# 中華民國第53屆中小學科學展覽會
# 作品說明書

---

國中組　物理科

**佳作**

030113

**激「冠」重重-液滴皇冠之探討與研究**

學校名稱：新竹縣立成功國民中學

| 作者： | 指導老師： |
| --- | --- |
| 國二 李允中<br>國二 陳長鈞<br>國三 張峻豪 | 張君豪<br>羅敏慈 |


關鍵詞：水皇冠、表面張力

# 摘要

我們認為不同的變因會決定水皇冠的形式，因此我們根據滴落高度、液滴大小、液面狀態等變因，針對水皇冠的直徑變化、濺起高度和懸浮液滴進行實驗。我們發現當水滴滴落時，水珠的重力位能會轉為動能，而接觸液面時，進而轉變成表面能，大部分的能量都轉移到水面下形成氣泡膜，剩餘的能量則將水面推高，以形成水皇冠。滴落高度在 80cm 前，水皇冠以正成長的趨勢隨滴落高度的增加而變大水珠皇冠開始由外包式水皇冠轉而成為內包式水皇冠 90cm~120cm 時，外直徑會有不穩定的現象。到了 120cm 之後，位能持續增加，水皇冠向外擴張力超越了表面張力，所以外直徑又會慢慢的增加。

# 壹、研究動機

再一次偶然的機會下，我們在一個飲料廣告的影片中，看到了牛奶從上而下注入飲料，產生了如皇冠形狀般的水波，這樣美妙的景象，在我們心中盪漾，久久無法平息，因此我們對於這個現象產生了濃厚的興趣，進行了一連串的實驗與探討，希望能夠對於這個美妙的現象有更深的了解。

# 貳、研究目的

一、基本測量

(一)單位水珠的體積

(二)水滴大小與臨界高度之探討

二、水珠落下時的形狀變化對水皇冠之探討

三、探討內包式與外包式水皇冠形成過程與原因

四、不同變因下水皇冠直徑變化情形

(一) 滴落高度與液滴大小對直徑的關係

(二) 液面狀態與直徑的關係

五、不同變因下水皇冠濺起高度之影響

(一) 滴落高度與液滴大小對高度的關係

(二) 液面狀態與高度的關係

六、不同變因下水皇冠懸浮液滴之影響

(一) 滴落高度與懸浮液滴的關係

(二) 液面狀態與懸浮液滴的關係

# 參、研究器材與設備

一、實驗器材

▼ (表 3-1-1) 實驗器材

| 數位相機(Casio ZR1000) | 數位相機(Casio ZR200) | 捲尺(150cm) |
|---|---|---|
| | | |
| 針頭 | | |
| **a** (口徑 0.4mm) | **b** (口徑 0.6mm) | **c** (口徑 1.2mm) |
| | | |

二、軟體介紹

(一)GoeGebra(圖 3-2-1)

操作步驟：

1.將照片匯入軟體中。

2.沿著水面畫出一條直線，再畫一直線平行於它並通過水皇冠最高點。

3.測量出兩直線垂直距離(線段 c)及比例尺長度(線段 f)。

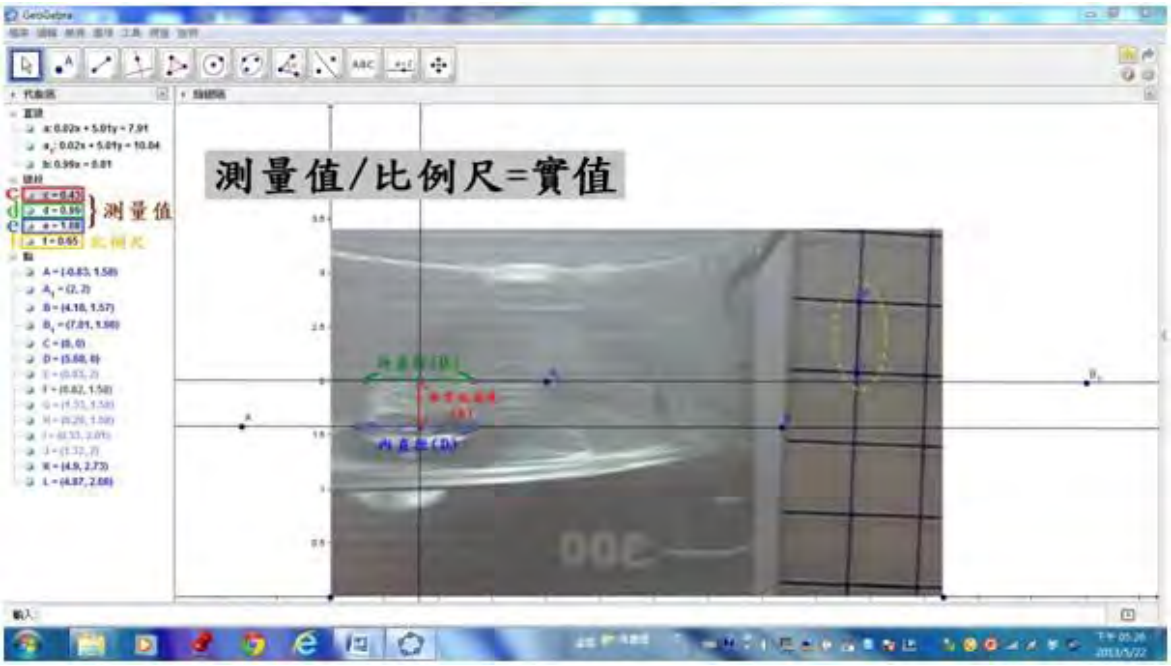
4.測量值/比例尺=實值(高度)

5.在通過水皇冠最高點的直線上標出皇冠最側緣的兩點。

6.其兩點距離(線段 d)為水皇冠外直徑的測量值。

7.在水面上水皇冠側緣標出兩點。

8.其兩點距離(線段 e)為水皇冠內直徑的測量值。




(圖 3-2-1)

(二)威力導演(圖 3-2-2)

操作步驟：

1.將影像檔匯入軟體中。

2.先找出水滴落下時的大約時間。

3.一次切換一畫格，找出水皇冠。

4.利用拍攝快照，截取出水皇冠的照片

(圖 3-2-2)

三、實驗裝置(如圖 3-3-1)

1.點滴組

2.鐵架及鐵夾

3.滴定管

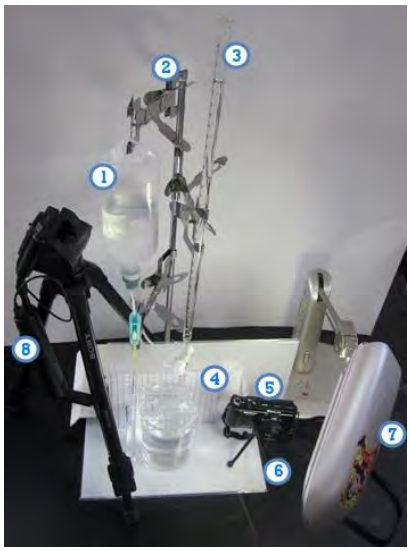
4.方眼紙(1cm)

5.數位相機(Casio ZR1000)

6.腳架(小)

7.檯燈

8.腳架(大)




(圖 3-3-1)

四、研究方法

(一)在每次實驗前，都必須先等待水面平穩，則開始進行實驗，首先調整到實驗所需高度，並將液滴滴於燒杯正中央，同時以固定焦距進行拍攝，先確認水滴滴落位置，接著在水滴落入水面的位置，以滴管擺置，把相機的焦距準確的調整好，並且固定該焦距，可呈現較精準的圖片，以減少實驗誤差。

(二)在進行不同針頭實驗時，因為點滴瓶附有調節流量的裝置，所以我們會固定點滴瓶的流量，以確保液滴大小會相同，接著在瓶身 500ml 的位置畫上記號，且將水面維持在此高度，每五滴校正一次，且在點滴瓶上方打洞，並利用漏斗來補充液體到該位置。

(三)將滴定管的水面固定在 0cm 的高度，而燒杯中的高度維持在 450ml，且每五滴校正一次，將燒杯中多出來的水，重新填充在滴定管中。

# 肆、實驗原理

【觀念一】：碰撞與液滴散射

液滴觸及界面時，液滴形變成扁平狀向水平方向散射開來，此時，黏滯力先展現出來，當散射面積大而液膜薄時，表面張力顯現而拉出圓形膜的端點，散出成皇冠如(圖4-1)。

(圖4-1)

【觀念二】：吉布士自由能

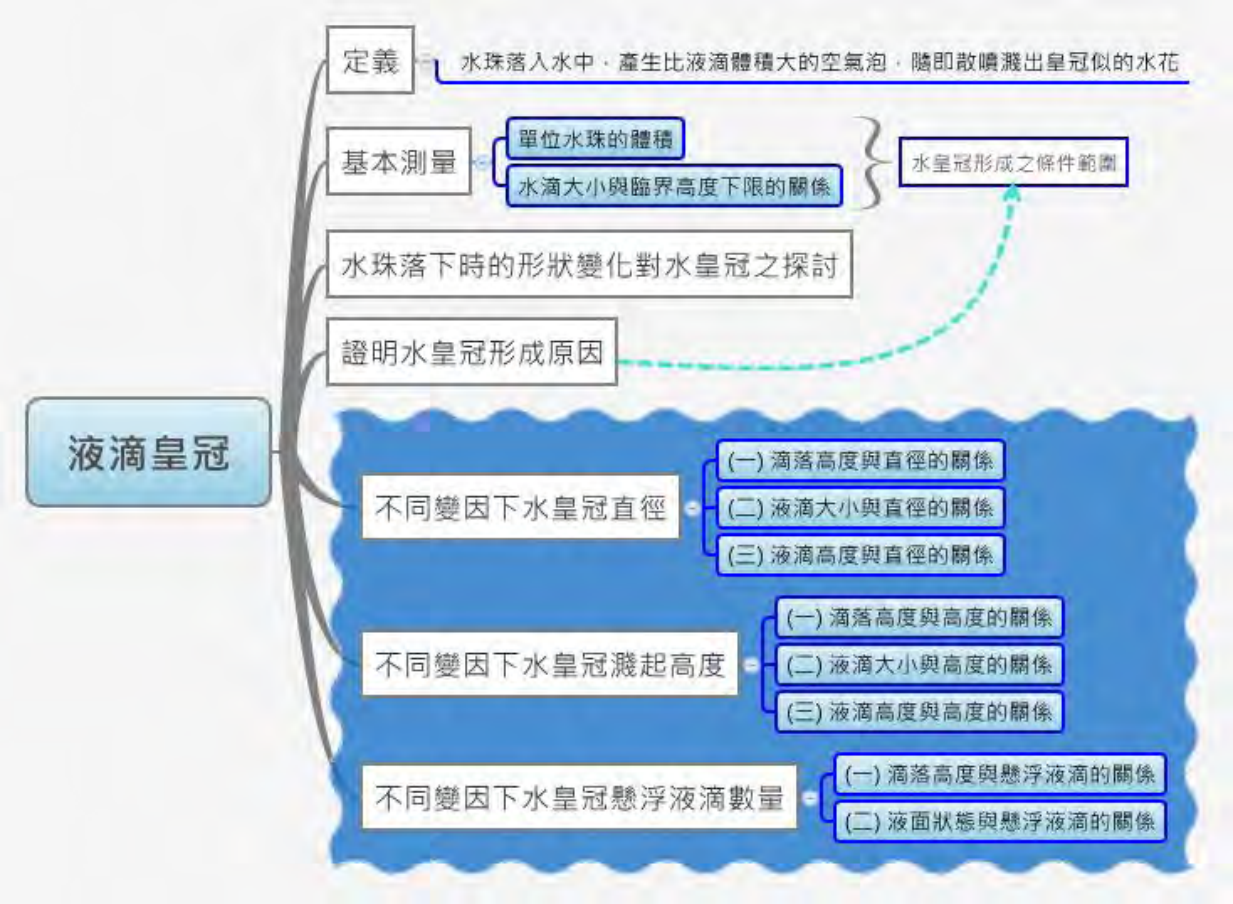
表面張力係數的廣義定義為：

表面張力係數 $\sigma$ 是在溫度T和壓力p不變的情況下，吉布士自由能G對面積A的偏導數。

$$\sigma = \left( \frac{\partial G}{\partial A} \right)_{T,p}$$ (假設溫度T和壓力p不變)

# 伍、研究設計

一、實驗流程圖




二、名詞定義

(一) H：滴落高度。

(二)水皇冠：水滴撞擊水面，水滴擠壓液面所形成的水花。

(三) h：濺起的皇冠高度。

(四)水皇冠外直徑($D_o$)：濺起的水皇冠最上緣的直徑。

(五)水皇冠內直徑($D_i$)：在水皇冠壁內，與水面切齊且為氣泡膜和水皇冠交界點的內部直徑

(六)懸浮液滴數(W)：水皇冠脫離的水滴數，又稱為皇冠波。

註：在實驗九與實驗十中，我們計算水皇冠在最高點的懸浮液滴數。

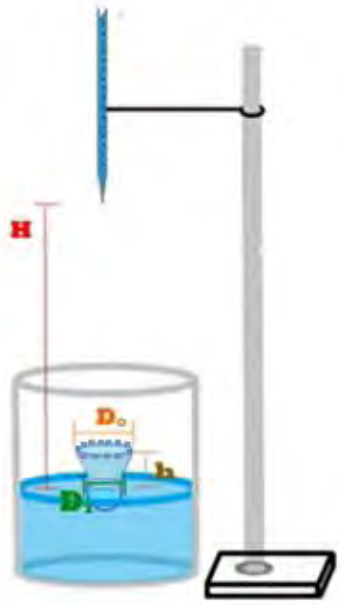
(七)臨界高度下限：液滴落下形成液滴皇冠的最小高度。

(八)氣泡膜：水滴撞擊水面，液面下凹所形成的空氣層。

(九)一般液面高度：大於2公分，不為滿水面，且不及底部，使氣泡膜不致觸及容器底面。

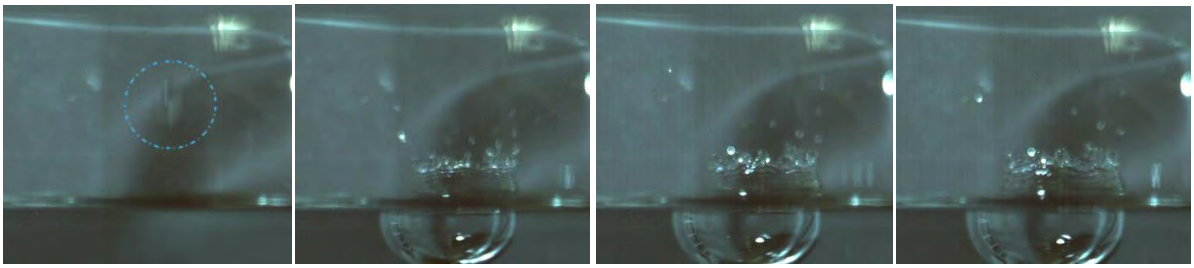
(十)滿水面: 一直加水直到水面因為表面張力而凸起時，稱為滿水面。

(十一)皇冠壁：皇冠的側緣。

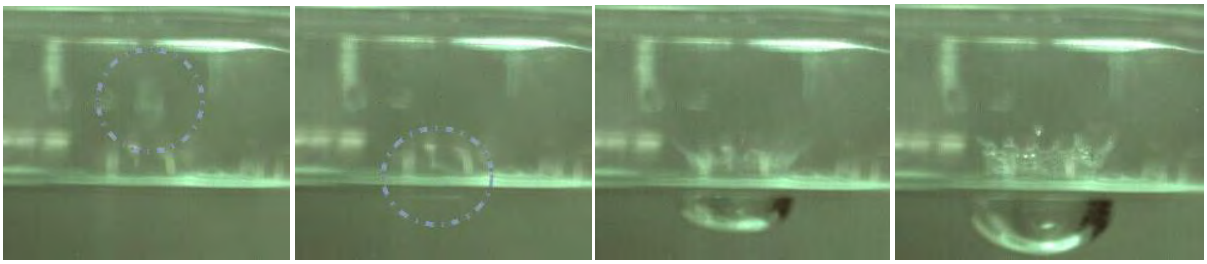



(圖 5-2-1)

