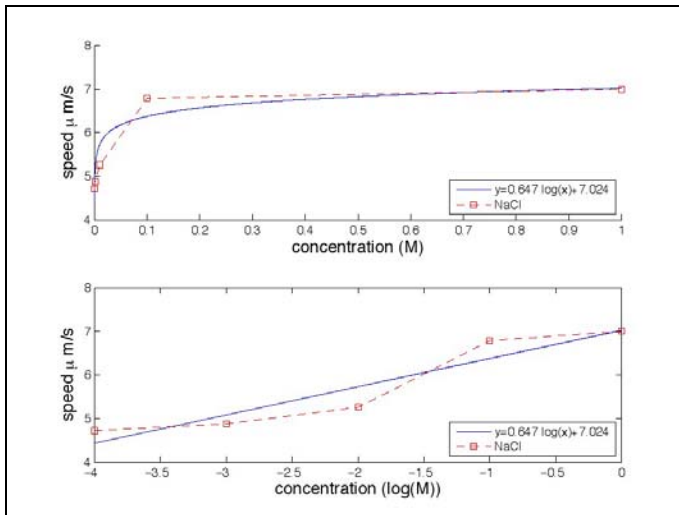
濃度(M)	平均速度 (μ m/s)
0.0001	4.7
0.001	5.38
0.01	6.27
0.1	6.71
1	7.52

5. NH_4OH : 迴歸公式 $y=0.421 \log(x)+6.158$



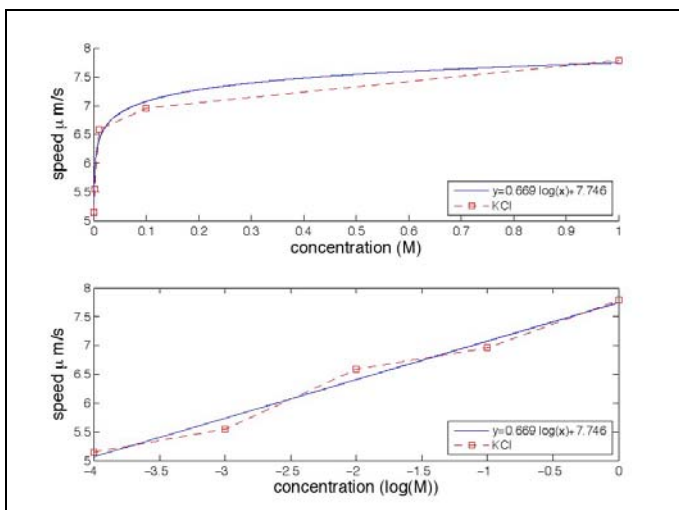
濃度(M)	平均速度 ($\mu\text{m/s}$)
0.0001	4.07
0.001	5.36
0.01	5.45
0.1	5.69
1	6.01

6. NaCl : 迴歸公式 $y=0.647 \log(x)+7.024$



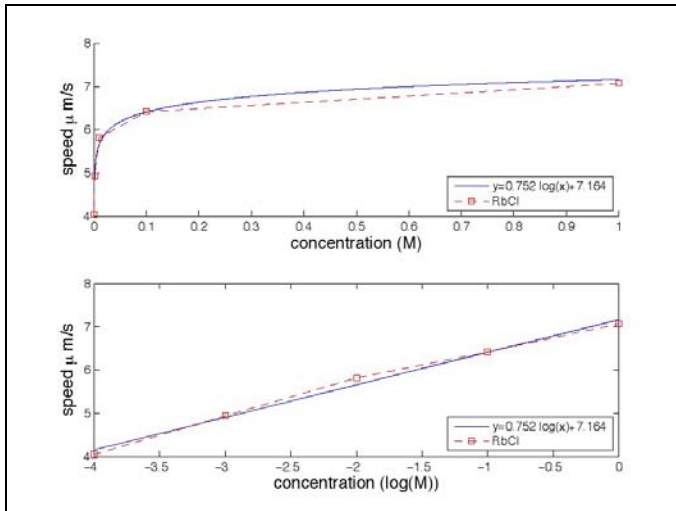
濃度(M)	平均速度 ($\mu\text{m/s}$)
0.0001	4.72
0.001	4.88
0.01	5.26
0.1	6.79
1	7.00

