

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

051806

與波共舞-水柱撞擊障礙物之波節長探討

學校名稱：國立鳳山高級中學

作者：	指導老師：
高二 郭瑋笙	黃琬尹
高二 朱家緯	劉坤昌
高二 王國洲	

關鍵詞：水珠、波節、表面張力

摘要

我們想知道影響水珠成節的因素，所以利用自製的流水系統，讓微小水流由管口流下，放置玻璃棒在水柱下方，並改變水柱出口與撞擊點的距離做實驗。透過觀察水珠的節長變化，搭配各種不同的接觸障礙物、流速、溫度，進行結果與分析。發現流速愈快，節長愈短；玻璃棒愈粗，節長愈長；食鹽水濃度愈低，節長愈短；溫度愈高，節長也愈短。以上的現象可由表面張力的變化來解釋，因此可推論此現象符合由表面張力波所形成的結果。

壹、研究動機

先前在化學實驗室上課時，總免不了要清洗用具，當清洗到滴定管時，發現從滴定管口流出的細微水流碰到障礙物時會產生水珠成節的現象，對此產生興趣，但在搜尋文獻時發現有許多學長姐已做過相關研究，我們想利用其他變因再試試看。雖然知道此現象與表面張力有關，但卻不知影響的程度為何，因此設計實驗針對與表面張力有關的因素去探討。

貳、研究目的

- 一、不同水流流速對水珠成節的影響
- 二、不同粗細的障礙物對水珠成節的影響
- 三、不同濃度的食鹽水溶液對水珠成節的影響
- 四、不同溫度之水流對水珠成節的影響

參、研究設備及器材

- 一、 相機
- 二、 高速攝影機
- 三、 控溫器
- 四、 點滴管
- 五、 腳架
- 六、 燒杯 1000 毫升
- 七、 不同直徑玻棒 ($5.02mm$ 、 $5.95mm$ 、 $7.25mm$ 、 $8.18mm$ 、 $8.73mm$)
- 八、 出水口 (口徑: $3.5mm$)



圖 相機



圖 控溫器



圖 玻棒

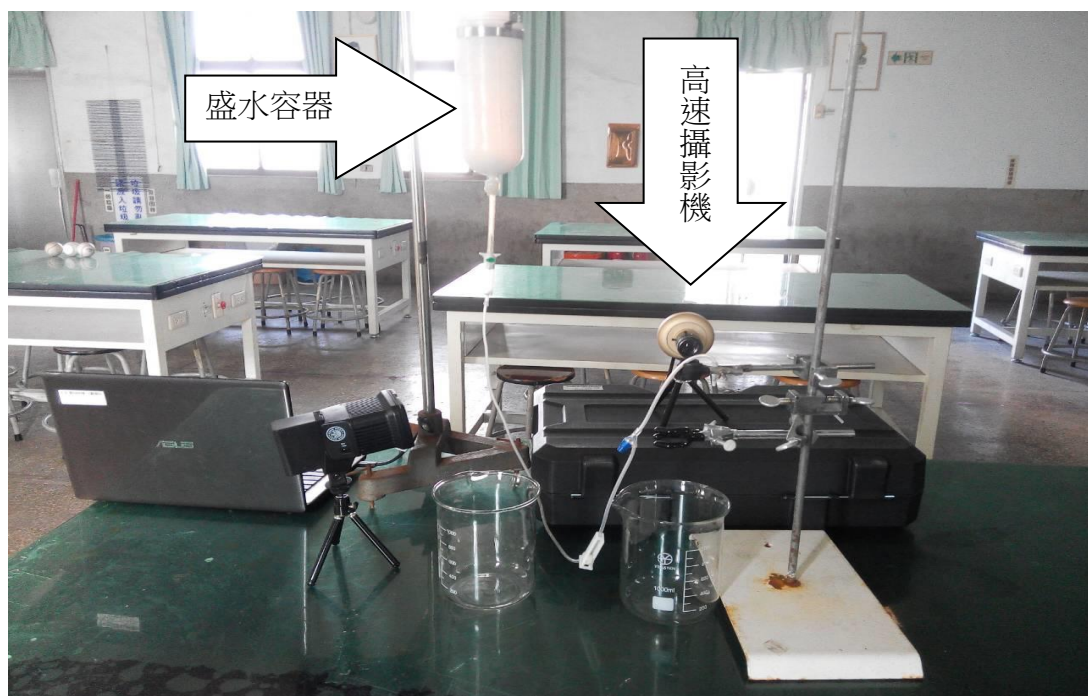
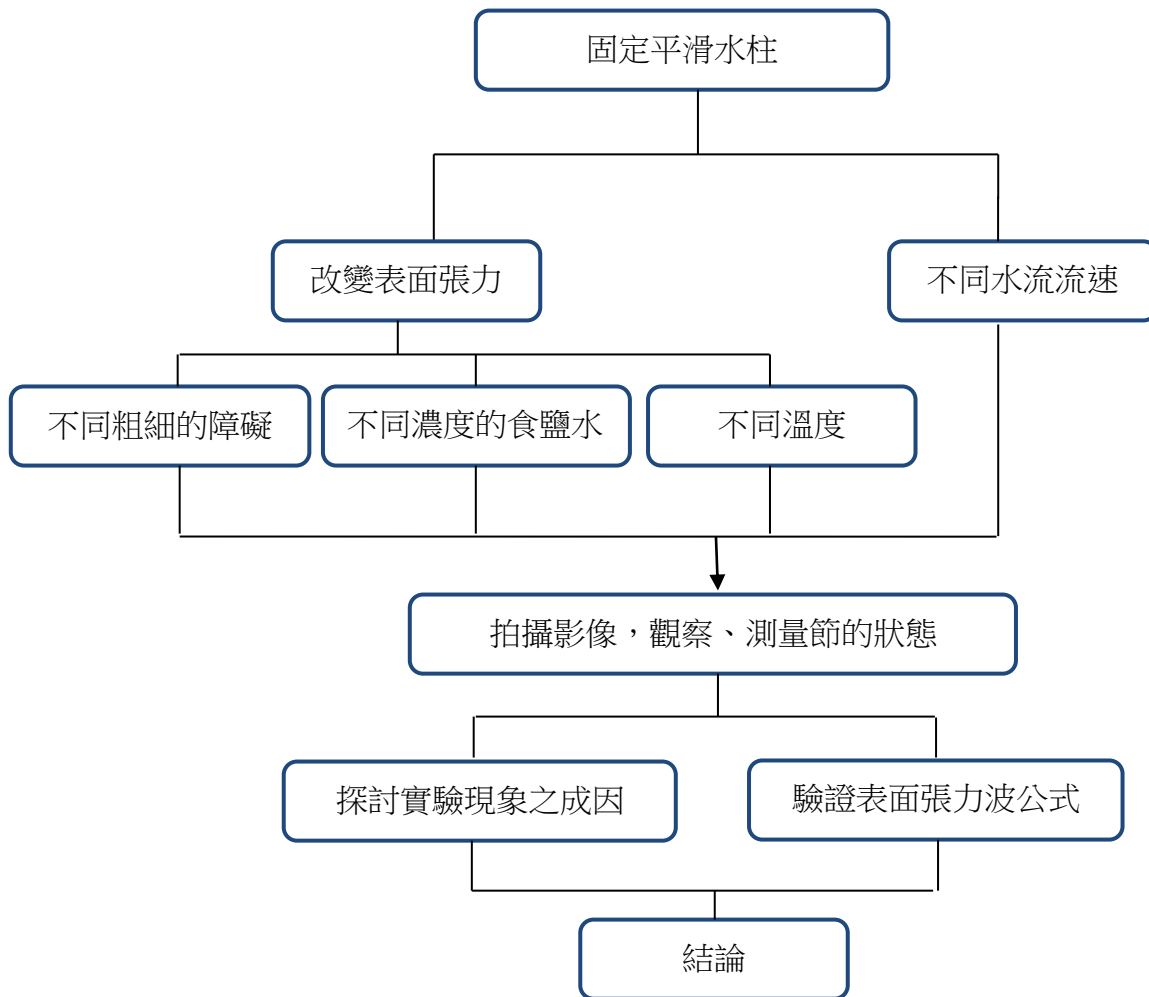