(十二)內包式水皇冠：當液滴滴入液面，使其超過一定能量，以致內直徑大於外直徑，則會形成內包式水皇冠。如下圖



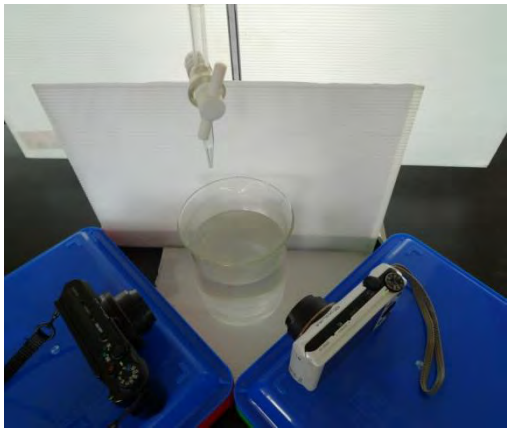
(十三)外包式水皇冠：當液滴滴入液面，而能量不足以形成內包式，以致外直徑大於內直徑時，則會形成外包式水皇冠。如下圖



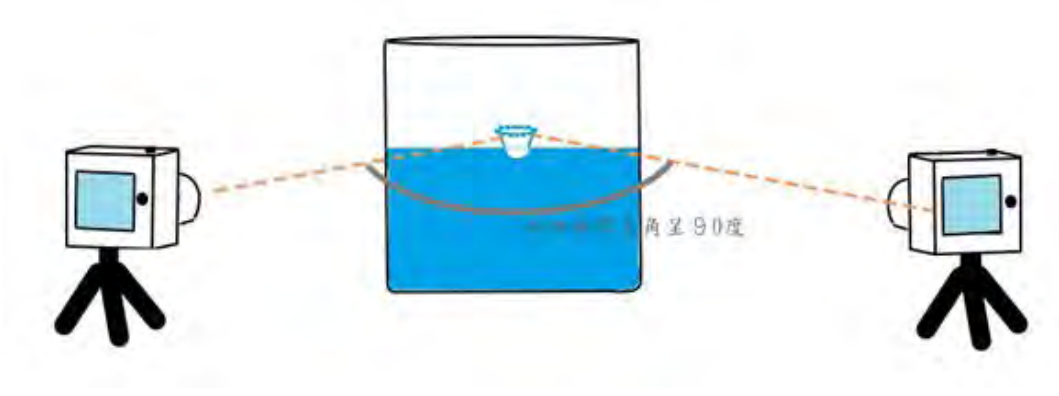
三、實驗設計

(一)V 型交錯拍攝法

為了要進行懸浮液滴數的實驗，我們必須要以兩台高速相機來拍攝，在他們之間的夾角維持 120 度，與水面平行且等高度，確認水滴滴落位置後，接著在水滴落入水面的位置，以滴管擺置，把兩台相機的焦距都準確的調整好，並且固定該焦距，同時拍攝，並以兩台相機的圖片來進行比對，確認其懸浮液滴數是否相等，為了避免有實驗誤差，若兩台相機拍攝的液滴數不相同，就會把不符合的圖片刪除，並重新進行實驗，這樣則可以精準的算出精準的懸浮液滴數。



圖(5-3-1) V 型交錯實際圖




圖(5-3-2) V 型交錯拍攝法

# 陸、研究過程及結果

## 一、單位水珠的體積

<目的>找出不同管徑的液滴大小。

<方法>分別取用滴定管、以及口徑分別為 0.4mm(針頭 a)、0.6mm(針頭 b)、1.2mm(針頭 c)的針頭， 滴入 50、100、150 及 200 滴的水珠滴入量筒中，求取平均值，計算式如下： 量筒中水的總量/水滴的滴數=水珠的單位體積

<結果>由表(6-1-1)可發現，針頭 a(0.4mm)、針頭 b(0.6mm)、針頭 c(1.2mm)和滴定管的液滴大小，分別為 0.0062c.c、0.0110c.c、0.0204c.c 和 0.0562c.c，由上可知口徑越大，液滴大小越大。

▼(表 6-1-1)水珠單顆體積

| 滴數 | 50 滴 | 100 滴 | 150 滴 | 200 滴 | 單位總平均 |
|---|---|---|---|---|---|
| 針頭 a (0.4mm)<br>單位平均 | 0.33<br>0.0066 | 0.62<br>0.0062 | 0.92<br>0.0061 | 1.21<br>0.006 | 0.0062 |
| 針頭 b (0.6mm)<br>單位平均 | 0.54<br>0.0108 | 1.10<br>0.011 | 1.65<br>0.011 | 2.20<br>0.011 | 0.0110 |
| 針頭 c (1.2mm)<br>單位平均 | 1.02<br>0.0204 | 2.01<br>0.0201 | 3.10<br>0.0207 | 4.06<br>0.0203 | 0.0204 |
| 滴定管<br>單位平均 | 2.81<br>0.0561 | 5.60<br>0.056 | 8.40<br>0.056 | 11.30<br>0.0565 | 0.0562 |

註：單位(c.c)

## 二、水滴大小與臨界高度之探討

<目的>找出各針頭所滴出的皇冠之下限高度。

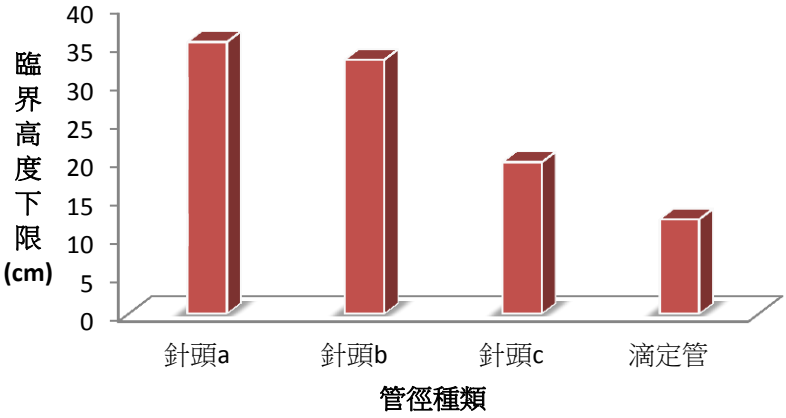
<方法>分別取用滴定管、以及寬度分別為針頭a(0.4mm)、針頭b(0.6mm)、針頭c(1.2mm)的，從高度10cm處開始滴水至燒杯中(每次調升1cm)，以相機攝影記錄，找出水皇冠形成的下限，水皇冠的形成是因為位能的轉換，根據我們的推測，高度越高只會使其表面能變大，因此我們認為沒有所謂水皇冠形成的最大上限

<結果>由(圖6-2-1)可得知，當液滴大小為0.0062c.c (針頭a)時，臨界高度下限為35.3cm；而液滴大小為0.0562c.c(滴定管)時，臨界高度下限為12.3cm，這是由於水滴大小會影響位能的大小，而位能會間接影響皇冠的形成，所以當水滴愈大，臨界下限會愈低；當水滴愈小，臨界下限就會愈高。我們也推測，水珠入射時的直徑大小，也會影響皇冠的形成，於是我們設計實驗五與實驗七，進行液滴大小與皇冠的探討。

▼(表6-2-1) 水滴大小與臨界高度下限的關係

| | 針頭 a(0.4mm) | 針頭 b(0.6mm) | 針頭 c(1.2mm) | 滴定管 |
|---|---|---|---|---|
| 第一次 | 35 | 33 | 20 | 12 |
| 第二次 | 36 | 32 | 19 | 12 |
| 第三次 | 36 | 34 | 20 | 13 |
| 平均 | 35.3 | 33 | 19.7 | 12.3 |

註：單位(cm)




(圖6-2-1) 水滴大小與臨界高度下限的關係

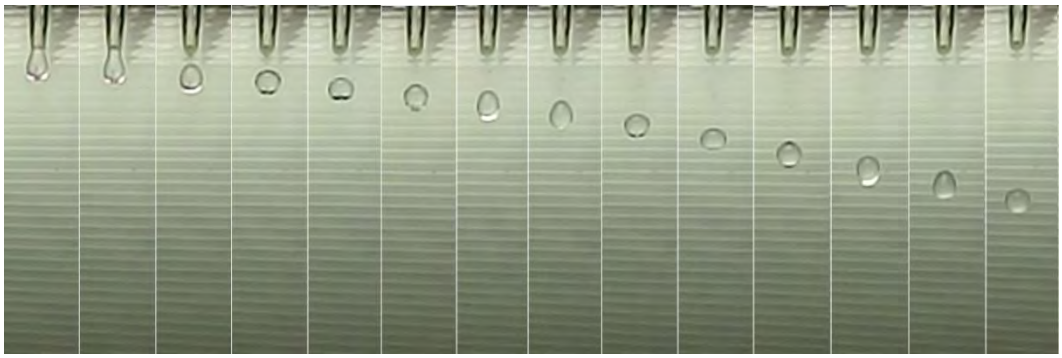
<討論>在實驗二，根據重力位能公式$U = mgh$，當液滴質量增加時，液滴落下動能便會增加，落下衝擊表面，而此時吉布士自由能便相較於質量較小的來的大，故水滴大小越大，臨界高度下限也就越小。

## 三、水珠落下時的形狀變化對水皇冠之探討

<目的>探討水珠落下時的形狀變化對水皇冠的影響

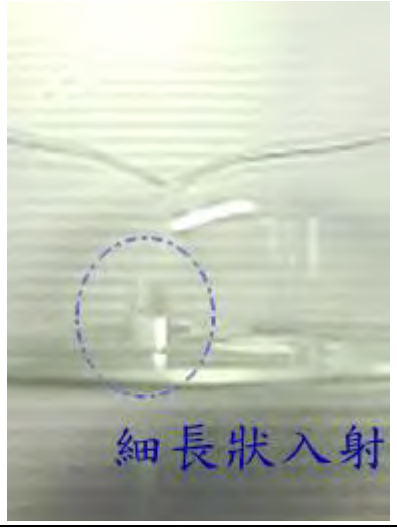
<方法>將攝影機對準滴定管口，拍下水珠由滴定管從50cm滴落的落下過程。另外，將攝影機對準液面，並判斷入射時的不同液滴形狀對水皇冠的影響。以軟體威力導演檢視並擷取圖片，再用Goegebra以判斷形變的強弱，以及液滴入射時的形變情形對於水皇冠直徑的影響。

<結果>由(圖6-3-1)可得知，水珠在滴落前，水會慢慢的凝聚於滴管的滴口，此時，地心引力會使水滴拉長後落下，水滴在落下的過程中會因為水珠本身的內聚力與地心引力的交互作用下而造成持續上下左右拉縮的形變 (圖6-3-1) ，由(表6-3-1)可得知不同的高度會影響水珠入射時的形狀，從50cm滴下時，尖錐狀入射時，產生的皇冠直徑為1.55cm；扁平狀入射時，產生的皇冠直徑為1.59cm，但是相同高度時水珠入射時的形狀幾乎是相同的，雖然有些許的差異，所以往後實驗誤差並不大。

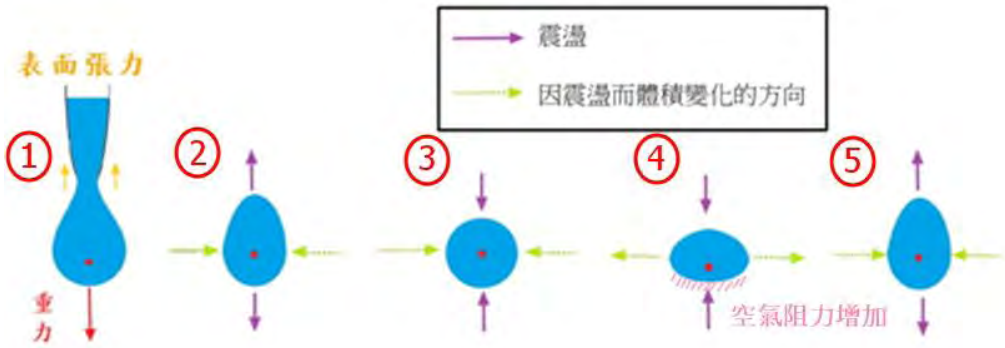


(圖6-3-1) 水珠在滴落過程中的形變

▼(表6-3-1) 尖錐狀與扁平狀入射對水皇冠直徑的影響

| 尖錐狀入射 | | |
|---|---|---|
| |  | |
| 水皇冠直徑：1.55cm | | |
| **扁平狀入射** | | |
| | | |
| 水皇冠直徑：1.59 cm | | |

<討論>由(圖6-3-1)發現，水珠滴落前，會匯聚於管口。脫離時，表面張力的影響造成水珠呈　水滴狀(圖6-3-2①)。完全脫離的瞬間，水珠本身張力促使其變回球狀(圖6-3-2②、③)，但其回復的力量導致水珠又會從球狀拉長成扁平狀(圖6-3-2④)，因此產生出振盪。當水珠拉成扁平狀至一定程度後，其本身張力又會使水珠回復成原來的球狀，隨之又拉長轉而變成與(圖6-3-2⑤)一樣的形狀，另外在滴落的過程中(圖6-3-2④)這個狀態下空氣阻力增加會使水珠於橫向面拉得更為扁平，進而造成，當張力表現於水珠上時，會將水珠在(圖6-3-2⑤)此狀態下的縱向面變的更長，導致震盪的現象更為的明顯。水珠在滴落的過程會中不斷以此規律來回震盪至落下為止，我們在拍攝的過程中，嘗試了非常多次，因為水滴落下的時間實在是太短了，因此必須要抓緊時間進行拍攝，我們拍攝了許多影片，並選取最好的部分來呈現。