7. KCl : 迴歸公式 $y=0.669 \log(x)+7.746$



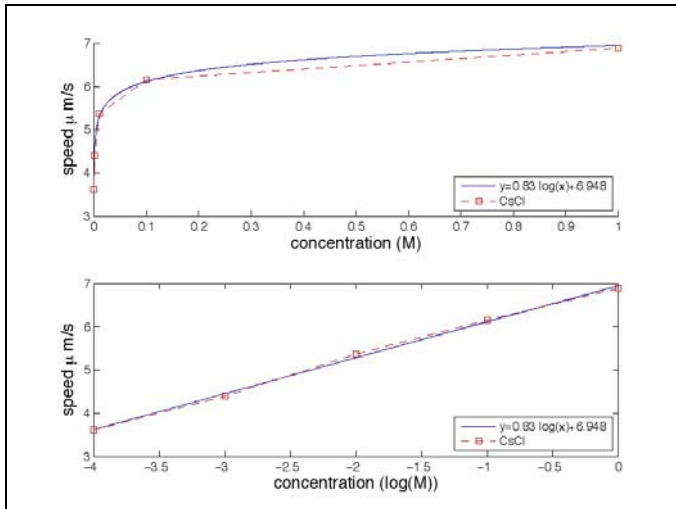
濃度	平均速度 ($\mu\text{m/s}$)
0.0001	5.15
0.001	5.55
0.01	6.59
0.1	6.96
1	7.79

8.RbCl:迴歸公式 $y=0.752 \log(x)+7.164$



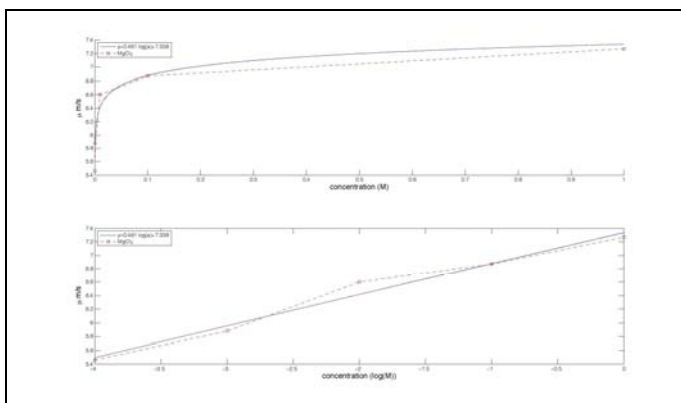
濃度(M)	平均速度 ($\mu\text{m/s}$)
0.0001	4.05
0.001	4.93
0.01	5.82
0.1	6.42
1	7.07

9.CsCl:迴歸公式 $y=0.83 \log(x)+6.948$



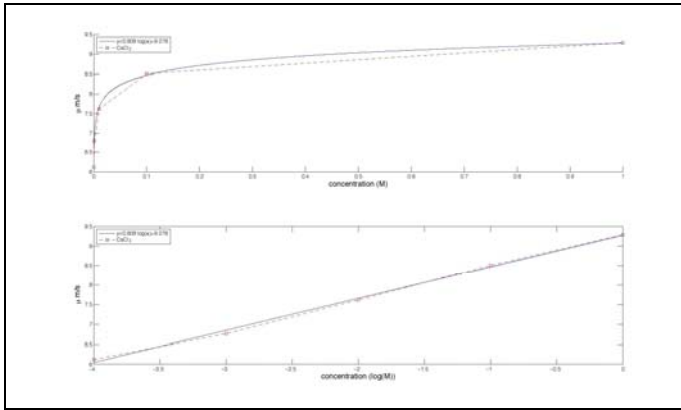
濃度(M)	平均速度 ($\mu\text{m/s}$)
0.0001	3.62
0.001	4.40
0.01	5.37
0.1	6.16
1	6.89