圖 整體實驗裝置

肆、研究過程或方法



一、實驗一：不同水流流速對水珠成節的影響

- (一) 固定平滑水柱。
- (二) 放置玻璃棒在水柱下方，並改變水柱出口與撞擊點的距離。
- (三) 拍攝影像，觀察、測量節的狀態。
- (四) 以不同水流流速來進行實驗，依一顆到多顆利用圖片的拍攝，做多項數據分析。

二、實驗二：不同粗細的障礙物對水珠成節的影響

- (一) 固定平滑水柱。
- (二) 放置玻璃棒在水柱下方，並改變水柱出口與撞擊點的距離。
- (三) 拍攝影像，觀察、測量節的狀態。以不同直徑玻璃棒（直徑 5.02mm、5.95mm、7.25mm、8.18mm、8.73mm）
- (四) 來進行實驗，依一顆到多顆利用圖片的拍攝，做多項分析。

三、實驗三：不同濃度的食鹽水溶液對水珠成節的影響

- (一) 固定平滑水柱。
- (二) 放置玻璃棒在水柱下方，並改變水柱出口與撞擊點的距離。
- (三) 拍攝影像，觀察、測量節的狀態。
- (四) 以不同濃度的食鹽水溶液來進行實驗，依一顆到多顆利用圖片的拍攝，做多項分析。

四、實驗四：不同溫度之水流對水珠成節的影響

- (一) 固定平滑水柱。
- (二) 放置玻璃棒在水柱下方，並改變水柱出口與撞擊點的距離。
- (三) 拍攝影像，觀察、測量節的狀態。
- (四) 以不同溫度之水流來進行實驗，依一顆到多顆利用圖片的拍攝，做多項分析。

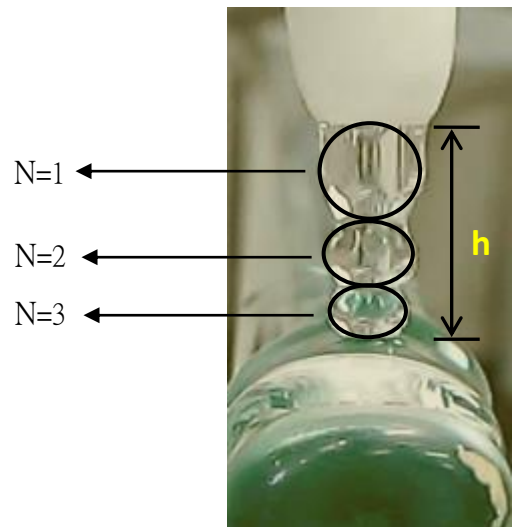
伍、研究結果

數據表示方法：

為了分析實驗結果，我們訂由管口往下數第 N

個凹陷，定為第 N 顆水珠。

而水流高度為由管口向下延伸，定為水流長 h 。



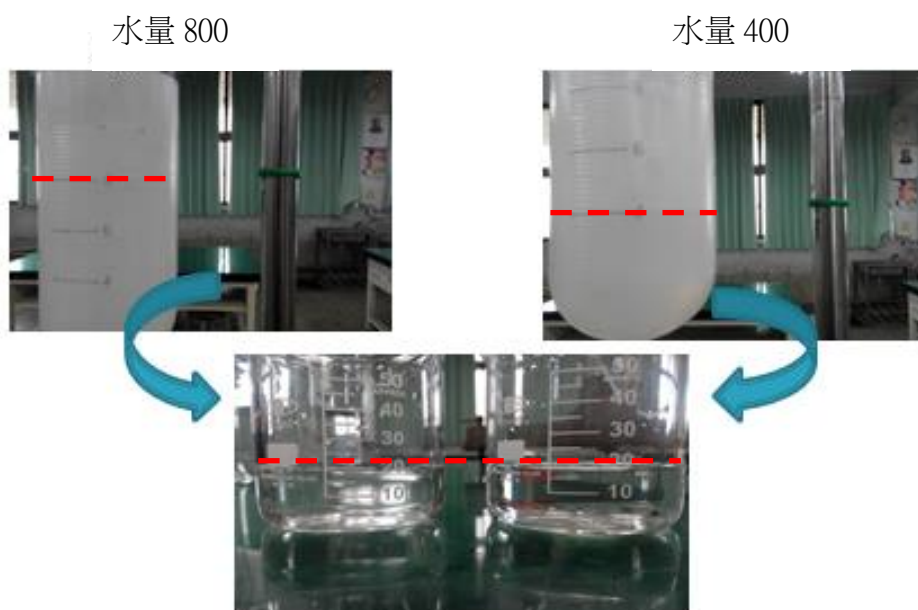
一、實驗一：不同水流流速對水珠成節的影響

(一)流速的測量方法：

我們運用小燒杯，計時十秒，測出的水量，再將其除以十，訂為流速。測量是否只要水位高度固定，不同水量也不會影響流速？

結果是肯定的，因為 $U=mgh$ ，只要水位高度相對出水口的高度差不改變，流速即可控制在一定值，此證明幫助我們在控制水量時，必須不斷補水到一定量，把水瓶提高到相同水位即可即使是不同水量也沒問題。