(圖 6-3-2) 水珠落下時的形狀變化

## 四、探討內包式與外包式水皇冠形成過程與原因

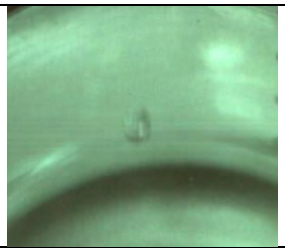
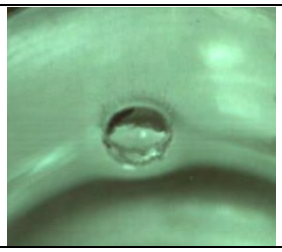
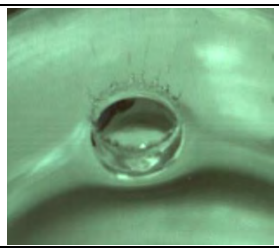
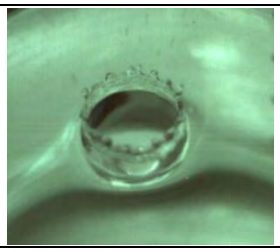
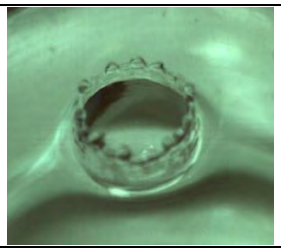
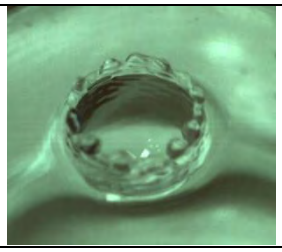
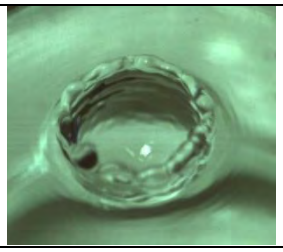
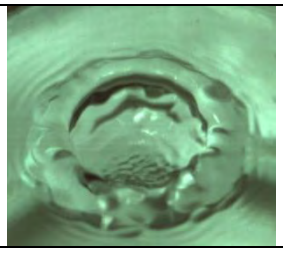
<目的>探討內包式與外包式水皇冠形成過程與原因

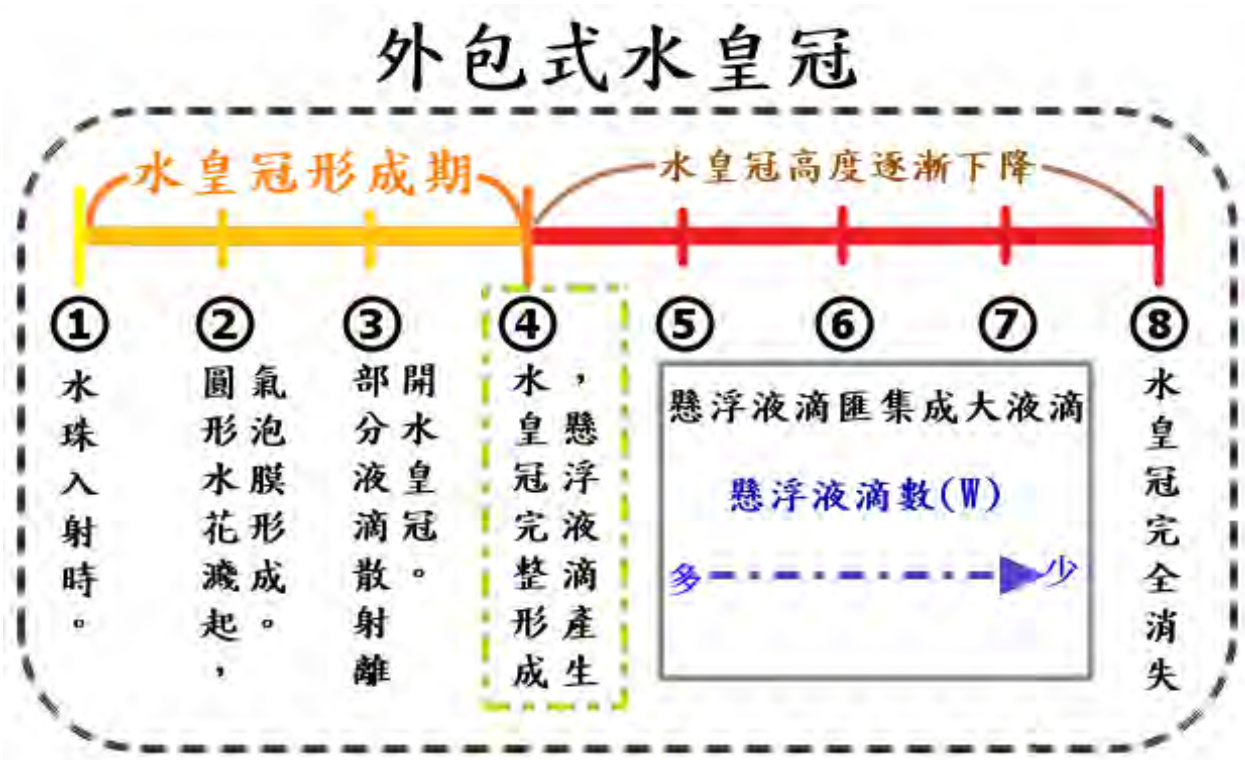
<方法>我們利用滴定管在80cm和130cm的滴落高度進行實驗，觀察出外包式水皇冠和內包式水皇冠的形成過程，並利用軟體-「威力導演」截圖，找出內包式與外包式水皇冠形成原因，並將圖片製成表格以進行比較，最後再製作時間軸。

<結果>我們可以由(圖6-4-1)得知，外包式水皇冠的形成期在(圖6-4-2-①~④)，直到(圖6-4-2-④)的時候，水皇冠才完全的形成，此時的皇冠是最高點，且會產生懸浮液滴，因為我們發現在(圖6-4-2-④)過後，產生的懸浮顆粒數就會逐漸變少，因此實驗九與實驗十我們都以皇冠最高點(圖6-4-2-④)來計算懸浮顆粒數。

由(圖6-4-2)可得知，內包式水皇冠的形成期也是在(圖6-4-2-①~④)，在(圖6-4-2-①~③)先向外延伸，直到(圖6-4-2-④)，才會由外轉內，形成內包式水皇冠，而內包式水皇冠到(圖6-4-2-⑧)時，水皇冠仍未消失，因此我們可得知其週期較長。

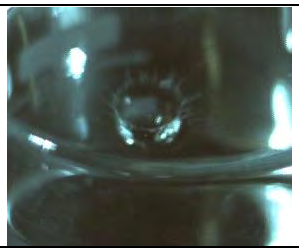
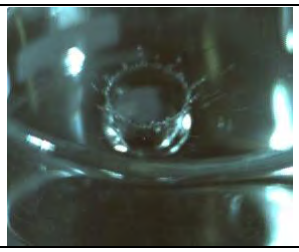
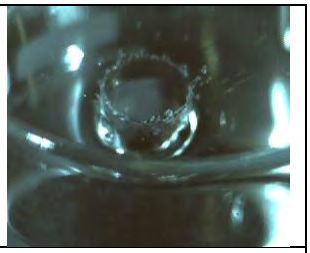
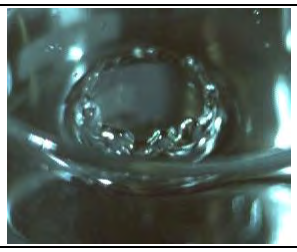
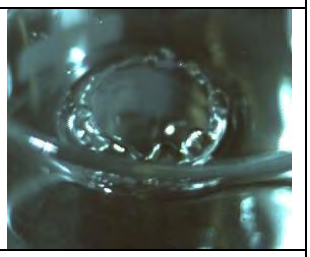
▼(表6-4-1) 外包式水皇冠形成過程

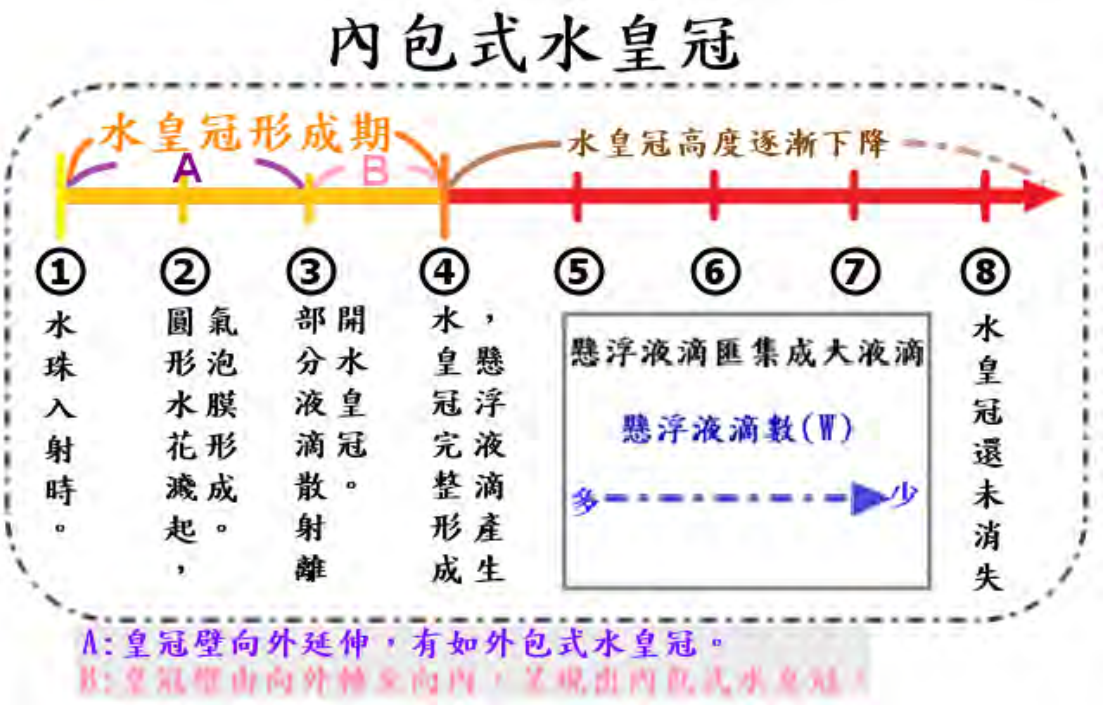
| | | | |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |
| ①1/1000sec | ②6/1000sec | ③12/1000sec | ④18/1000sec |
|  |  |  |  |
| ⑤24/1000sec | ⑥30/1000sec | ⑦36/1000sec | ⑧42/1000sec |




(圖 6-4-1) 外包式水皇冠形成過程

▼(表6-4-2) 內包式水皇冠形成過程

| | | | |
|---|---|---|---|
| |  |  |  |
| ①1/1000sec | ②6/1000sec | ③12/1000sec | ④18/1000sec |
| | |  |  |
| ⑤24/1000sec | ⑥30/1000sec | ⑦36/1000sec | ⑧42/1000sec |

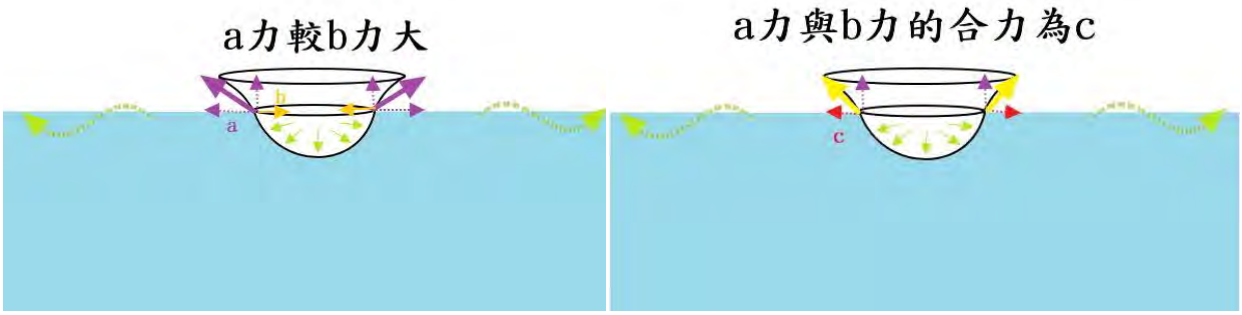



(圖 6-4-2) 內包式水皇冠形成過程

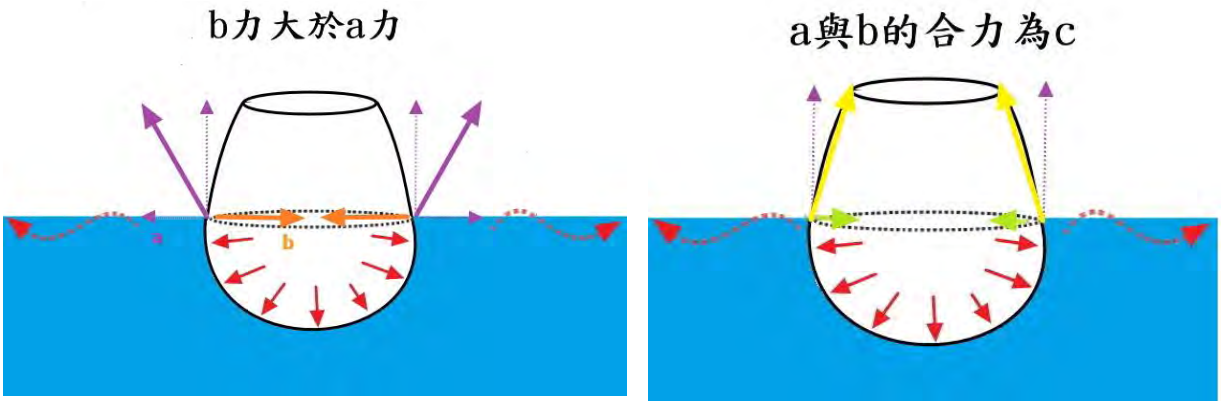
<討論>當水滴滴落時，水珠的重力位能會轉為動能，而接觸液面時，進而轉變成表面能，大部分的能量都轉移到水面下形成氣泡膜，剩餘的能量則將水面推高，以形成水皇冠。

要形成外包式水皇冠的滴落高度較低，故能量較少，所以形成的水皇冠較矮，因此滯空時間較短，向內的重力小於表面張力，則形成外包式水皇冠，相反的內包式水皇冠的滴落高度較高，產生的能量也較多，因此形成的水皇冠較高，滯空時間較長，所以向內的重力大於表面張力，因而成為內包式水皇冠。

我們認為真空效應也會影響內、外包式的形成，因為水滴滴入後，氣泡膜會將上方的皇冠壁下拉，而內包式皇冠的所需滴落高度也較高，滯空時間也較長，因此週遭的皇冠壁會被拉下，因而產生內包式水皇冠。




(圖6-4-3) 外包式水皇冠




(圖6-4-4) 內包式水皇冠

**五、滴落高度與液滴大小對直徑的關係**

<目的>找出不同滴落高度及不同液滴大小與水皇冠直徑的關係

<方法>依據滴定管和不同管徑的針頭，對於不同滴落高度進行實驗，分別取用滴定管、以及寬度分別為針頭a(0.4mm)、針頭b(0.6mm)、針頭c(1.2mm)的，將滴定管的管口置於距離水面10、20、30、40、.....、150公分，每次間隔10公分的高度，並觀察其變化，由於針頭a、b的下限高度為33和33.5cm，所以我們都從40cm開始進行實驗，以相機的高速攝影進行記錄，每組重複20次，再以軟體-「威力導演」截取照片，利用軟體-「GeoGebra」推算數據，找出水皇冠的外直徑($D_o$)、內直徑($D_i$)與滴落高度的關係。將數據整理成表格，並製成折線圖。