10.MgCl₂:迴歸公式 $y=0.461 \log(x)+7.338$



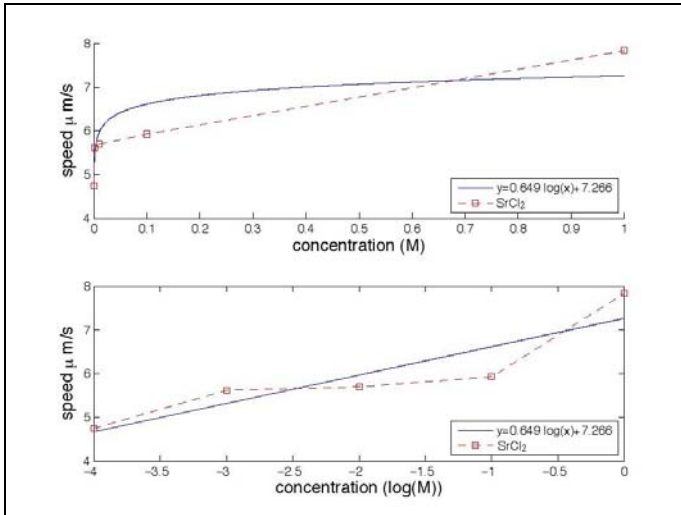
濃度(M)	平均速度 ($\mu\text{m/s}$)
0.0001	5.47
0.001	5.89
0.01	6.61
0.1	6.87
1	7.27

11. CaCl₂: 迴歸公式 $y=0.808 \log(x)+9.278$



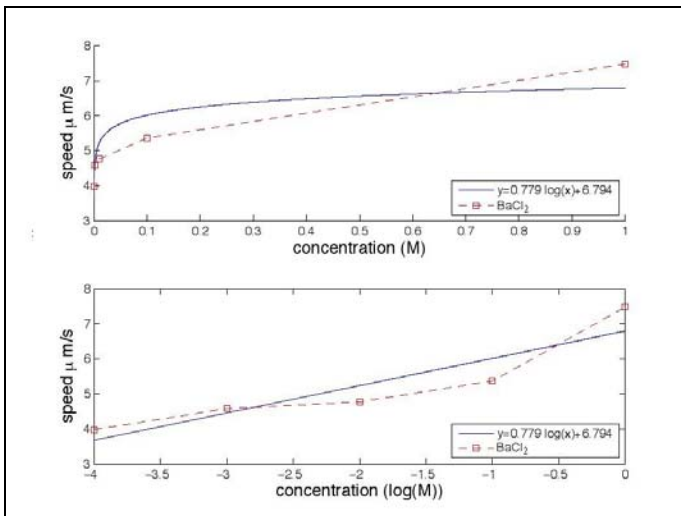
濃度(M)	平均速度 (μ m/s)
0.0001	6.12
0.001	6.77
0.01	7.62
0.1	8.52
1	9.30