如下圖所示兩個水瓶的水量不同，但水位高度相同，則水的流量相同。



(二) 不同流速對水流形成節的數據如下所列。

流速 1.0ml/s

(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.2619						0.2619
總共 2 顆	0.2830	0.2628					0.5458
總共 3 顆	0.2823	0.2381	0.1964				0.7168
總共 4 顆	0.2893	0.2132	0.1624	0.1218			0.7867
總共 5 顆	0.3015	0.2067	0.1709	0.1457	0.1307		0.9555
總共 6 顆	0.4675	0.2071	0.1726	0.1574	0.1472	0.1472	1.2990

流速 1.8ml/s

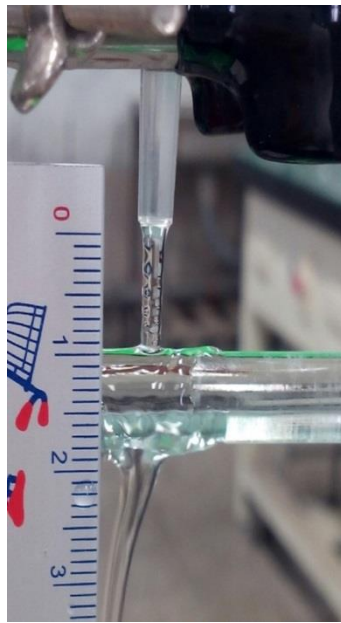
(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.3605						0.3605
總共 2 顆	0.3333	0.2171					0.5504
總共 3 顆	0.2943	0.2189	0.1716				0.6848
總共 4 顆	0.2660	0.2545	0.1758	0.1515			0.8478
總共 5 顆	0.3992	0.2500	0.1953	0.1484	0.1317		1.1246
總共 6 顆	0.3923	0.1923	0.1680	0.1326	0.1215	0.1209	1.1365

流速 2.3ml/s

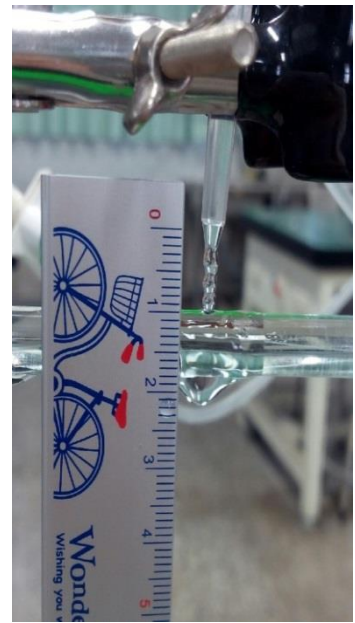
(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	所有的水珠 總長
總共 1 顆	0.3412				0.3412
總共 2 顆	0.2197	0.1763			0.3960
總共 3 顆	0.2482	0.1917	0.1765		0.6164
總共 4 顆	0.3026	0.1842	0.1513	0.1053	0.7434
總共 5 顆	不明顯	不明顯	不明顯	不明顯	X



1.0 ml/s

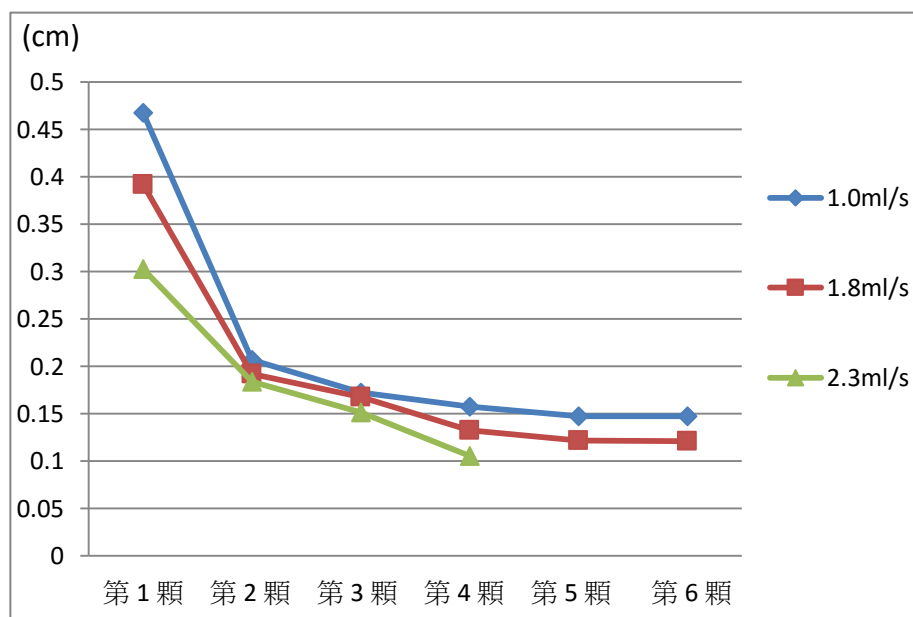


1.8 ml/s



2.3 ml/s

(二) 取各個流速中，其中 1.0ml/s、1.8ml/s 為總共六顆(如表格中黃色底的數據)，2.3ml/s 為總共四顆(如表格中黃色底的數據)，再將各顆的長度測量出來，將不同流速對水珠節點長度作折線圖。可知流速越大，水珠的節長越短。

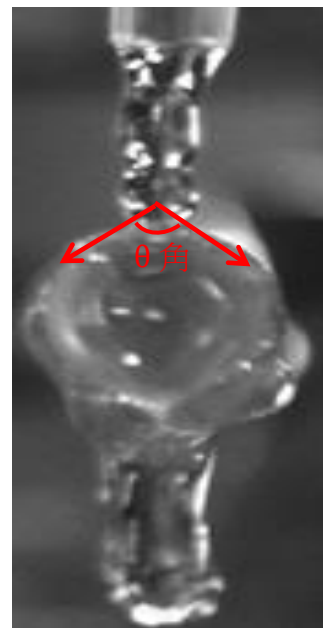


(三) 實驗中並發現，流速 1.0 ml/s 水流形狀不穩定，流速 2.3 ml/s 太快，能找到的水珠數不足六顆，因此決定在操作其他變因時，將水流量控制在 1.8 ml/s。

二、實驗二：不同粗細的障礙物對水珠成節的影響

如右圖，取水流長作玻棒切線，兩端與玻棒邊切點連線，所呈現之夾角即為水流與玻棒之接觸角，可知玻棒越粗，接觸角越大。

將流速固定為 1.8 ml/s，室溫 25 度 C，利用五隻不同粗細的玻棒改變障礙物，測得以下數據。



玻棒 1(最細)-直徑 5.02mm、接觸角 95.8 度

(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.2532						0.2532
總共 2 顆	0.3095	0.2222					0.5317
總共 3 顆	0.3894	0.2035	0.1858				0.7787
總共 4 顆	0.3136	0.2373	0.1949	0.1102			0.856
總共 5 顆	0.3103	0.25	0.2069	0.1552	0.1379		1.0603
總共 6 顆	0.4472	0.1577	0.1513	0.1268	0.1256	0.1021	1.1107