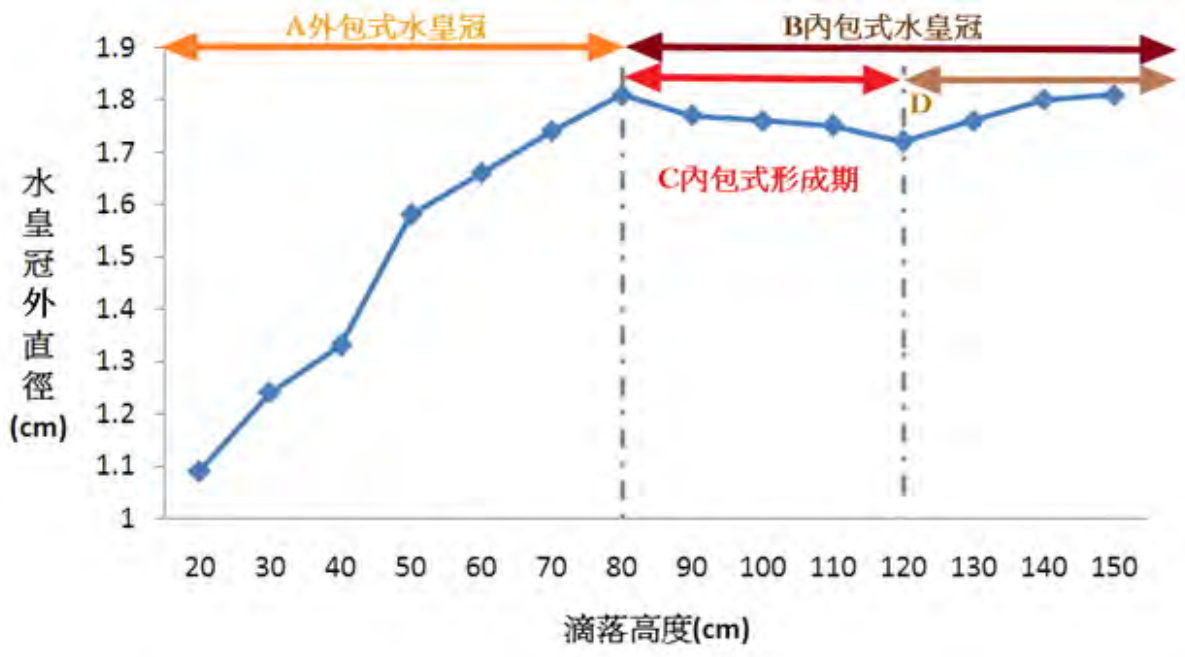
(一)水皇冠外直徑與滴落高度的關係

<結果>由(圖6-5-2)我們可以發現，不同的管徑由外包式轉為內包式的時間都不相同，針頭b在110公分時、針頭c在90公分、滴定管在80公分開始轉變，外包式轉為內包式的時間，會隨著液滴變小而延後，針頭a因體積太小，所以依然呈現外包式水皇冠；而針頭 b 的內包式形成期從110~130cm、針頭 c 的內包式形成期從90~120cm。由(圖6-5-1)可得知，滴定管的內包式形成期就是第一次的向下的轉折點，從80~120cm，因此我們發現內包式的形成期會隨著液滴大小變小而變短。當到達外直徑第二次增加的時間點時，就會持續上升。

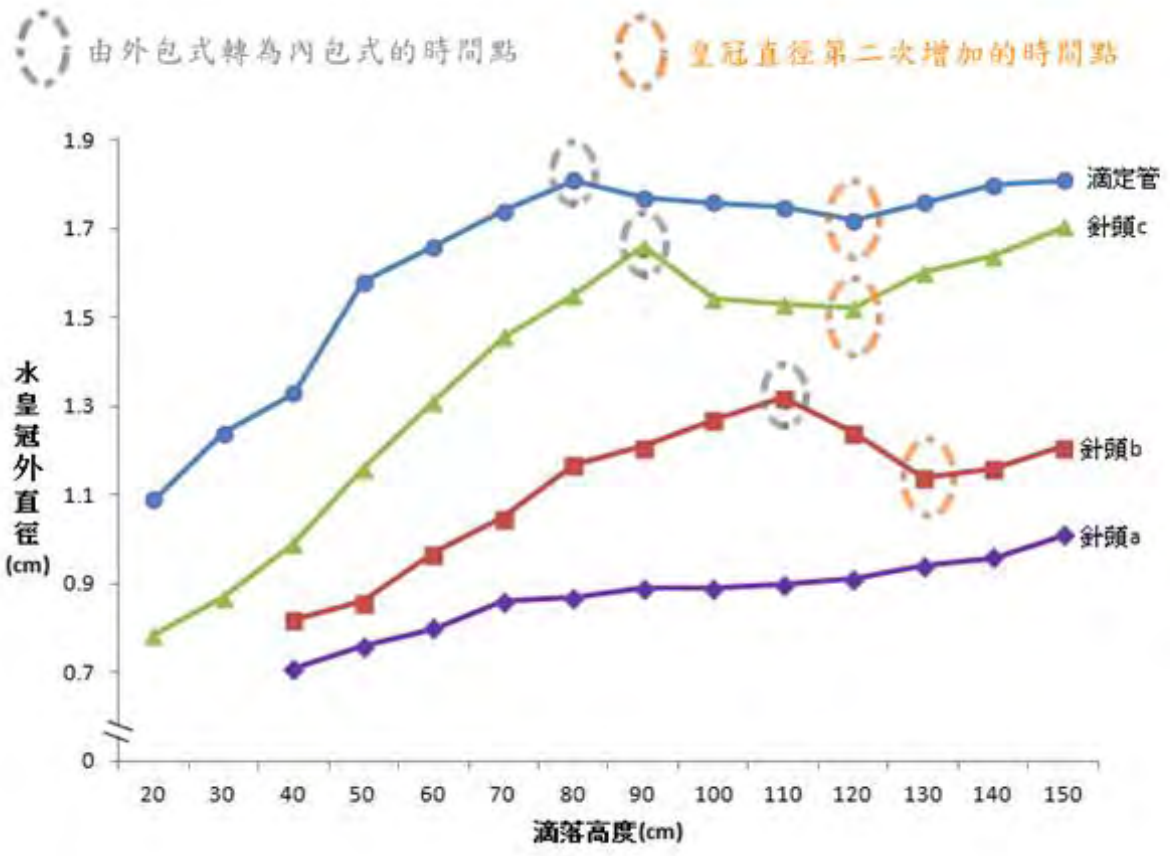
▼ (表6-5-1) 水皇冠外直徑與滴落高度的關係

| | 20cm | 30cm | 40cm | 50cm | 60cm | 70cm | 80cm | 90cm | 100cm | 110cm | 120cm | 130cm | 140cm | 150cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 針頭 a | xxx | xxx | 0.71 | 0.76 | 0.80 | 0.86 | 0.87 | 0.89 | 0.89 | 0.90 | 0.91 | 0.94 | 0.96 | 1.01 |
| 針頭 b | xxx | xxx | 0.82 | 0.86 | 0.97 | 1.05 | 1.17 | 1.21 | 1.27 | 1.32 | 1.24 | 1.14 | 1.16 | 1.21 |
| 針頭 c | 0.78 | 0.87 | 0.99 | 1.16 | 1.31 | 1.46 | 1.55 | 1.66 | 1.54 | 1.53 | 1.52 | 1.60 | 1.64 | 1.71 |
| 滴定管 | 1.09 | 1.24 | 1.33 | 1.58 | 1.66 | 1.74 | 1.81 | 1.77 | 1.76 | 1.75 | 1.72 | 1.76 | 1.80 | 1.81 |

註：單位(cm)




(圖6-5-1) 水皇冠外直徑與滴落高度(滴定管)




(圖 6-5-2) 水皇冠外直徑與滴落高度的關係

<討論>由實驗二我們可以得知若水珠入射時為扁平狀，外直徑會較大; 而水珠入射時為細長狀，外直徑會較小。由(圖 7-4-1)可得知，以滴定管滴落時，滴落高度在 80cm 前，水皇冠以正成長的趨勢隨滴落高度的增加而變大，高度到達 80cm 時，水珠皇冠開始由外包式水皇冠轉而成為內包式水皇冠，所以外直徑($D_o$)高度會逐漸變小。大約 90cm~120cm 時，外直徑會有不穩定的現象。到了 120cm 之後，位能持續增加，水皇冠向外擴張力超越了表面張力，所以外直徑又會慢慢的增加。

這個實驗最困難的部分就是數據的處理，因為我們考慮的了實驗的誤差性，原本要進行十重複，但是因為還有形變的影響，所以我們對於每個數據進行 20 次實驗，以減少實驗的誤差。

能量越大所產生的水皇冠直徑會較大，由(圖 7-4-2)可得知，不同的管徑由外包式轉為內包式的時間都不相同，這是因為較小的水滴質量所產生的重力位能較小，因此下降的動能也較小，而動能所轉變的表面能較小，所以產生的皇冠直徑亦較小。

內包式形成期會隨著液滴大小變小而變短，這是因為液滴大小越小形成的皇冠較小，相對所需的的能量較小，因此從外包式轉回內包式所花費的時間也較小。

(二)水皇冠內直徑與滴落高度的關係

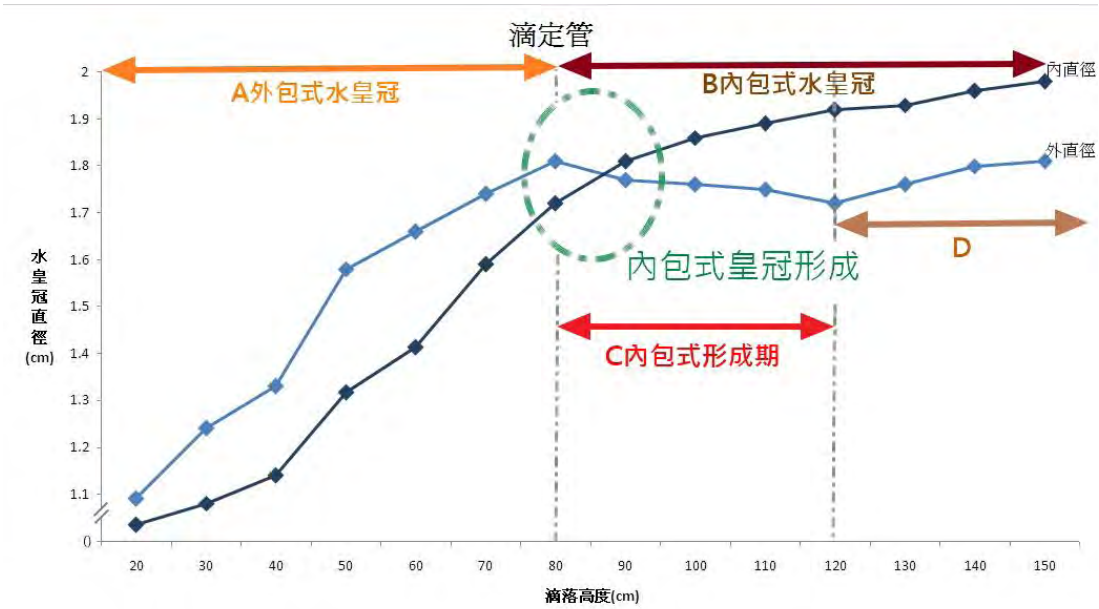
<結果>由(圖 6-5-3)可以發現，滴定管的內直徑會隨著滴落高度的增加而變大。在 20~80cm 時，外直徑會大於內直徑，並且同時以正成長的趨勢隨滴落高度的增夾而變大，外直徑大於當水皇冠在 80~90cm 時，轉而形成內包式時，內直徑會超越外直徑的大小，其他液滴大小也符合此現象，可參見附錄二。

而(圖 6-5-4)則可以得知，不同液滴大小的內皇冠都是隨著液滴高度的提高而增加。

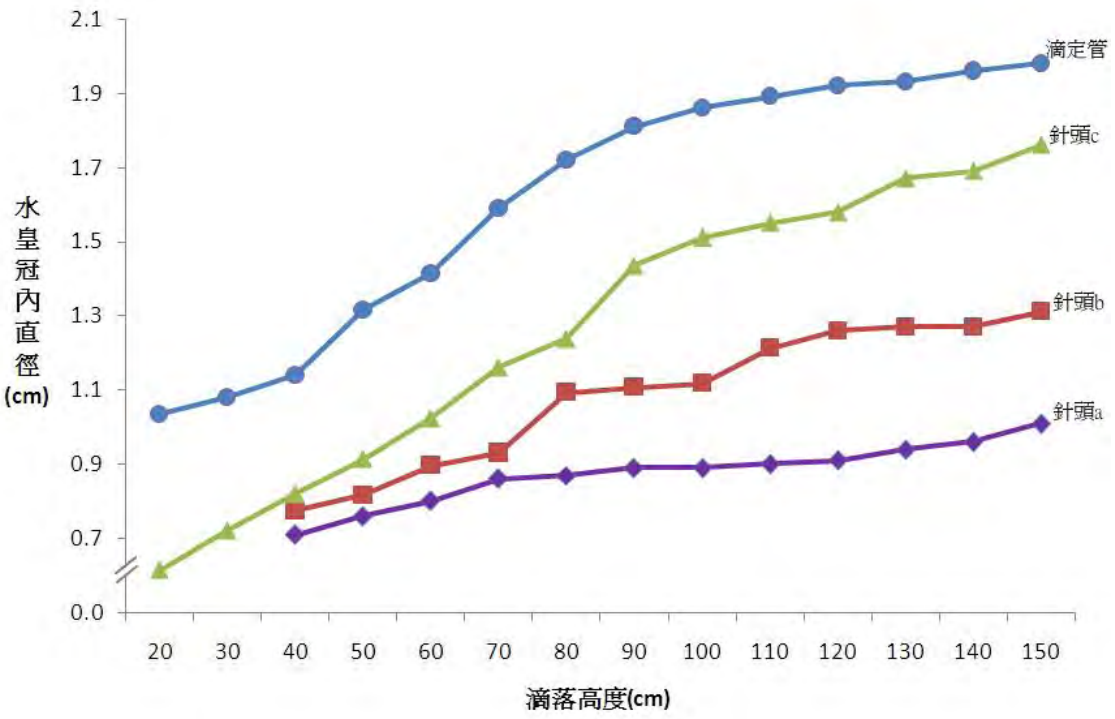
▼ (表6-5-2) 水皇冠內直徑與滴落高度的關係

| | 20cm | 30cm | 40cm | 50cm | 60cm | 70cm | 80cm | 90cm | 100cm | 110cm | 120cm | 130cm | 140cm | 150cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 針頭 a | xxx | xxx | 0.71 | 0.76 | 0.8 | 0.86 | 0.87 | 0.89 | 0.89 | 0.90 | 0.91 | 0.94 | 0.96 | 1.01 |
| 針頭 b | xxx | xxx | 0.78 | 0.82 | 0.90 | 0.93 | 1.09 | 1.11 | 1.12 | 1.21 | 1.26 | 1.27 | 1.27 | 1.31 |
| 針頭 c | 0.61 | 0.72 | 0.82 | 0.91 | 1.02 | 1.16 | 1.24 | 1.43 | 1.51 | 1.55 | 1.58 | 1.67 | 1.69 | 1.76 |
| 滴定管 | 1.03 | 1.08 | 1.14 | 1.32 | 1.41 | 1.59 | 1.72 | 1.81 | 1.86 | 1.89 | 1.92 | 1.93 | 1.96 | 1.98 |

註：單位(cm)




(圖 6-5-3) 水皇冠內直徑與滴落高度(滴定管)