12. SrCl₂: 迴歸公式 $y=0.649 \log(x)+7.266$



濃度(M)	平均速度 (μ m/s)
0.0001	4.76
0.001	5.62
0.01	5.69
0.1	5.93
1	7.84

13. BaCl₂: 迴歸公式 $y=0.779 \log(x)+6.794$

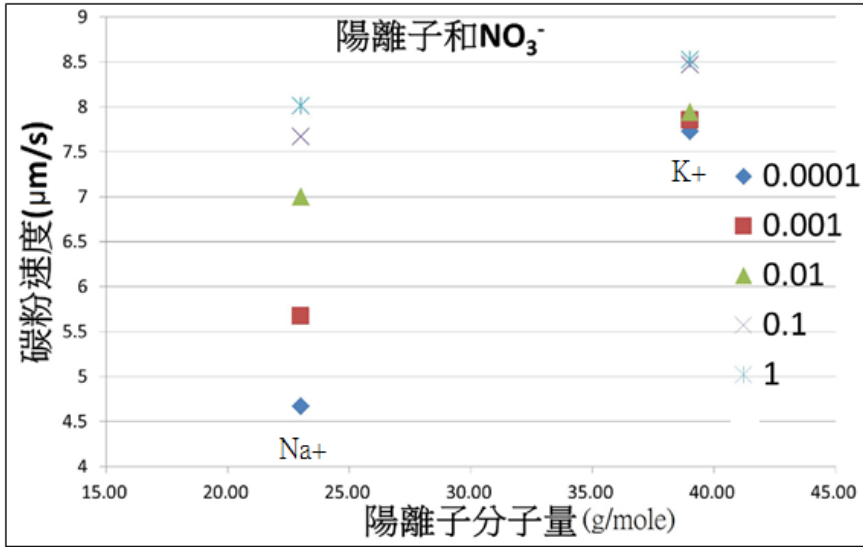


濃度(M)	平均速度 (μ m/s)
0.0001	3.98
0.001	4.58
0.01	4.77
0.1	5.37
1	7.48

在實驗中，由圖形與數據發現溶液濃度越大造成碳粉速度也就越大。

(二)、相同陰離子配對不同陽離子濃度與碳粉速度的關係

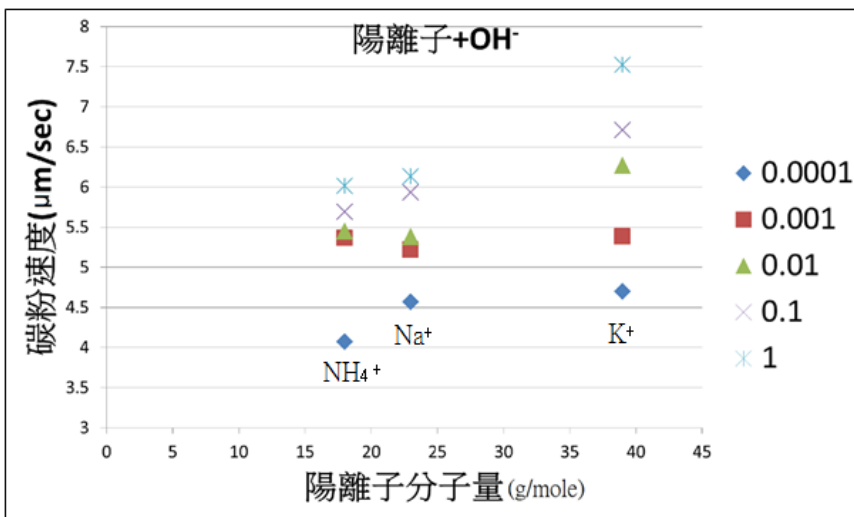
1. NO₃⁻離子和其它陽離子



化合物	NaNO ₃	KNO ₃
陽離子分子量	23	39
濃度(M)	碳粉速度(μm/s)	
1.0*10 ⁻⁴	4.67	7.73
1.0*10 ⁻³	5.67	7.85
1.0*10 ⁻²	7.00	7.94
1.0*10 ⁻¹	7.67	8.47
1.0*10 ⁰	8.01	8.52

發現同樣都是硝酸根離子(NO₃⁻)，【鉀離子(K⁺)原子量 39】對於【鈉離子(Na⁺)原子量 23】對碳粉所造成的位移還要大，因此我們推論在一定範圍內與其配對的陽離子分子量越大造成碳粉的速度也就越大。

2. OH⁻離子和其他陽離子

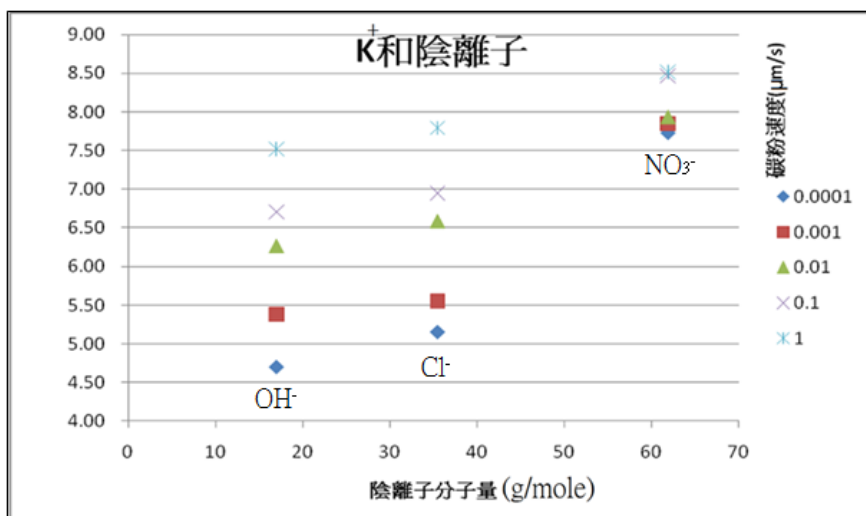


化合物	NH ₄ OH	NaOH	KOH
陽離子分子量	18	23	39
濃度(M)	碳粉速度(μm/s)		
1.0*10 ⁻⁴	4.07	4.57	4.70
1.0*10 ⁻³	5.36	5.21	5.38
1.0*10 ⁻²	5.45	5.38	6.27
1.0*10 ⁻¹	5.69	5.93	6.71
1.0*10 ⁰	6.01	6.13	7.52

發現同樣都是氫氧根離子(OH⁻)，【鉀離子(K⁺)原子量為 39】、【鈉離子(Na⁺)原子量 23】及【銨根離子(NH₄⁺)原子量 18】對碳粉所造成的位移比較，認為在一定範圍內較大原子量的原子所組成的化合物會造成碳粉相對具有較大的速度。