玻棒 2-直徑 5.95mm、接觸角 100.8 度

(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.3162						0.3162
總共 2 顆	0.3407	0.169					0.5097
總共 3 顆	0.3407	0.2271	0.1524				0.7202
總共 4 顆	0.3178	0.2362	0.1633	0.1341			0.8514
總共 5 顆	0.3285	0.1902	0.1643	0.1412	0.1297		0.9539
總共 6 顆	0.3099	0.1577	0.1521	0.1381	0.1352	0.1152	1.0082

玻棒 3-直徑 7.25mm、接觸角 104.6 度

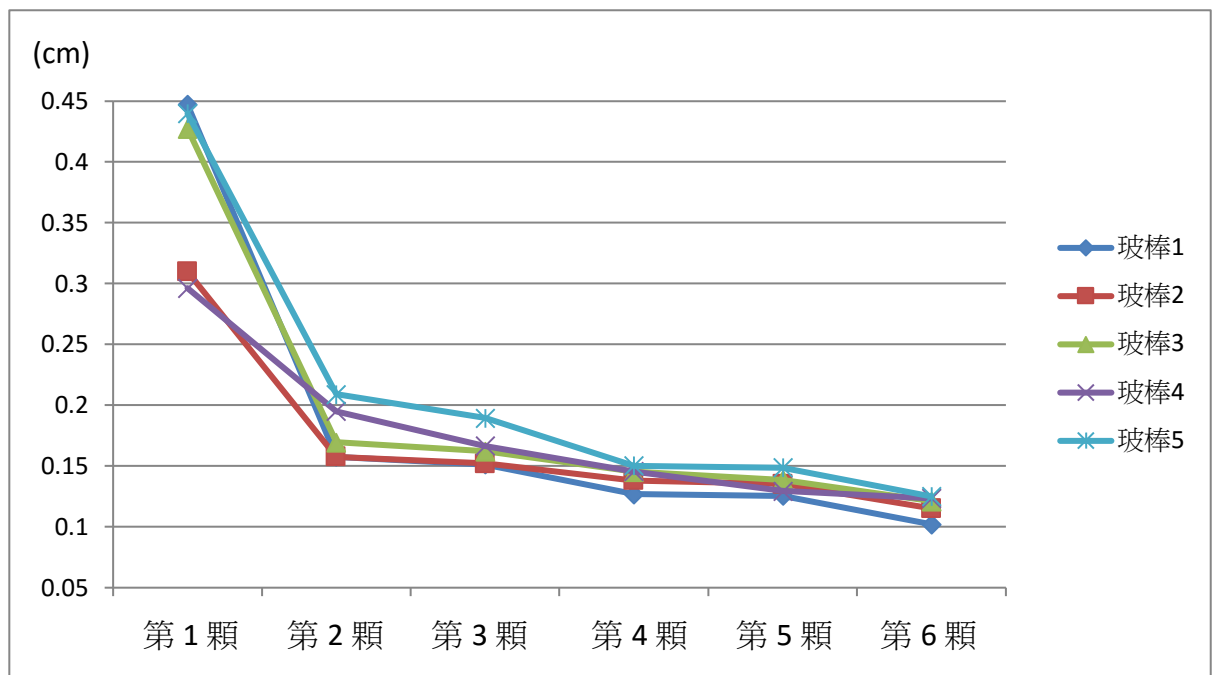
(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.377						0.377
總共 2 顆	0.418	0.2377					0.6557
總共 3 顆	0.2937	0.2448	0.1748				0.7133
總共 4 顆	0.2727	0.2197	0.1591	0.1591			0.8106
總共 5 顆	0.359	0.1709	0.1624	0.1453	0.1453		0.9829
總共 6 顆	0.4274	0.1694	0.1621	0.1452	0.1387	0.1212	1.164

玻棒 4-直徑 8.18mm、接觸角 110.2 度

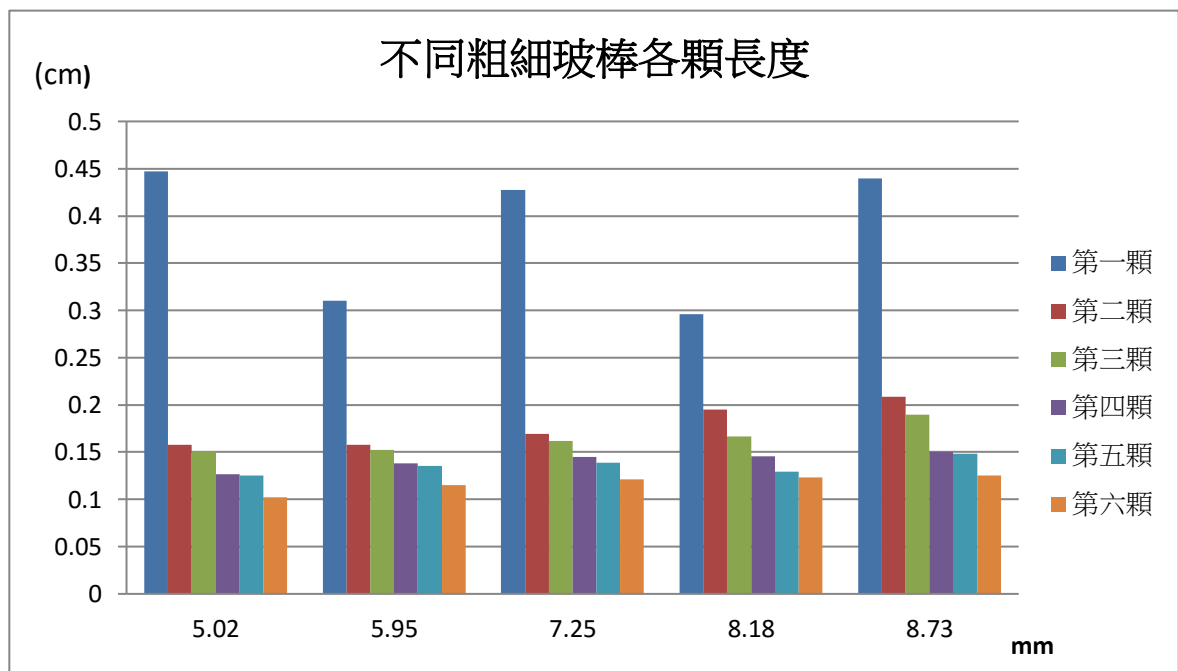
(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.4516						0.4516
總共 2 顆	0.3508	0.2631					0.6139
總共 3 顆	0.4081	0.2041	0.2041				0.8163
總共 4 顆	0.1698	0.2264	0.2641	0.2075			0.8678
總共 5 顆	0.323	0.1692	0.1692	0.1384	0.123		0.9228
總共 6 顆	0.2963	0.1951	0.1666	0.1455	0.1296	0.1234	1.0565