(圖 6-5-4) 水皇冠內直徑與滴落高度的關係

<討論>在外包式水皇冠時，內直徑和外直徑因為能量的上升而增加，但是到達內包式形成期，外包式的直徑開始下降，而內直徑持續上升，則會超過外直徑的大小，因而形成內包式皇冠。根據重力位能公式$U = mgh$，當液滴大小越大時，成長的斜率也較大，因為增加同樣的高度時，質量較大產生的能量較大，所以和前者的直徑差也較大。

**六、水皇冠直徑與液面狀態的關係**

<目的>找出水皇冠直徑與液面狀態的關係

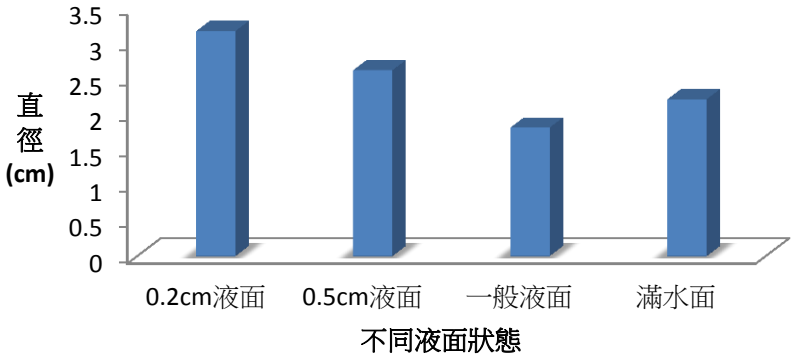
<方法>我們先固定水滴滴落高度為80公分，分別針對液面高度0.2cm、0.5cm、一般液面和滿水面進行實驗，一般液面的定義為大於2cm，但小於滿水面的高度，因為我們要使其高度不會受底部和表面張力的影響，因此定義這些高度。滴水至燒杯中，且觀察其變化，以相機攝影記錄，再以軟體威力導演截取照片，利用軟體GeoGebra推算數據，找出水皇冠直徑與液滴大小的關係。

<結果>如 (圖6-6-1)，當液面高度為0.2cm液面時，水皇冠直徑為3.17cm；而一般液面高度，水皇冠直徑為1.81cm，由於水滴在滴入液面時會向外推擠，製造皇冠。而當液面較低時，水滴滴落時所造成的能量可以傳遞比較遠，激起的皇冠直徑會比較大，但是到達滿水為時，表面無法支撐，所以能量能夠輕易的以水波的方式散開，因此水皇冠高度又再度回到2.21cm的高度，如(表6-6-1)。

▼ (表6-6-1) 水皇冠直徑與液面狀態的關係

| | 0.2cm 液面 | 0.5cm 液面 | 一般液面 | 滿水面 |
|---|---|---|---|---|
| 第一次 | 3.18 | 2.63 | 1.81 | 2.21 |
| 第二次 | 3.11 | 2.58 | 1.82 | 2.26 |
| 第三次 | 3.23 | 2.68 | 1.81 | 2.25 |
| 第四次 | 3.10 | 2.64 | 1.83 | 2.17 |
| 第五次 | 3.23 | 2.56 | 1.79 | 2.17 |
| 平均 | 3.17 | 2.62 | 1.81 | 2.21 |

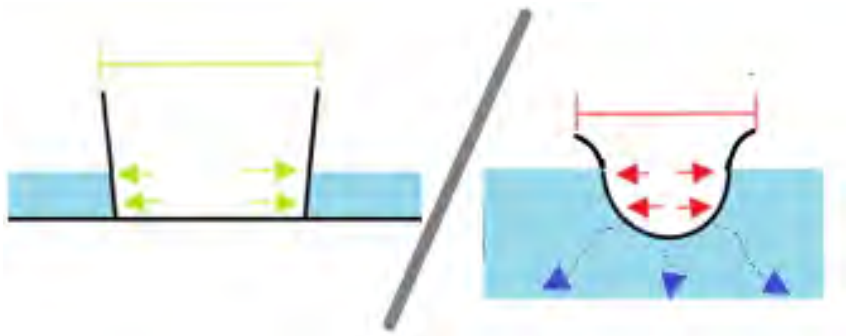
註：單位(cm)




(圖6-6-1) 水皇冠直徑與液面狀態的關係

<討論>由於水滴在滴入液面時會向外推擠，製造皇冠。而當液面較低時，周遭的水面較少，所以水面較容易被推開，因此激起的皇冠直徑會比較大，但是到達滿水位時，表面無法支撐，所以能量能夠輕易的以水波的方式散開，因此水皇冠直徑又再度變大，如(圖6-6-2)。

我們原本要採用0.1cm的液面高度進行實驗，逐次提升0.1cm。但水的內聚力大於玻璃的吸附力，無法形成穩定液面，因而選用0.2cm的液面開始進行高度。



(圖6-6-2) 液面極低與一般液面的比較

## 七、滴落高度與液滴大小對高度的關係

<目的>找出不同滴落高度及不同液滴大小與水皇冠高度的關係

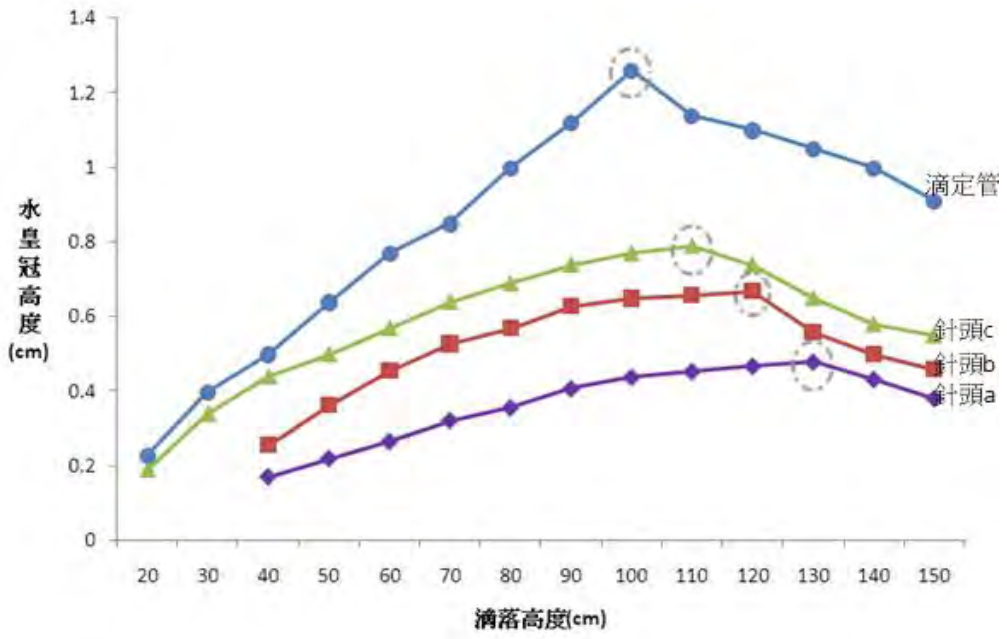
<方法>依據滴定管和不同管徑的針頭，對於不同滴落高度進行實驗，分別取用滴定管、以及寬度分別為針頭a(0.4mm)、針頭b(0.6mm)、針頭c(1.2mm)的，將滴定管的管口置於距離水面10、20、30、40、.....、150公分，每次間隔10公分的高度，並觀察其變化，根據實驗二可得知，針頭a、b的臨界高度下限為33和33.5cm，所以我們都從40cm開始進行實驗，以相機的高速攝影進行記錄，每組重複20次，再以軟體-「威力導演」截取照片，利用軟體-「GeoGebra」推算數據，找出水皇冠的高度與滴落高度的關係。將數據整理成表格，並製成折線圖。

<結果>由(圖6-7-1)可以發現，20公分到90公分之間，從滴定管的皇冠高度都持續呈現增加，水皇冠的高度從0.23公分增加到1.26公分，直到100公分到達最高點(1.26公分)後，下降至0.91公分，如(表6-7-1)的灰色圓圈為水皇冠高度的最高點，針頭c的最高點為110cm、針頭b為120cm、針頭a為130cm，隨著液滴大小的變小，高度的轉折期也會隨之延後產生。

▼ (表6-7-1) 水皇冠高度與滴落高度的關係

| | 20cm | 30cm | 40cm | 50cm | 60cm | 70cm | 80cm | 90cm | 100cm | 110cm | 120cm | 130cm | 140cm | 150cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 針頭 a | xxx | xxx | 0.17 | 0.22 | 0.27 | 0.32 | 0.36 | 0.41 | 0.44 | 0.45 | 0.47 | 0.48 | 0.43 | 0.38 |
| 針頭 b | xxx | xxx | 0.26 | 0.36 | 0.46 | 0.53 | 0.57 | 0.63 | 0.65 | 0.66 | 0.67 | 0.56 | 0.50 | 0.46 |
| 針頭 c | 0.26 | 0.34 | 0.44 | 0.50 | 0.57 | 0.64 | 0.69 | 0.74 | 0.77 | 0.70 | 0.67 | 0.61 | 0.58 | 0.55 |
| 滴定管 | 0.23 | 0.40 | 0.50 | 0.64 | 0.77 | 0.85 | 1.00 | 1.12 | 1.26 | 1.14 | 1.10 | 1.05 | 1.00 | 0.91 |

註：單位(cm)

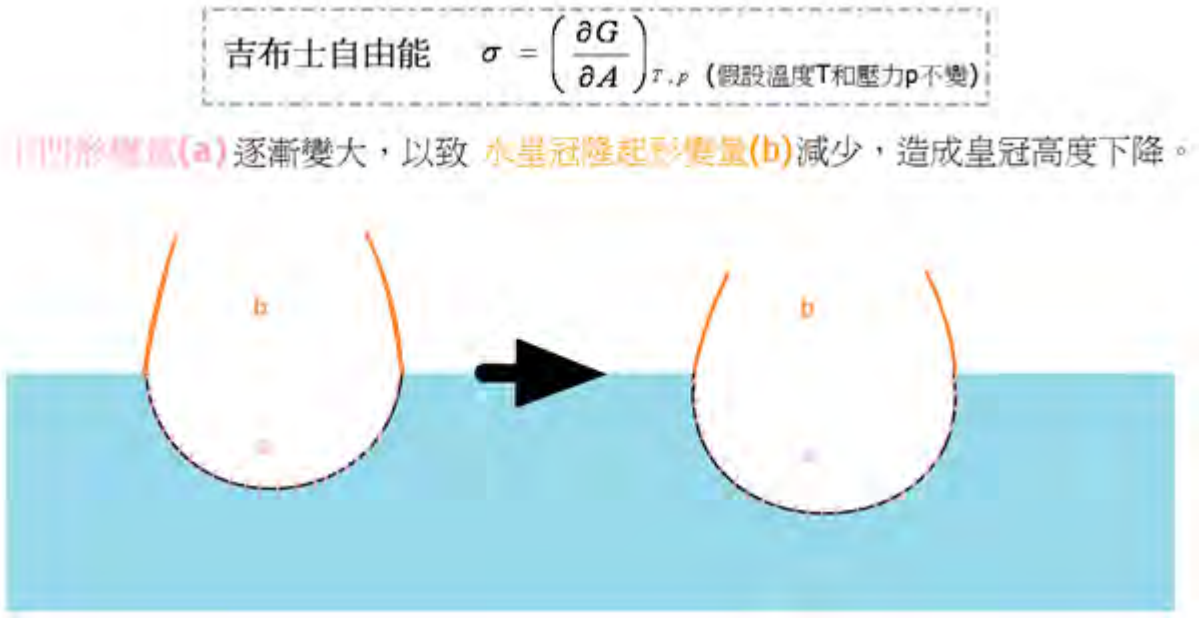



(圖 6-7-1) 水皇冠高度與滴落高度(的關係

<討論>由(圖6-7-1)結果可以發現，20公分到90公分之間，滴定管皇冠高度都持續呈現增加，因為原本水滴落下的位能會轉換成動能，高度越高，位能就越大，直到100公分時，開始呈現下降的變化，這是因為到達一定的高度後，水面下水滴面積變大，根據吉布士自由能[觀念二]的理論，表面張力係數的單位是能量/面積，而能量都轉移到水面下，因此皇冠高度才會呈現減少的變化。

由(圖6-7-2)的結果可以發現液滴大小越大時，所形成的水皇冠高度就會越高，這是因為質量的大小會影響重力位能的大小，水珠降落之後，撞擊力會有所不同，因此彈起的水皇冠高度也會有所影響，能量都已經轉移到水面下的氣泡膜，高度就會逐漸變矮。

較小的液滴所具有的動能較小，因此要增加滴落高度以累積較多的能量，氣泡膜才會下凹的較深，並造成大部分能量轉移到氣泡膜，所以越小的液滴產生轉折點的位置所需的滴落高度也越高。




(圖 6-7-3)形變量轉換示意圖

## 八、水皇冠高度與液面狀態的關係

<目的>找出水皇冠高度與液面狀態的關係(為何用0.2cm 0.5cm)

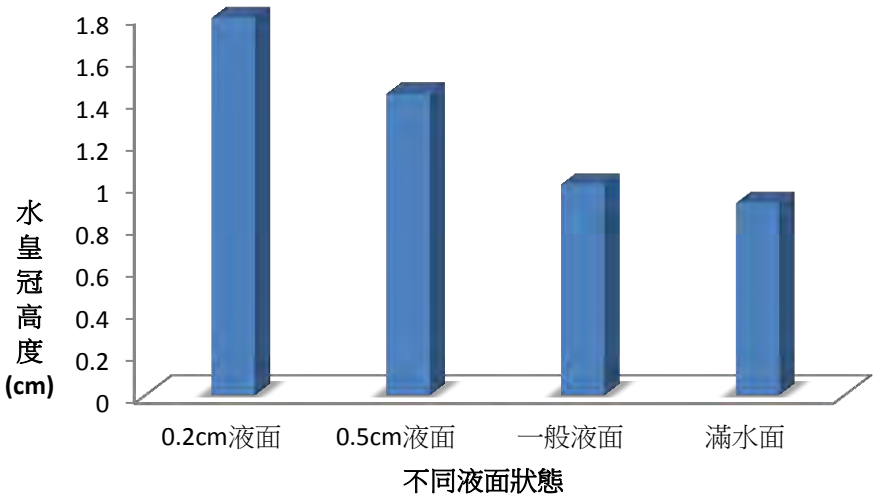
<方法>固定高度為80公分，並將液面高度設為0.2cm、0.5cm、一般高度和表面張力，並開始滴水至燒杯中，且觀察其變化，以相機攝影記錄，再以軟體威力導演截取照片，利用軟體GeoGebra推算數據，找出水皇冠高度與液面高度的關係。

<結果>由(圖6-8-1)的結果可以發現，0.2公分的高度所呈現的水皇冠高度最高，而隨著液面高度的增加，水皇冠的高度反而會逐漸減少，而滿水面時水皇冠高度呈現較低，因此我們可以得知，液面高度會影響皇冠的高度。

▼ (表6-8-1) 水皇冠高度與液面狀態的關係

| | 0.2cm 液面 | 0.5cm 液面 | 一般液面 | 滿水面 |
|---|---|---|---|---|
| 第一次 | 1.78 | 1.50 | 0.98 | 0.88 |
| 第二次 | 1.85 | 1.43 | 1.00 | 0.92 |
| 第三次 | 1.77 | 1.48 | 0.99 | 0.88 |
| 第四次 | 1.72 | 1.31 | 1.03 | 0.95 |
| 第五次 | 1.81 | 1.44 | 1.00 | 0.95 |
| 平均 | 1.79 | 1.43 | 1.00 | 0.91 |