(三)、相同陽離子配對不同陰離子濃度與速度的關係

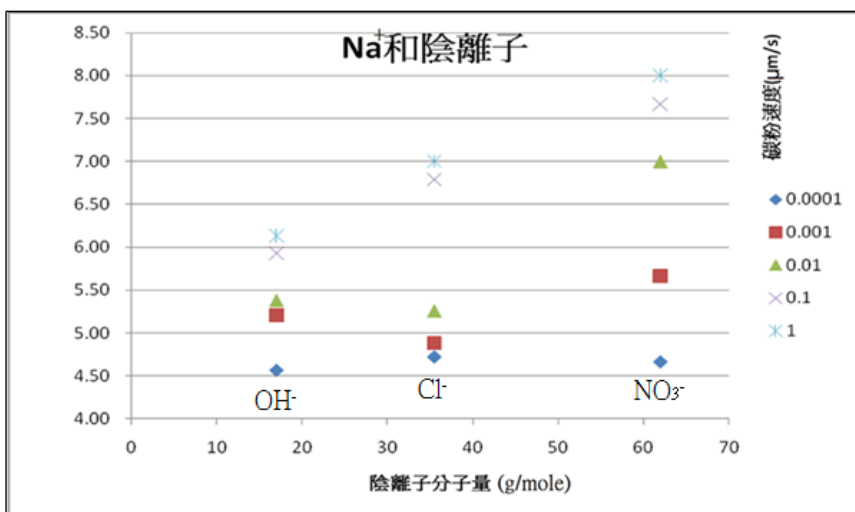
1. 鉀離子(K⁺)和其他陰離子



化合物	KOH	KCl	KNO ₃
陰離子	17	35.5	62
分子量			
濃度(M)	碳粉速度(μm/s)		
1.0*10 ⁻⁴	4.70	5.15	7.73
1.0*10 ⁻³	5.38	5.55	7.85
1.0*10 ⁻²	6.27	6.59	7.94
1.0*10 ⁻¹	6.71	6.96	8.47
1.0*10 ⁰	7.52	7.79	8.52

發現同樣都是與鉀離子(K⁺)，【硝酸根離子(NO₃⁻)原子量 62】、【氯離子(Cl⁻)原子量 35.5】、【氫氧根離子(OH⁻)原子量 17】對碳粉的速度比較。因此也推測，相同的陽離子配對分子量越大的陰離子，對碳粉造成的位移也會越大。

2. 鈉離子(Na⁺)和其他陰離子

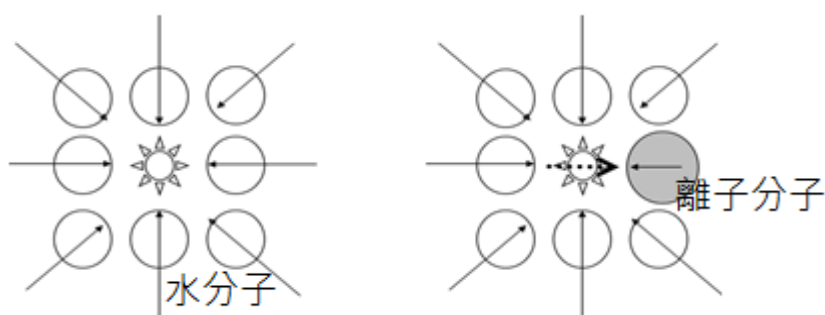


化合物	NaOH	NaCl	NaNO ₃
陰離子	17	35.5	62
分子量			
濃度(M)	碳粉速度(μm/s)		
1.0*10 ⁻⁴	4.57	4.72	4.67
1.0*10 ⁻³	5.21	4.88	5.67
1.0*10 ⁻²	5.38	5.26	7.00
1.0*10 ⁻¹	5.93	6.79	7.67
1.0*10 ⁰	6.13	7.00	8.01