玻棒 5(最粗)-直徑 8.73mm、接觸角 120.1 度

(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.3604						0.3604
總共 2 顆	0.3254	0.2222					0.5476
總共 3 顆	0.2761	0.2687	0.209				0.7538
總共 4 顆	0.2228	0.2609	0.1957	0.163			0.8424
總共 5 顆	0.3444	0.2259	0.1926	0.1481	0.0926		1.0036
總共 6 顆	0.4399	0.2089	0.1896	0.1502	0.1486	0.125	1.2622



取五種不同粗細的玻棒，水流節長皆為總共六顆，再將各顆的長度測量出來，畫成折線圖，如上圖所示。



同樣取共有 6 顆的水流節長做探討，**玻棒越粗**，水流接觸玻棒的**接觸角越大**，由長條圖可見除第一顆水珠外，**同一節的水珠長度逐漸變長**。

三、實驗三：不同濃度的食鹽水溶液對水珠成節的影響

調配出三種不同莫耳濃度的食鹽水溶液，流速固定為 1.8ml/s，室溫 25 度 C，使用玻棒 4(直徑 8.18mm)，測得以下數據。

2.0M 食鹽水

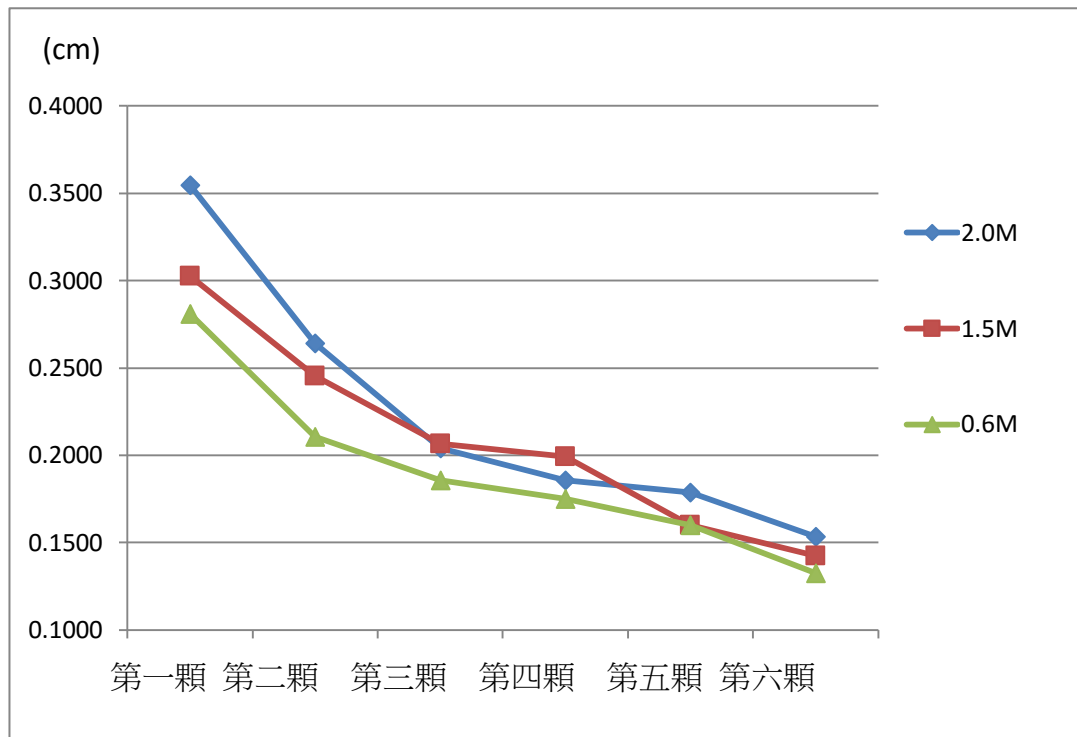
(cm) 水珠數 \	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.2639						0.2639
總共 2 顆	0.2806	0.2645					0.5452
總共 3 顆	0.3633	0.2014	0.1978				0.7626
總共 4 顆	0.2951	0.2569	0.1944	0.1736			0.9201
總共 5 顆	0.3278	0.2531	0.2407	0.1743	0.1494		1.1452
總共 6 顆	0.3545	0.2642	0.2040	0.1856	0.1786	0.1533	1.3402

1.5M 食鹽水

(cm) 水珠數 \	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.2807						0.2807
總共 2 顆	0.3167	0.2583					0.5750
總共 3 顆	0.3268	0.2761	0.2000				0.8028
總共 4 顆	0.3375	0.2786	0.2043	0.1796			1.0000
總共 5 顆	0.2303	0.2505	0.1980	0.1818	0.1434		1.0040
總共 6 顆	0.3025	0.2456	0.2064	0.1993	0.1601	0.1423	1.2362

0.6M 食鹽水

(cm) 水珠數 \	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.2697						0.2697
總共 2 顆	0.2723	0.2311					0.5034
總共 3 顆	0.3683	0.2634	0.2023				0.8340
總共 4 顆	0.2836	0.2761	0.2114	0.2040			0.9751
總共 5 顆	0.2708	0.2580	0.2083	0.1747	0.1522		1.0641
總共 6 顆	0.2809	0.2107	0.1858	0.1752	0.1598	0.1323	1.1446



1. 取三種不同濃度的食鹽水溶液，水流節長皆為總共六顆，再將各顆的長度測量出來，做各顆長度分析成折線圖。
2. 經過不同濃度的比對後，我們發現到較低濃度（0.6M）之鹽水，每顆節點長度會短於較高濃度鹽水（1.5M 及 2.0M），可看出食鹽水濃度愈低，節長愈短。