註：單位(cm)

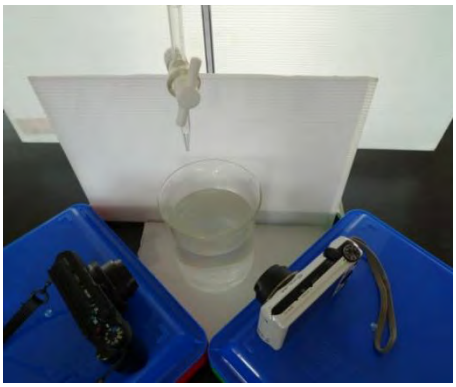



(圖6-8-1) 水皇冠高度與液面狀態的關係

<討論>由(圖6-8-1)可以發現，0.2公分的高度所呈現的水皇冠高度最高，而隨著液面高度的增加，水皇冠的高度反而會逐漸減少，這是因為當水皇冠撞擊極低液面時，所形成的表面波較小，無法散失較多能量，所以產生的皇冠較高，如(圖6-8-2)。因此我們可以得知，液面高度會影響皇冠的高度。而滿水面時，水滴滴下時液面已經無法支撐，能量可以輕易的以表面波的形式散失能量，因此滿水面時的水皇冠高度會較低。

(圖6-8-2) 水皇冠與極低液面的原理圖

## 九、滴落高度與懸浮液滴的關係



圖(6-9-1) V型交錯實際圖

<目的>找出滴落高度與懸浮液滴的關係

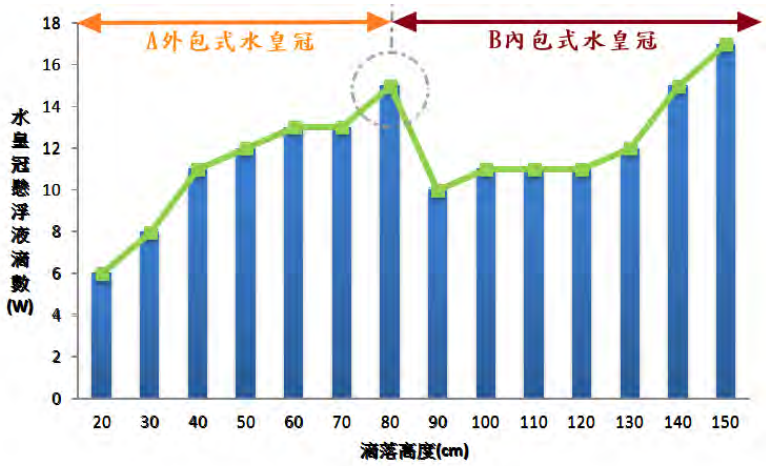
<方法>利用滴定管對於不同滴落高度進行實驗，將滴定管的管口置於距離水面20、30、40、.....、150公分，每次間隔10公分的高度，並觀察懸浮液滴的顆粒數，以交叉拍攝法進行記錄，並利用軟體-「威力導演」計算數據，找出滴落高度與懸浮液滴的關係。將數據整理成表格，並製成長條圖及折線圖。

<結果>由(圖6-9-2)我們可以發現懸浮顆粒數在20~80cm時侯會隨著高度而增加，而此高度剛好為外包式水皇冠，直到80cm時，轉為內包式水皇冠時，懸浮顆粒數則會開始減少，而100cm到120cm時，他會呈現持平的現象，直到130cm後，才會明顯的增加。

▼ (表 6-9-1) 滴落高度與懸浮液滴的關係

| 20cm | 30cm | 40cm | 50cm | 60cm | 70cm | 80cm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | 8 | 11 | 12 | 13 | 13 | 15 |
| 90cm | 100cm | 110cm | 120cm | 130cm | 140cm | 150cm |
| 10 | 11 | 11 | 11 | 12 | 15 | 17 |

註：單位(個)




(圖 6-9-2) 滴落高度與懸浮液滴的關係

<討論>由(圖 7-6-1)我們可以發現懸浮顆粒數在外包式水皇冠的時侯會回隨著高度的增加，直到 80cm 時，轉為內包式水皇冠時，懸浮顆粒數則會開始減少，因為當外包式水皇冠剛轉為內包式水皇冠時，能量幾乎都因形成內包式而被消耗掉了，因此無法產生較多的懸浮液滴。滴落高度為 100cm~120cm 的懸浮液滴數(W)呈現持平現象，我們推測因為 100cm~120cm 是內包式形成期所造成的。

我們原本無法拍出較精確的影像來計算懸浮液滴數，因為算出的誤差極大，經過一番討論與實驗後，成功研發出交叉拍攝法，以得到較為精準的數據。

## 十、液面狀態與懸浮液滴的關係

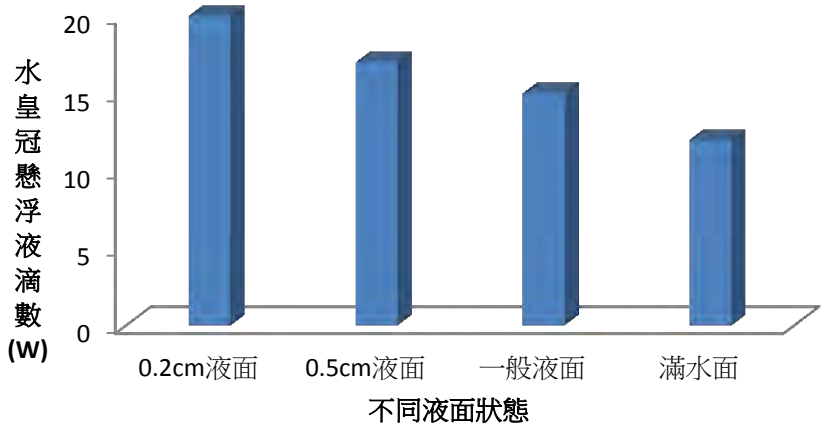
<目的>找出液面狀態與懸浮液滴的關係

<方法>我們以滴定管由80cm的滴落高度滴下，分別依據0.2cm液面、0.5cm液面、一般液面和滿水面的液面狀態進行實驗，滴水至燒杯中，且觀察其變化，以交叉拍攝法進行記錄，再以軟體威力導演截取照片，並計算數據，找出液面狀態與懸浮液滴的關係。將數據整理成表格，並製成長條圖。

<結果>由(圖 6-10-1) 我們可以發現液面狀態越低，所產生的水皇冠的懸浮液滴數也會越多，0.2cm 液面、0.5cm 液面、一般液面和滿水面水皇冠的懸浮液滴數分別為 20cm、17 cm、15 cm 和 12 cm。

▼ (表 6-10-1) 液面狀態與懸浮液滴的關係

| 0.2cm 液面 | 0.5cm 液面 | 一般液面 | 滿水面 |
|---|---|---|---|
| 20 | 17 | 15 | 12 |




(圖 6-10-1) 液面狀態與懸浮液滴的關係

<討論>我們發現較低液面時，水珠所擁有的動能在形成氣泡膜之前，就已經因為接觸底面，因此能量還未被消耗掉，所產生的水皇冠的懸浮液滴數也較多，而較高液面因為能量大多都被氣泡膜所消耗掉了，因此就剩下較少的能量以形成懸浮液滴，所以產生的懸浮液滴也相對較少。

# 柒、結論

1.根據重力位能公式$U = mgh$，液滴質量與所具能量成正向關係，且與滴落高度成反比。

2.水珠滴落中，空氣阻力增加使水珠橫向形成較扁平，使張力表現於水珠上，使縱向拉長，導致震盪現象更明顯，且此現象遞增明顯。

3.水珠滴落時，其重力位能轉為動能；且接觸液面會轉變成表面能，多數能量轉移至水面下形成氣泡膜；剩餘能量將水面推高，形成水皇冠。

4. 水皇冠的滴落高度降低，則形成外包式水皇冠；滴落高度較高，形成內包式水皇冠。
5. 能量與皇冠直徑呈正向關係。管徑縮小，水皇冠形式轉變的時間延後，因小水滴的質量與重力位能及下降動能呈正向關係。動能所轉變的表面能較小，產生的皇冠直徑較小。
6.液滴滴入推開周遭水面形成水皇冠；當水深較低時，較少水量易推開，而水皇冠直徑較大；且滿水位時，水珠易破壞表面張力而易推開水，使水皇冠直徑擴大。
7.據吉布士自由能[觀念二]，表面張力能量會轉到水面下的氣泡膜，而皇冠高度逐漸減少。
8.水珠撞擊極低液面的水皇冠高度較高，而撞擊滿水面時的水皇冠高度較低。
9.當水皇冠為外包式時，懸浮顆粒數(W)隨高度增加，直到轉內包式水皇冠(80cm)，懸浮顆粒數(W)會開始減少。
10.極低液面的水皇冠懸浮液滴數(W)較多，而高液面因能量用以產生氣泡膜，而懸浮液滴(W)較少。

# 捌、未來展望

這次實驗中，我們只有針對水滴入水的探討，而且我們發現水的黏滯力、滴入物體體積和滴入物體質量都會影響皇冠的形成。因此我們希望可以用不同黏滯力的液面和不同的滴入物體進行實驗。最後，我們希望可以用更高速的相機拍攝，並取得更佳的畫面時間點、畫質和數據，以幫助我們實驗原理模組的建立。

# 玖、參考資料及其他


壹、中文部分

【學位論文】

陳妊蓉 謝文娟(2007)。“液”滴活泉-探討液滴與液面的碰撞與振盪

貳、英文部分

【學位論文】

J. Non-Newtonian Fluid Mech.(2005).Impact dynamics of drops on thin films of viscoelastic wormlike micelle silutions

(2006).Dynamics and disintegration of drops of polymeric liquids

Kyoyo.(2003).Numerical Simulation of a Single Drop Impact on Liquid Surface using Particle Method

參、網路資源

一、中文部分

【摘要及資料庫資料】

維基百科。表面張力係數，取自：

http://zh.wikipedia.org/zh-hk/%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E5%BC%B5%E5%8A%9B%E4%BF%82%E6%95%B8

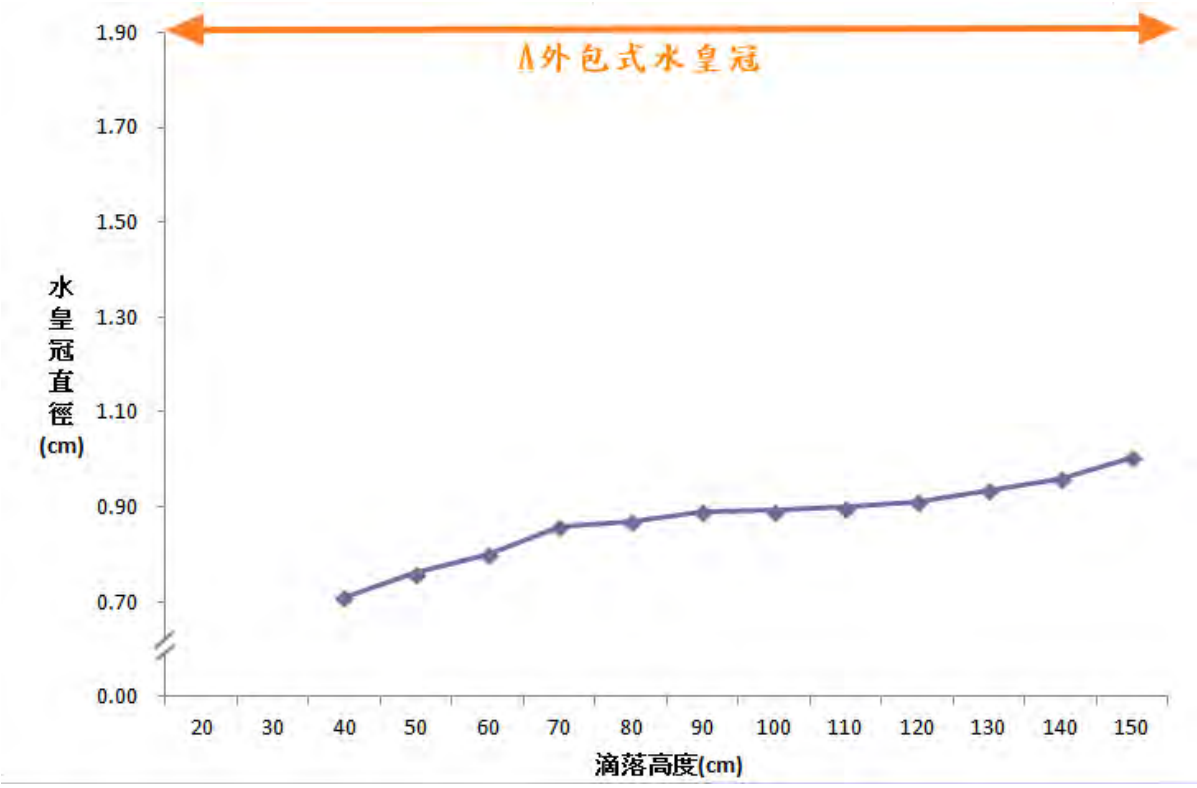
吉布士自由能，取自：

http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%90%89%E5%B8%83%E6%96%AF%E8%87%AA%E7%94%B1%E8%83%BD