比較鈉離子和其他陰離子後，結果和上一點所發現的相同，也更加確信所推論出的結果。

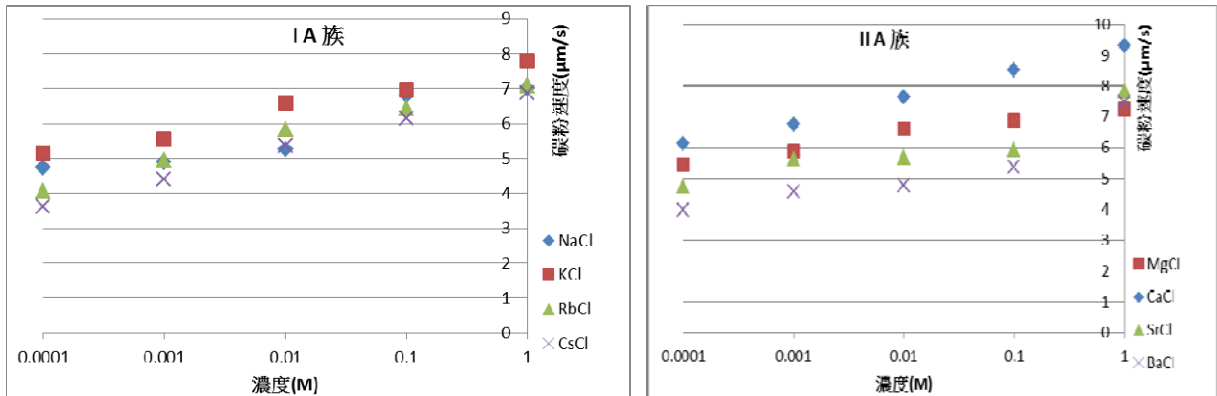
陸、討論

- 一、實驗一、二中，我們發現，有許多以往的科展作品的實驗數據似乎有待商榷，就我們的實驗經驗，花粉根本不會有布朗運動，一般而言，花粉之直徑分布於 $30\sim 50\mu\text{m}$ 、最小亦有 $10\mu\text{m}$ 之譜，相較之下，水分子直徑約 $3\cdot 10^{-4}\mu\text{m}$ （非球形，故依部位而有些許差異。），略為花粉的十萬分之一。因此，花粉難以產生不規則振動，事實上花粉幾乎不受布朗運動之影響。在羅伯特·布朗的手稿中，「tiny particles from the pollen grains of flowers」意味著「自花粉粒中迸出之微粒子」，而非指花粉本身。然而在翻譯為諸國語言時，時常受到誤解，以為是「水中的花粉受布朗運動而呈現不規則運動」。積非成是之下，在大眾一般觀念中，此誤會已然根深蒂固，而我們也算是**首度以實驗操作發現了這項誤會**。
- 二、實驗二中，老師說要測亞佛加厥數，以往都是要在大學實驗室才以可能測量得出來，但是我們高中生都能**輕鬆的用布朗運動以及簡單儀器**求出亞佛加厥數到 10^{23} 的**科學尺度**，或許我們測量的不夠精確，不能準確到 6.022×10^{23} ，但我們已能將數據量測至 10^{23} 的**科學尺度**，同時也有一些樣本的測量數據很接近理論值。
- 三、嘗試用碳粉進行實驗一之後，我們發現，其實碳粉粒子只需要介於 $6\sim 16\mu\text{m}$ 之間就會產生布朗運動。我們推測因為碳粉為非極性分子，分子間僅具微弱的凡得瓦力，故碳粉較易被撞擊產生位移。
- 四、小與碳粉位移的關係圖，我們發現在**碳粉 $6\sim 16\mu\text{m}$ 範圍內**，**碳粉粒的大小與碳粉位移並沒有很大關係**，可能是因為**碳粉數量級的差值太小**，故變化量並不明顯。但是，這樣有助於我們簡易利用碳粉位移判定液體濃度大小，我們**不需要利用特定大小的碳粉**才可以進行實驗，只需要利用**碳粉 $6\sim 16\mu\text{m}$** (大部分碳粉粒的大小)來進行實驗即可。
- 五、在濃度的實驗中，起初由硝酸鉀濃度與碳粉位移關係圖發現，當濃度越高時，碳粉位移量值更加明顯。我們猜測是因為**濃度越高，碳粉的受力越不平均**，故容易造成較大位移量。