四、實驗四：不同溫度之水流對水珠成節的影響

利用恆溫器調整出三種不同溫度的水溶液，流速固定為 1.8ml/s，使用玻棒 4 (直徑 8.18mm)，測得以下數據。

水溫 20℃

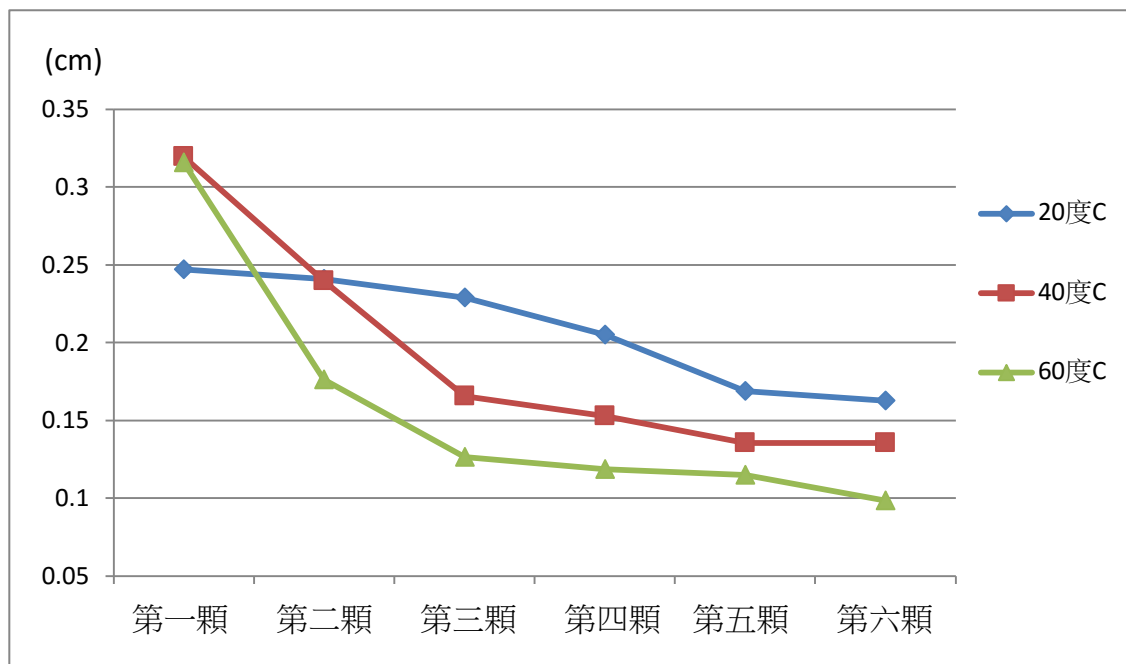
(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.2175						0.2175
總共 2 顆	0.2666	0.2611					0.5277
總共 3 顆	0.4000	0.2454	0.1818				0.8272
總共 4 顆	0.2840	0.2307	0.2071	0.2011			0.9229
總共 5 顆	0.4469	0.2212	0.1814	0.1681	0.1504		1.1630
總共 6 顆	0.2469	0.2409	0.2289	0.2048	0.1686	0.1626	1.2530

水溫 40℃

(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.4247						0.4247
總共 2 顆	0.4834	0.2119					0.6953
總共 3 顆	0.4200	0.1878	0.1271				0.7349
總共 4 顆	0.4183	0.2212	0.1875	0.1779			1.0049
總共 5 顆	0.5583	0.1796	0.1359	0.1311	0.1796		1.1845
總共 6 顆	0.3194	0.2396	0.1654	0.1528	0.1354	0.1354	1.1319

水溫 60℃

(cm) 水珠數	第一顆 長度	第二顆 長度	第三顆 長度	第四顆 長度	第五顆 長度	第六顆 長度	所有的水 珠總長
總共 1 顆	0.4298						0.4298
總共 2 顆	0.3268	0.2390					0.5658
總共 3 顆	0.2559	0.2795	0.1614				0.6968
總共 4 顆	0.3333	0.1925	0.1549	0.1221			0.8028
總共 5 顆	0.2992	0.1270	0.1475	0.1680	0.1516		0.8933
總共 6 顆	0.3156	0.1762	0.1265	0.1188	0.1148	0.0984	0.9796



1. 取三種不同溫度的水溶液，水流節長皆為總共六顆，再將各顆的長度測量出來，做各顆長度分析成折線圖，如上圖所示。
2. 可看出溫度從 20 度變到 60 度，去除第一顆，各節點長度規律下降。

陸、討論

靜止的液體表面是平的，但在輕微擾動下，就會出現波浪。如果液體表面波的波長比波高大得多，則液體波浪的表面曲率便很小，因而表面張力也很小，此時可以忽略表面張力的影響，只考慮重力的作用，這種波稱為重力波。反之，若波長極短，液體表面的曲率很大，因而表面張力也很大，在這種情況下則可以忽略液體重力的影響，只考慮表面張力的作用，這種波稱為表面張力波，其波長在 1~2cm 之間，微風吹皺水面，小蟲在水面行走造成的水波，都屬於這種表面張力波。

此水珠成節的現象因為波長較小（一個水珠的節長相當於半波長），所以應該與表面張力波有關。而小振幅波的波速為 $v = \sqrt{\left(\frac{g\lambda}{2\pi} + \frac{2\pi T}{\rho\lambda}\right) \tanh\left(\frac{2\pi}{\lambda} H\right)}$ 。式中 H 為液深；T 為表面張力；

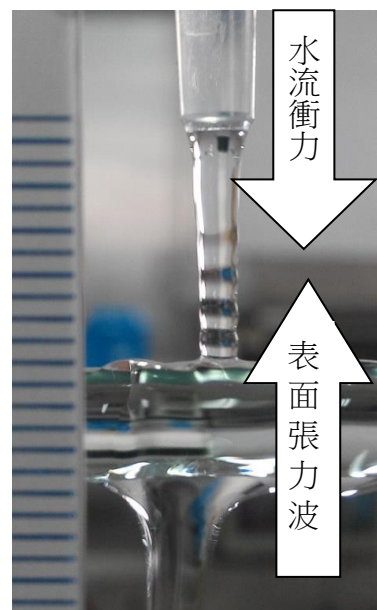
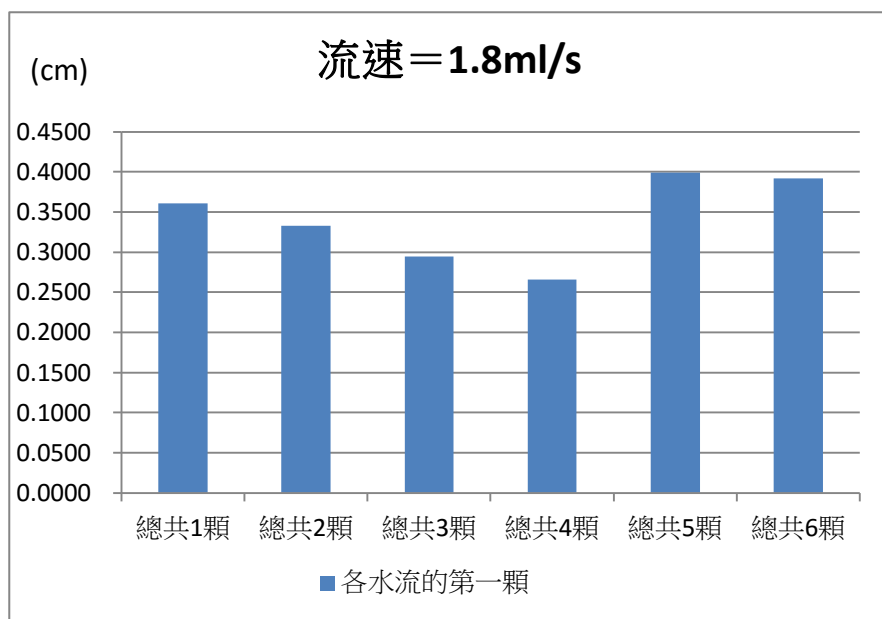
ρ 為液體密度； λ 為波長；g 為重力加速度。對表面張力波，只考慮表面張力作用，