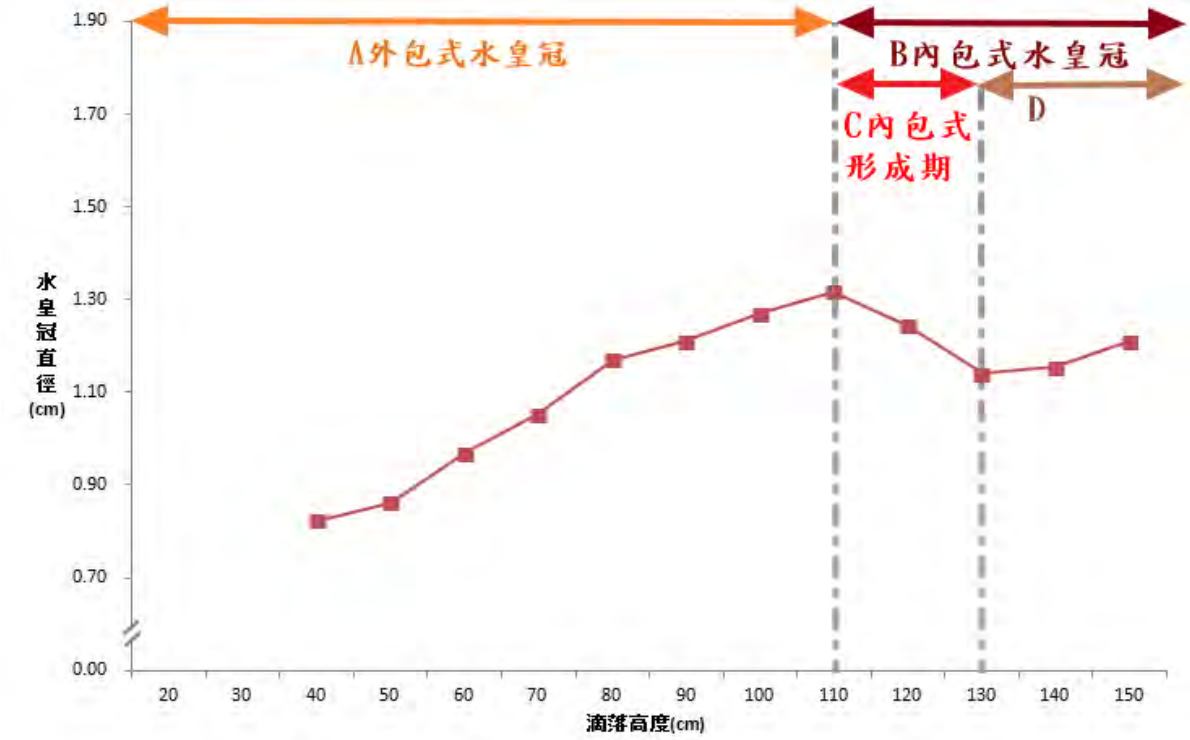
# 拾、附錄

**(附錄一)**

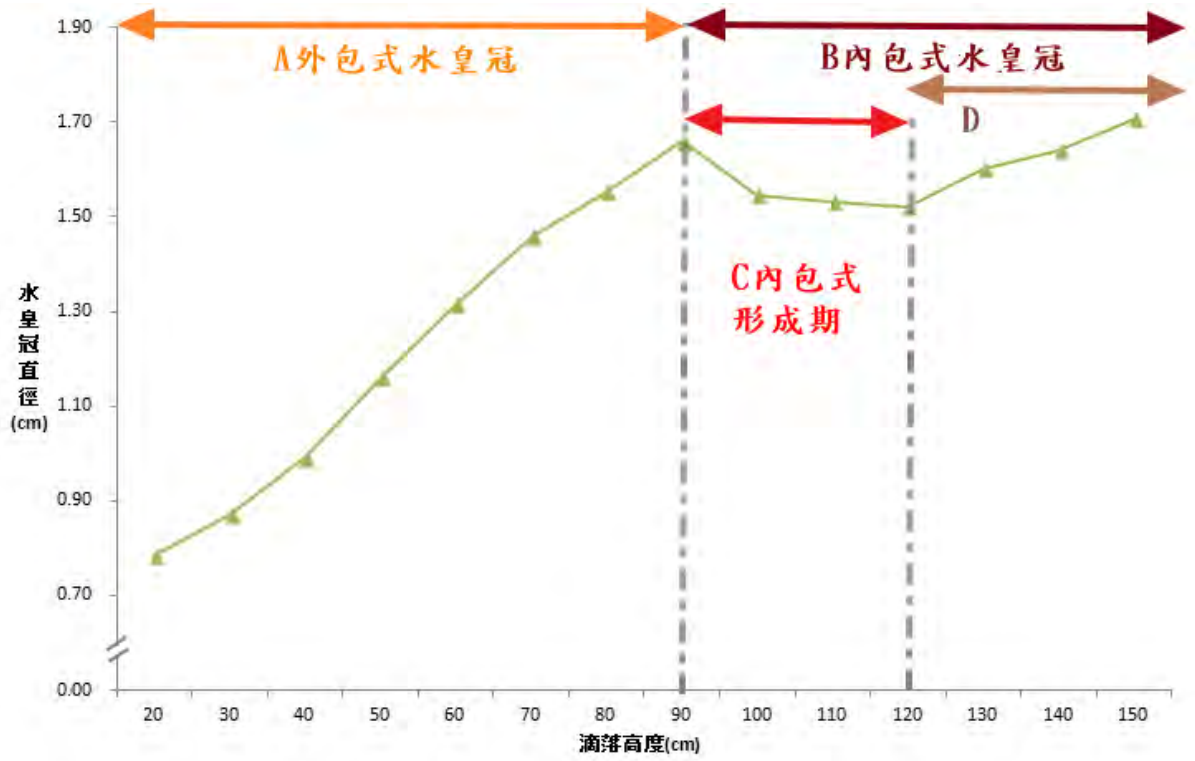
一、針頭a



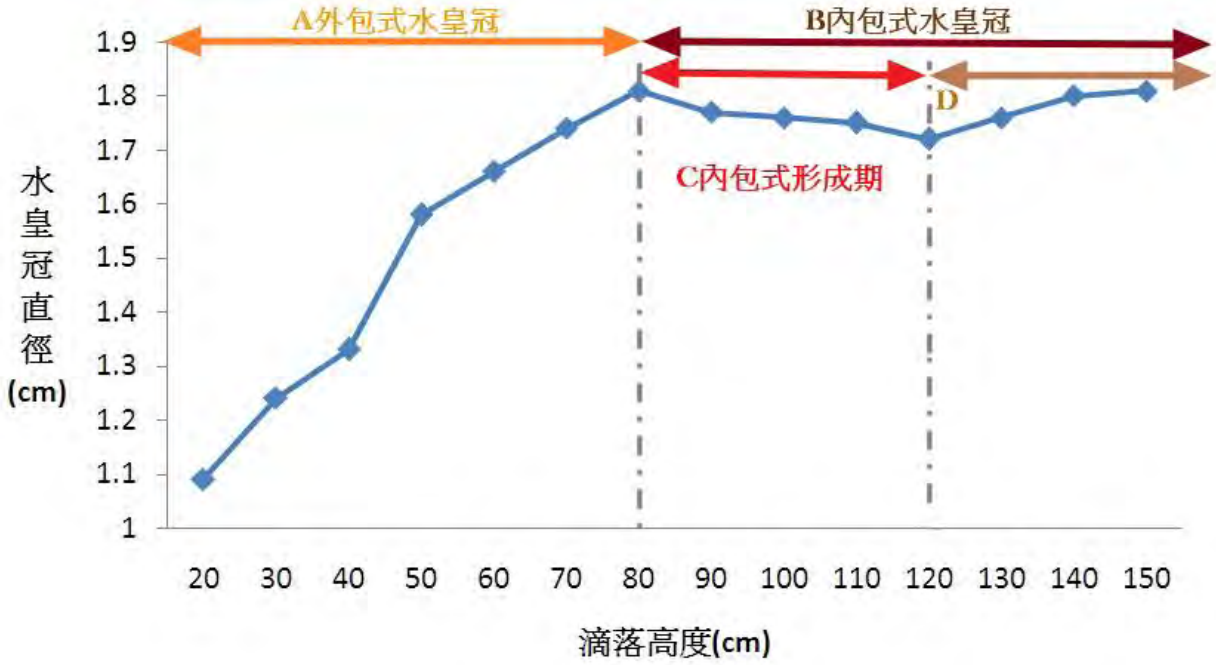

二、針頭b



三、針頭c

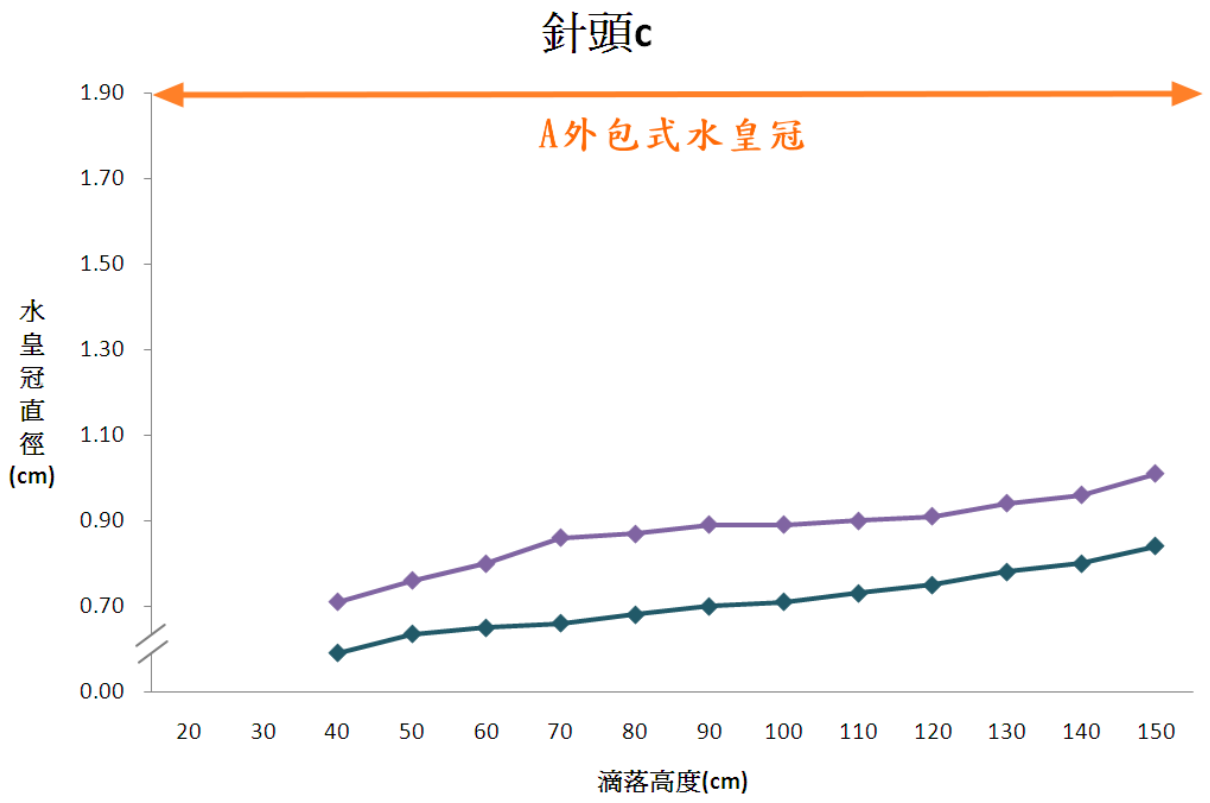

A外包式水皇冠
B內包式水皇冠
D
C內包式
形成期
水皇冠直徑(cm)
1.90
1.70
1.50
1.30
1.10
0.90
0.70
0.00
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
滴落高度(cm)

四、滴定管

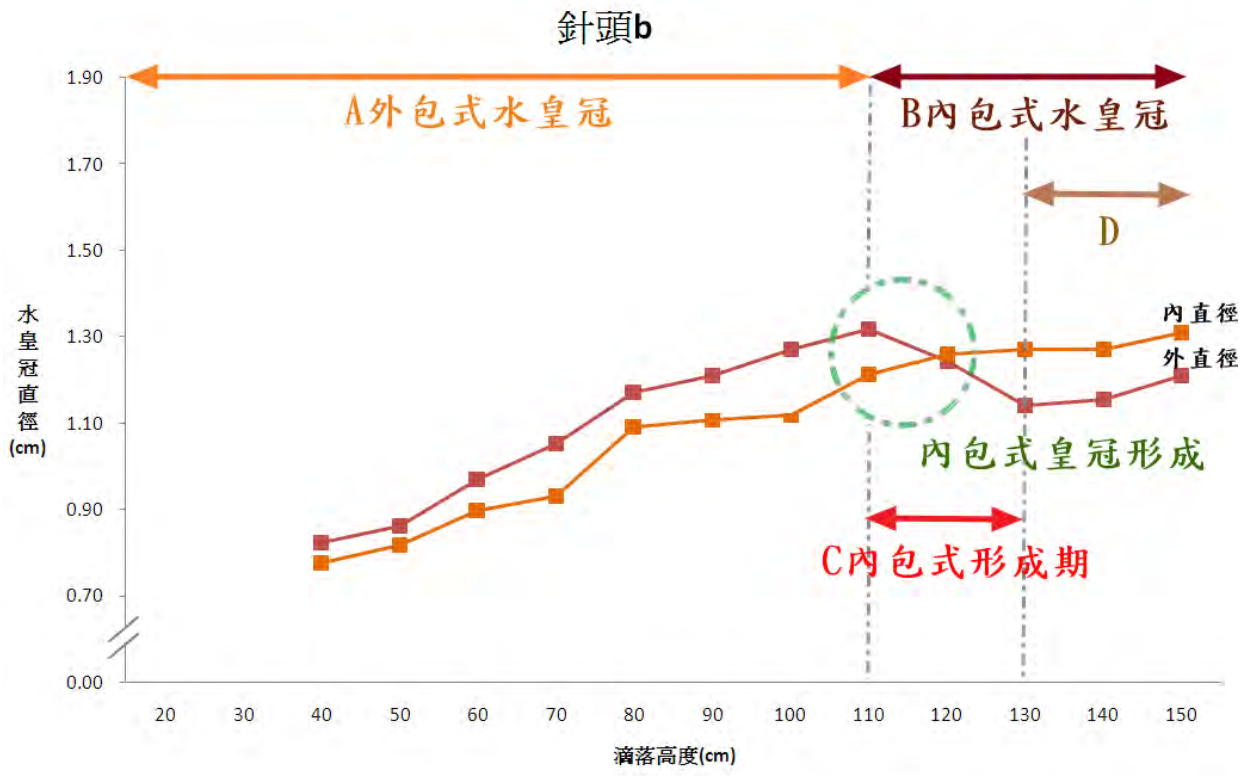

A外包式水皇冠
B內包式水皇冠
D
C內包式形成期
水皇冠直徑(cm)
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
滴落高度(cm)