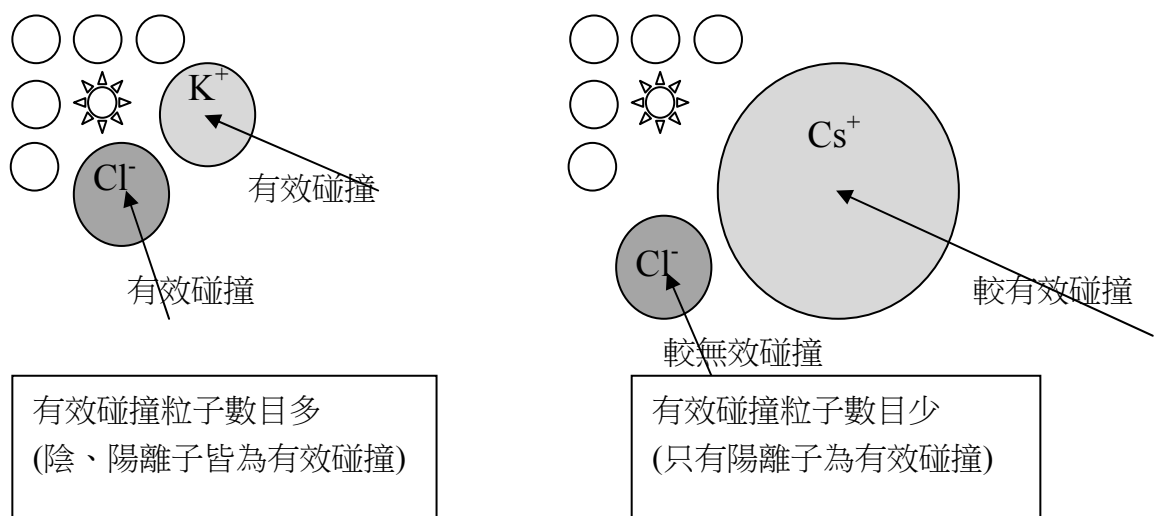
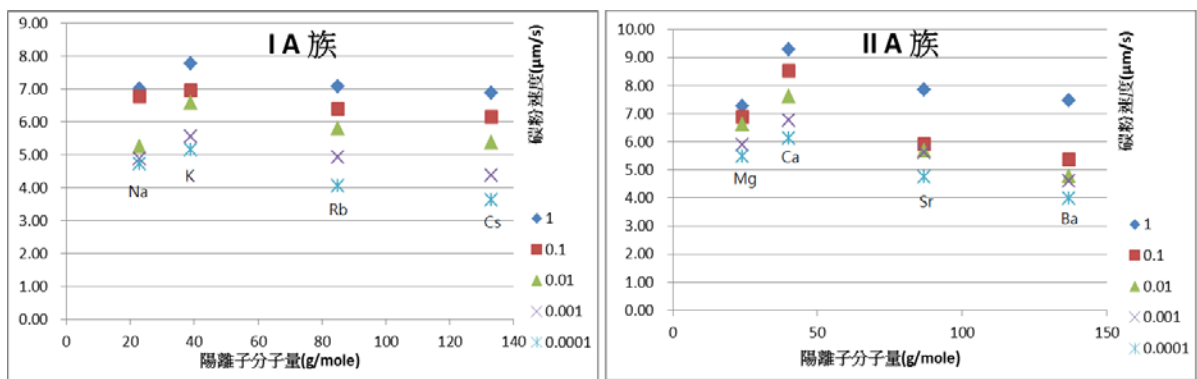


- 六、實驗三中，由各離子溶液的濃度與碳粉速度的關係圖，證實我們在第五點的推論是正確的，**離子濃度越大，對於碳粉的受力越不平均**。

七、實驗三中，加入帶電量的考量，我們比較帶+1 價的 IA 族與帶+2 價的 IIA 族，發現 IIA 族造成碳粉位移較大，我們認為是因為 IIA 族帶電量較高，離子數較多，因此碳粉受力較不平均，速度也就越大。



八、我們發現與氯離子(Cl⁻)配對的陽離子中，位於 K⁺、Ca²⁺(含)之前的 Na⁺、Mg²⁺只要與其配對的陽離子原子量或分子量越大，造成碳粉的速度也越大；反觀位於 K⁺、Ca²⁺(不含)之後的 Rb⁺、Cs⁺、Sr²⁺、Ba²⁺只要與其配對的陽離子原子量或分子量越大，造成碳粉速度就會越小。我們推測是因為 K、Ca 離子和 Cl 的分子量相近，較不容易因為陽離子分子量較大而忽略陰離子所造成的位移。



九、延續上述第八點，我們發現這種具有轉折點的現象只出現在單原子離子組合而成的化合物(例如 NaCl、KCl 等)，而有離子團時(例如 NO₃⁻、OH⁻)則維持我們原先得到的：所配對離子的分子量越大造成碳粉速度越大。我們推測單原子離子和離子團對碳粉速度的影響可能有所不同。