$v = \sqrt{\left(\frac{2\pi T}{\rho\lambda}\right) \tanh\left(\frac{2\pi}{\lambda} H\right)}$ ，且 $\left(\frac{2\pi}{\lambda} H\right)$ 極大時， $\tanh\left(\frac{2\pi}{\lambda} H\right) \approx 1$ ，故表面張力波速可簡化為

$v = \sqrt{\frac{2\pi T}{\rho\lambda}}$ 。可看出其中含有表面張力項的影響，藉此比對我們的數據變化。

一、另外，我們發現在實驗當中，水流的第一顆總是呈現不規律變動。如右表所示為流量 1.8ml/s 的數據，是取各節點數的水流中的第一顆長度。當水珠只有一顆時，第一顆長度為 0.3605cm，當水珠共兩顆時，第一顆長度為 0.3333cm，有下降的趨勢，我們推測水珠愈多時，第一顆長度應該愈短，但當水珠共有五顆時，第一顆長度又增加為 0.3992cm，如下頁圖示。在其他變因中依然可見此情形，所以我們認為**第一顆長度的變化沒有固定規律**。

1.8ml/s	NO.1
總共 1 顆	0.3605
總共 2 顆	0.3333
總共 3 顆	0.2943
總共 4 顆	0.2660
總共 5 顆	0.3992
總共 6 顆	0.3923



而我們推論第一顆水珠不規律變化的原因，或許是有關於水珠成節的原理，因水柱碰撞玻棒，由玻棒處產生擾動，故水柱的一節一節的現象是由玻棒處產生，而逐漸向上堆疊，愈上方波形愈不明顯，造成第一顆的波形並非球狀，不論是不同流率(速)、玻棒粗細、濃度、溫度，皆有此現象。可想像成表面張力的波源在底部，當波向上傳播，與向下的水流衝力之合力呈現不穩定的狀態，故水柱的第一顆不穩定。

二、由實驗一的結果知流速愈快，節長越短，流速越慢，節長越長。將水珠節長想像正比於

波長，則可由表面張力波速的公式 $v = \sqrt{\frac{2\pi T}{\rho \lambda}}$ 看出此關係。當 v 愈大， λ 愈小， $v \propto \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$ ，

$v \cdot \sqrt{\lambda}$ 應為定值，將實驗一的數據列表如下。

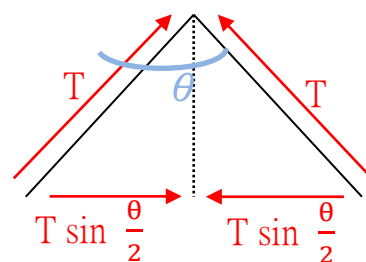
流速(ml/s)	平均水珠長度(cm)	流速×(水珠長度) ^{1/2}
1.0	0.1790	0.4231
1.8	0.1643	0.7296
2.3	0.1469	0.8816

此處平均水珠長度是取 1.0ml/s 和 1.8ml/s 共六顆水珠時，第 2、3、4 顆水珠平均。2.3ml/s 共四顆水珠時，第 2、3、4 顆水珠平均。皆去掉變化不規律的第一顆水珠。

發現 流速平方×(水珠長度)^{1/2} 三者並未相等，探討誤差原因應該是我們沒有測波速，我們測得的是流量，要將水流流量除以水珠位置該點截面積才能得到流速 v 。

此外，我們希望未使用障礙物前水流表面是平滑而穩定的，若水流流速愈快，表面不穩定，使用障礙物後產生節點結構也愈不穩定，因此當流速 2.3ml/s 時，節點超過 5 顆後，水流長度約為一公分，節點會變的相當不明顯。而流速太慢時，水柱碰擊到玻棒時，則易受到玻棒的干擾，使得水柱會不斷地搖晃，節點數也易受改變。

三、將接觸玻棒位置視為表面張力波的波源時，水流被玻棒撞開，而表面張力想縮回，於是表面張力的作用形成波源，造成水波表面的凹凸，如右圖所示。而玻棒越粗，水流接觸玻棒的接觸角越大， $\sin \frac{\theta}{2}$ 的值較大，作用於



水柱的力較大，修正表面張力波速公式為 $v = \sqrt{\frac{2\pi T \sin \frac{\theta}{2}}{\rho \lambda}}$ ，可知在波速相同的情形下， θ

愈大，則 λ 愈大， $\sqrt{\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\lambda}} = \text{定值}$ 。由實驗二的結果也可大約看出同一節點的長度會越長（第一顆水珠除外）。將數據列表如下。

	θ 角	$\sin \frac{\theta}{2}$	平均水珠長度(cm)	$\sqrt{\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\text{長度}}}$
玻棒 1	95.8°	0.7420	0.1327	2.3646
玻棒 2	100.8°	0.7705	0.1397	2.3488
玻棒 3	104.6°	0.7912	0.1473	2.3175
玻棒 4	110.2°	0.8202	0.1520	2.3226
玻棒 5	120.1°	0.8665	0.1647	2.2953

此處平均水珠長度是取個玻棒皆共六顆水珠時，第 2、3、4、5、6 顆水珠平均，皆去掉變化不規律的第一顆水珠。我們取水珠平均長度正比於波長，由上圖實驗結果可知

$\sqrt{\frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\lambda}}$ 約為定值，符合表面張力波的公式。