**(附錄二)**

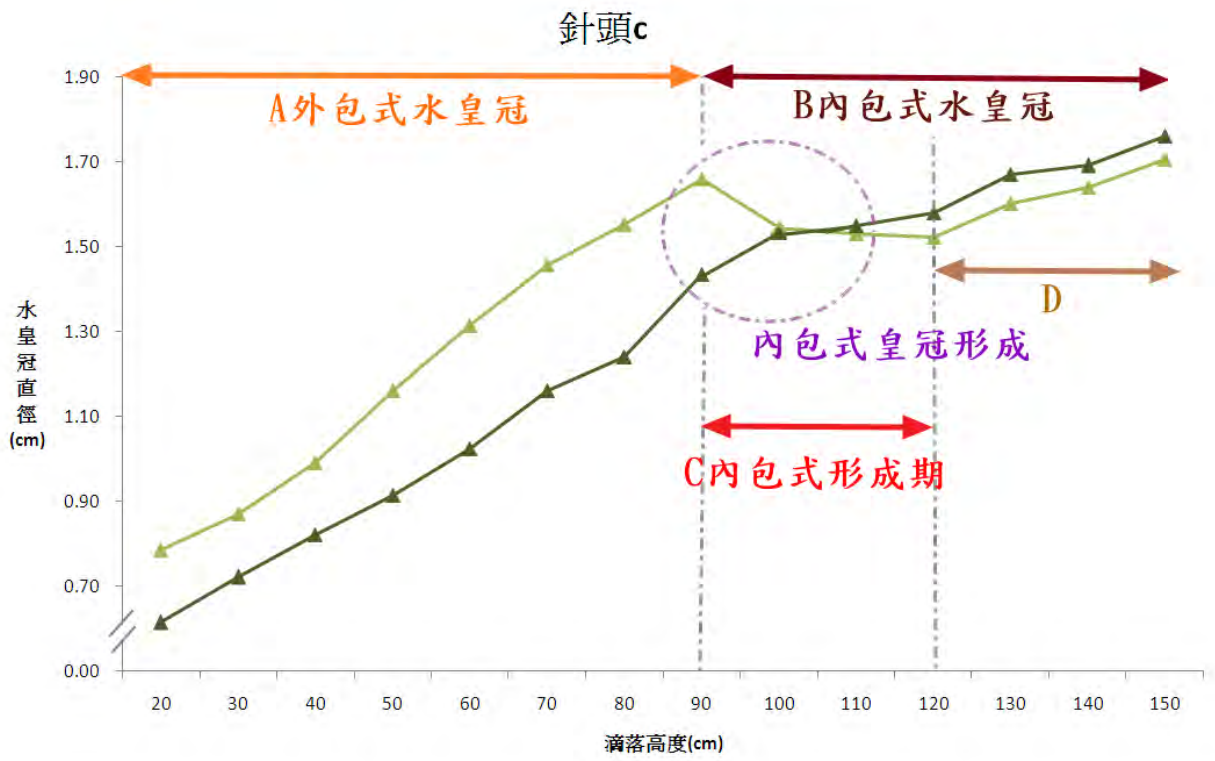
一、針頭a



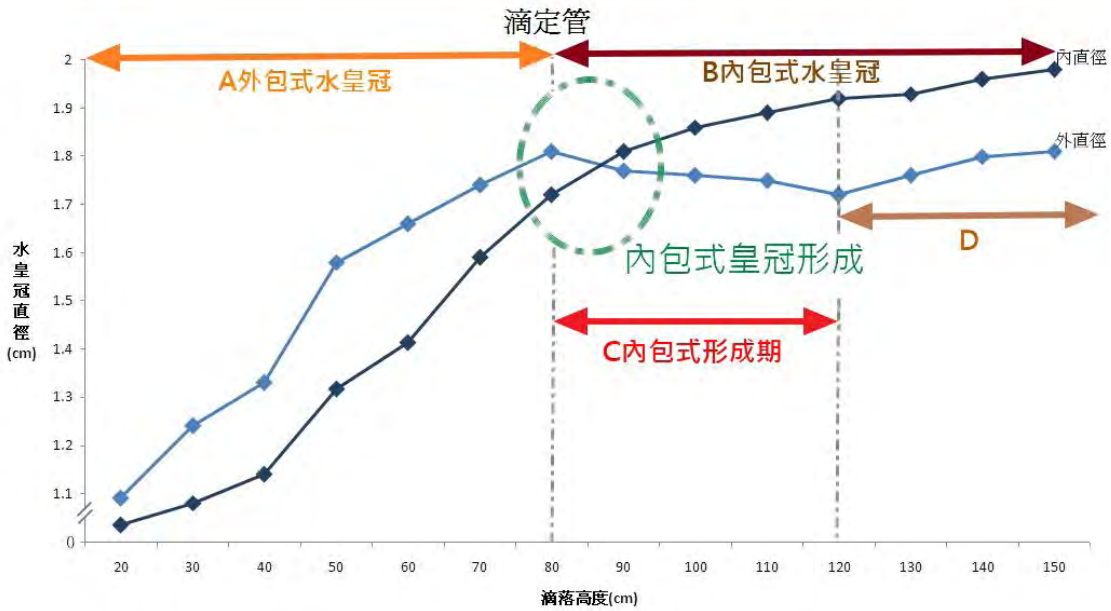

二、針頭b



三、針頭c

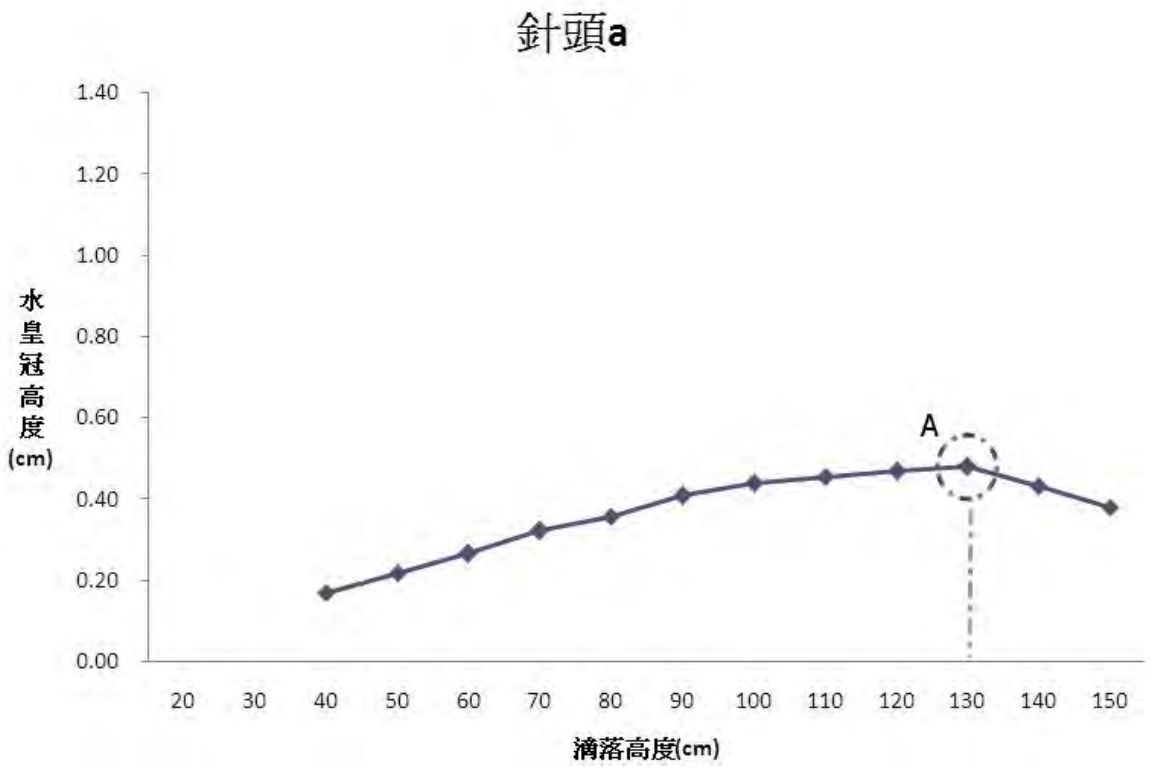

針頭c
A外包式水皇冠
B內包式水皇冠
內包式皇冠形成
C內包式形成期
D
水皇冠直徑(cm)
滴落高度(cm)
1.90
1.70
1.50
1.30
1.10
0.90
0.70
0.00
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150

四、滴定管

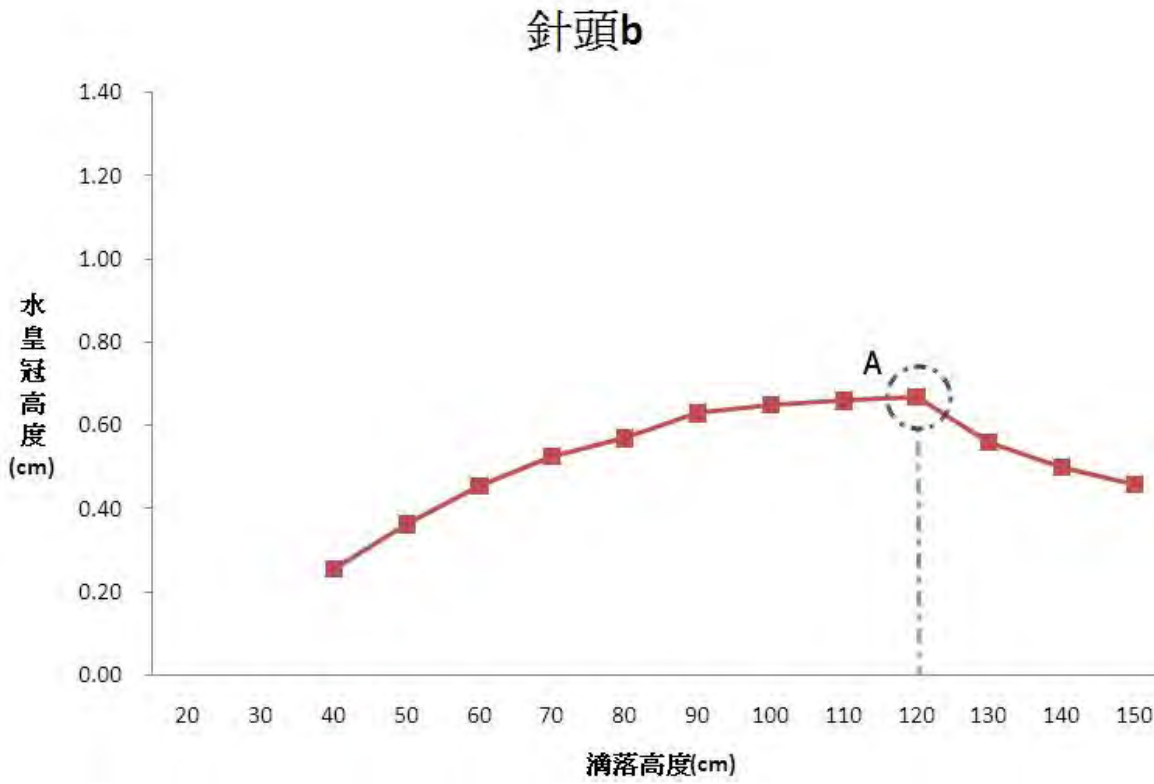

滴定管
A外包式水皇冠
B內包式水皇冠
內直徑
外直徑
內包式皇冠形成
C內包式形成期
D
水皇冠直徑(cm)
滴落高度(cm)
2
1.9
1.8
1.7
1.6
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
0
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150

**(附錄三)**

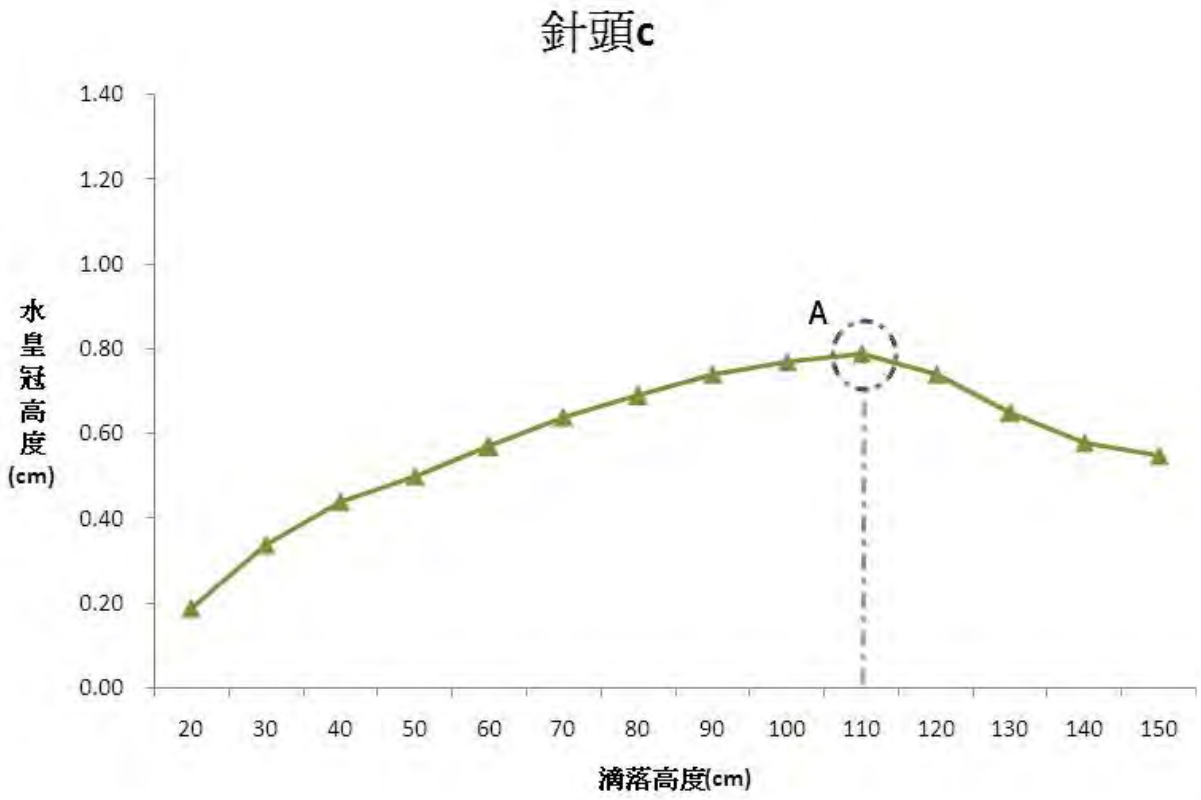
一、針頭a



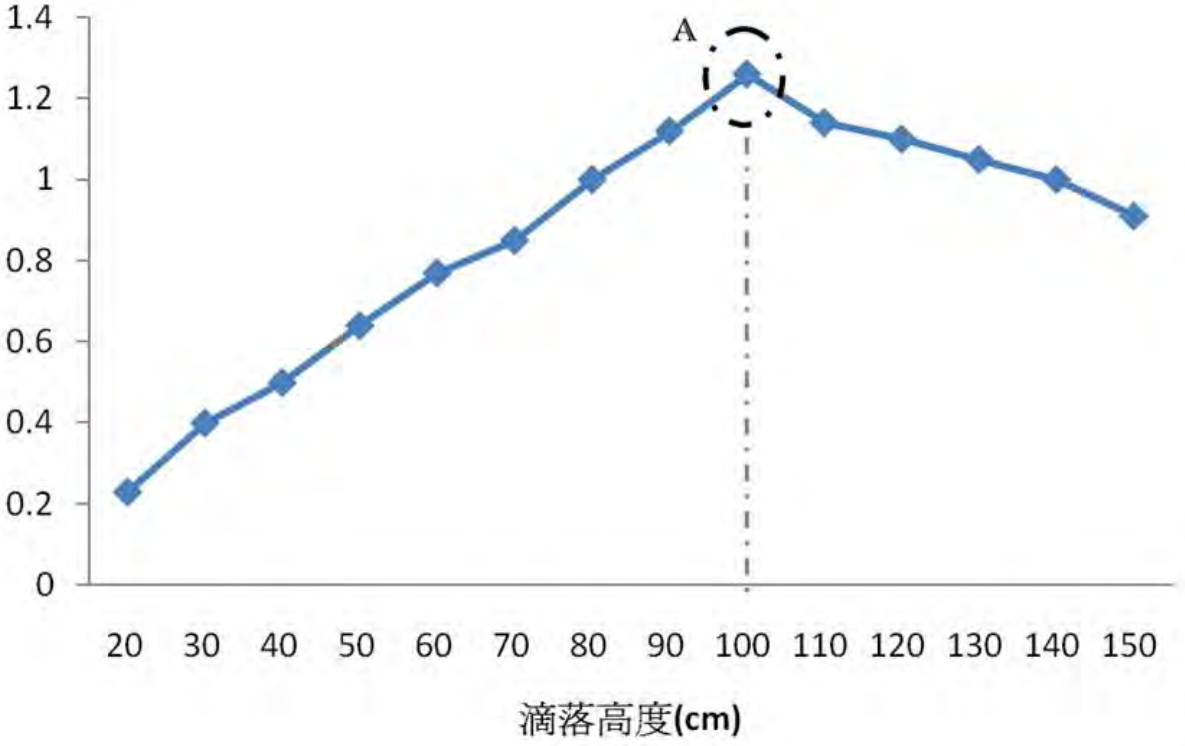

二、針頭b



三、針頭c


針頭c
1.40
1.20
1.00
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
水皇冠高度(cm)
A
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
滴落高度(cm)

四、滴定管


1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
A
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
滴落高度(cm)

## 【評語】030113

1. 以水滴滴下方式產生水皇冠之方式，將實驗單純化。

2. 對觀察結果能適當解答其機制。

3. 應對如液體的交換等可能進行研究（未來）。