柒、結論

- 一、一般而言，花粉之直徑分布於 $30\sim 50\ \mu\text{m}$ 、最小亦有 $10\ \mu\text{m}$ 之譜，相較之下，水分子直徑約 $3\cdot 10^{-4}\ \mu\text{m}$ （非球形，故依部位而有些許差異。），略為花粉的十萬分之一。因此，花粉難以產生不規則振動，事實上花粉幾乎不受布朗運動之影響。
- 二、我們嘗試使用六、七種不同的粒子觀察其布朗運動，克服了各種不同的困難。**發現在粒子只要介於 $6\sim 16\ \mu\text{m}$ ，可明顯觀察其布朗運動。**因此我們使用高速攝影機、顯微鏡攝影與 Motic Images 2000 1.2 軟體，去分析粒子平均速度與粒徑大小。首先我們先利用愛因斯坦在論文中所提到的公式，得到亞佛加厥數至 10^{23} 的科學尺度，我們發現在理論值得次方關係完全符合。
- 三、接下來針對不同濃度的溶液去進行觀察碳粒子布朗運動關係。實驗結果發現，當濃度越高時，碳粉位移量值更加明顯，我們猜測是因為**濃度越高，碳粉的受力越不平均，故容易造成較大位移量。**而且我們也去比較相同的離子根，配對分子量越大的離子根，對碳粉造成的位移也會越大，發現正負離子根都會影響布朗運動，我們推測的在**一定範圍內離子根質量越大，對碳粒子造成受力越不平均，故碳粒子的平均速度便會越快。**掌握其關係圖，我們便可以利用**觀察碳粒子的平均速度大小，反向去推測離子溶液濃度，可大幅減低未來的測量成本。**
- 四、加入帶電量的考量後，結果發現，相較於 IA 族帶電量較高的 IIA 族對碳粉位移量值更加明顯，我們認為主要是因為**IIA 族帶電量較高，離子數較多，碳粉受力較不平均位移量也就較大。**
- 五、發現分子量和碳粉位移不完全是正向關係時，而是在在 K、Ca 離子時有最大值，之後則是分子量越大造成位移越小。可能是因為 K、Ca 離子和氯離子的分子量相近，較不容易因為陽離子分子量較大而忽略陰離子所造成的位移。而離子團則沒有這樣的現象，我們推測單原子離子和離子團對碳粉速度的影響可能有所不同，未來我們希望可以完全探討出原因何在。
- 六、未來，我們只要將更多的因素考量進入，並將不同溶液的濃度與位移關係製成圖表，這樣一來反向去推測液體濃度則不再需要如以往將資料送入精密儀器中檢驗，只需要使用到高中實驗室簡單的器材以及布朗運動的推波助瀾就能更加輕鬆的達到檢測低濃度溶液的目的!

捌、參考資料及其他

凡異出版社編輯部（民 75）。紀念愛因斯坦文集－第二卷學術論文。臺北市：凡異，P72～82。

馬文蔚 唐玄之 周永平（民 85）。物理發展史上的里程碑。臺北市：凡異，P99～116。

汪志誠（民 85）。熱力學與統計力學。臺北市：凡異，P354～364。

對於布朗運動之誤解。維基百科。2010 年 3 月 2 日，取自：

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%B8%83%E6%9C%97%E8%BF%90%E5%8A%A8>

布朗運動理論一簡介（2009 年 2 月 22 日）。中學教育網。2010 年 2 月 22 日，取自：

<http://www.phy.ntnu.edu.tw/physics/theory/Report/Brown%27s%20motion.htm>

煙灰的布朗運動（2009 年 2 月 22 日）。物理實驗趣味短片 熱學。2010 年 2 月 22 日，取自：

http://www.youtube.com/watch?v=eTVVnziiA-s&feature=youtube_gdata

張威弘 蘇育賢 機啟成。布朗運動與精微機械之應用。2010 年 3 月 20 日，取自：

<http://140.116.31.109/rj/class4/project/brownian/index.php>

Physical characteristics of water。ThermExcel。2010 年 3 月 25 日，取自：

http://www.thermexcel.com/english/tables/eau_atm.htm

【評語】 040107

作品用心來探討簡易裝置測量未和濃度之實驗方法，若能改善實驗數據精確性，並完成完整數據分析，則作品更完善。