四、在實驗三的結果中，不同濃度的比對後，我們發現到較低濃度（0.6M）之鹽水，每顆節

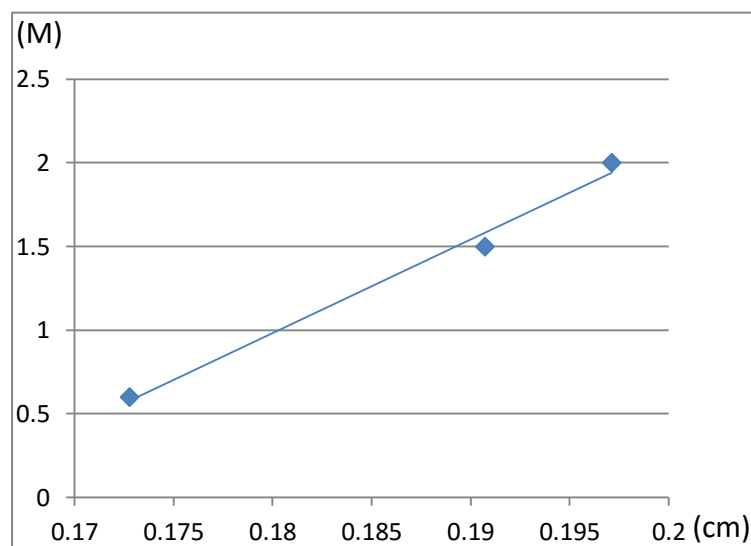
點長度會短於較高濃度鹽水（1.5M 及 2.0M）。根據表面張力波速的公式 $v = \sqrt{\frac{2\pi T}{\rho\lambda}}$ ，

流速固定，表面張力愈大，波長愈大則節長愈長。食鹽水溶液為電解質溶液，濃度愈高，表面張力應愈大，水珠節長應愈長，此與我們實驗結果大約符合。可惜的是我們沒有查到不同濃度食鹽水的表面張力理論數值，無法做數值分析去算出 $\sqrt{\frac{T}{\lambda}}$ 是否為定值。將實驗三數據列於下表。

食鹽濃度	平均水珠長度 (cm)
0.6M	0.17276
1.5M	0.19074
2.0M	0.19714

此處平均水珠長度是三種濃度皆共六顆水珠時，第2、3、4、5、6顆水珠平均，皆去掉變化不規律的第一顆水珠。

又水珠長度正比於波長，假設濃度與表面張力呈正相關，我們試著做濃度對水珠長度圖



加上趨勢線後可看出濃度與水珠長度有高度正相關，雖然我們不知道表面張力的理論值，但此結果與我們的假設是符合的。

五、由實驗四的結果我們得知溫度愈高，水珠節長愈短。查資料得表面張力隨表面張力隨溫度 T 變化的經驗近似方程為： $T = 0.07275 \times (1 - 0.002 \cdot (K - 291))$ ， T 是表面張力， K 是溫度(絕對溫標)。將實驗中的三種溫度的水所對應的表面張力列於下表。

	20°C (293K)	40°C (313K)	60°C (333K)
表面張力 (N/m)	72.5×10^{-3}	69.5×10^{-3}	66.6×10^{-3}

再對照表面張力波速公式 $v = \sqrt{\frac{2\pi T}{\rho \lambda}}$ ，在相同流速下，表面張力 T 愈小，則 λ 愈小，

$\sqrt{\frac{T}{\lambda}}$ = 定值。因此溫度愈高，所對應的水珠節長應愈小，實驗結果也符合。將數據列表如下。

溫度	表面張力 T (N/m)	水珠平均長度(cm)	$\sqrt{\frac{\text{表面張力}}{\text{長度}}}$
20°C	0.072459	0.2012	0.6002
40°C	0.069549	0.1657	0.6478
60°C	0.066639	0.1269	0.7245

此處平均水珠長度是三種溫度皆共六顆水珠時，去掉變化不規律的第一顆水珠，取第 2、3、4、5、6 顆水珠的平均。溫度從 20 度 C 變到 60 度 C，各節點長度下降，我們假設平均長度正比於波長，可得到 $\sqrt{\frac{T}{\lambda}}$ = 定值，與表面張力波速公式結果大約相符。討論誤差應該是出現在溫度控制上，因為整個水流系統是開放式的，溫度愈高散熱愈快，加上水流不停流動，更加速熱量的散失，因此造成誤差。

六、在進行實驗當中，我們發現當高度比較短時(約 1 到 2 公分)，會有不穩定的現象，如下左圖 A。儘管器材已盡可能對齊水流，所以我們推測應該是管口髒汙，影響水流的穩定性，我們之後換了新管口，如下右圖 B，發現水不穩定性減小。也發現流速太慢時，水柱碰擊到玻棒時，則易受到玻棒的干擾，使得水柱會不斷地搖晃，使水流不穩定性提升。



圖 A

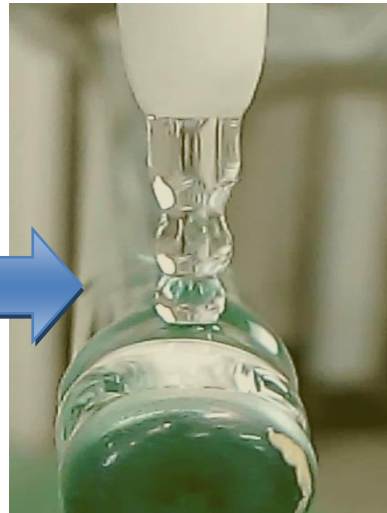


圖 B

柒、 結論

- 一、不論是哪個變因，水柱的節長會從第一顆至第 N 顆逐漸遞減。
- 二、水流速率會大大影響節的變化。流速愈快，節長越短。
- 三、玻棒粗細影響接觸角度，玻棒愈粗，角度愈大，表面張力作用愈大，節的長度愈長。
- 四、食鹽水濃度會改變表面張力，濃度愈高，表面張力愈大，節的長度愈長。
- 五、溫度會影響表面張力，溫度越高，表面張力越小，節長越短。

捌、未來展望與應用

- 一、恆溫器效果不彰，仍需事先控制溶液溫度，否則水溫降溫速度仍然過快，應將盛水容器更換成類似保溫瓶的材質，以維持水溫。
- 二、可以利用不同表面張力的溶液來驗證公式，但需注意有機溶液的回收及實驗器具的清潔。
- 三、若能準確的測出液體某點的流速，代入公式將會更準確。
- 四、往後我們可以透過觀察水珠的節變化，搭配各種不同的接觸障礙物、流速、溫度，去測量溶液的表面張力，再搭配已知溶液之表面張力，去計算出溶液的濃度，將會是一個經濟又實惠的方式，如此一來，避免化學變化的產生，也減少了不必要的資源浪費。

玖、參考資料

- 一、臺灣二〇〇七年國際科學展覽會 流體碰撞物體所產生的波形之研究及應用
- 二、蔡長青(1995)：落水波形之分析。國立中山大學物理學系碩士論文
- 三、臺灣二〇〇七年國際科學展覽會:垂直水柱的成節機制探討
- 四、中華民國第50屆中小學科學展覽會:水流噴射
- 五、03-98007-一篇值得參考的論文－關於水柱打結的現象
- 六、<http://www.twwiki.com/wiki/%E6%B6%B2%E9%AB%94%E8%87%AA%E7%94%B1%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E6%B3%A2>

【評語】 051806

作品的探討應更深入，例如水流速受到重力的影響，水柱下方改採球體，再進行實驗會有更好的結果。