

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160013

參展科別 物理與天文學

作品名稱 群魔亂舞的水精靈——探討滴簇在熱水表面的
物理現象

得獎獎項 大會獎 四等獎

就讀學校 國立新竹高級中學

指導教師 黃晟庭

作者姓名 陳麒云

關鍵詞 滴簇、霧滴、華

作者簡介



我是陳麒云，目前就讀於新竹高中數理資優班高三，平時最大興趣是天文、物理和戶外運動。

面對大考壓力，在高三一人參加國際科展有點辛苦，但因不想讓進行兩年的專題研究就止步於此，還是決定參加，並希望這場國際科展經驗能在未來學術生涯幫助我。

感謝高一開始幫助過我的老師、組員，沒有他們我的高中研究不會如此豐富多彩。

摘要

本研究探討滴簇的性質與行為，高溫穩定水溶液表面上會有一層水霧般的霧滴層，像是平貼飄浮在水面上，此水滴群為「滴簇」。本研究拍攝下熱水表面的滴簇，並使用 ImageJ、Python 分析滴簇粒徑等性質以建構物理模型。

藉雷射光凸顯滴簇，觀察滴簇的形成與消失過程。利用被雷射打亮的滴簇在水面的倒影，測量滴簇距水高度。滴簇由 5~15 μm 厚蒸氣層撐起漂浮在水面上，水溫越高，蒸氣層越厚。華（繞射光像）半徑取決於水滴粒徑，本研究分析陽光經水面反射通過滴簇形成的華，測量滴簇粒徑 10~20 μm 。由以上實驗推測：滴簇是高溫蒸氣層接觸低溫的室溫空氣凝結成，溫差愈大凝結量越多，粒徑、數量隨之上升。滴簇會因對流、氣流擾動集體離開水面，留下一道滴簇少的空隙，此現象為「絲狀剝離」。滴簇剛形成時粒徑小，吸收水氣後變大，因此絲狀剝離帶上少許滴簇皆是粒徑較小的滴簇。

Abstract

The research is to explore the nature and behavior of “Clusters”. On the surface of a static high-temperature water solution, there will be a layer of mist-like droplets that appear to float on the surface of water, called “Clusters”. The research photographed Clusters on the surface of hot water, and used ImageJ and Python to analyze the particle size and other properties of Clusters to construct a physical model.

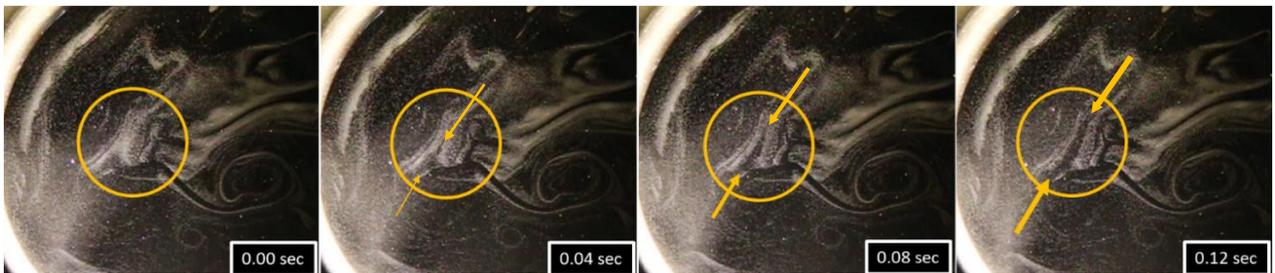
With the help of laser to highlight Clusters, we can observe the process of formation and disappearance of Clusters. Using the reflection of Clusters highlighted by the laser on water surface, to measure the distance between Clusters and water surface. The Clusters are supported by a 5~15 μm thickness of vapor layer to float on water surface. The higher water temperature, the thicker the vapor layer. The radius of diffraction light image is determined by dimension of water drop. This research analyzes the diffraction image which is formed by sun light passing through Cluster and reflected by water surface. Measured dimension of Cluster is 10~20 μm . My prediction based on above experiment: Clusters are condensed by high temperature vapor layer when contacting lower (room) temperature air. The larger temperature difference, the more condensation it forms. Volume and dimension of Clusters will also be increased accordingly. Clusters will leave water surface collectively because of convection and air turbulence to form a gap. The phenomenon is called “Banded peeling”. Dimension of Cluster is smaller when it is just formed but will get larger after absorbing more water. Therefore the Clusters on the gap of Banded peeling are all smaller.

壹、前言

一、研究動機

剛煮好放置一陣子的咖啡表面會緊貼水面著一層平面薄霧，這層薄霧有如黏貼在咖啡表面一般移動。將水面的構造放大，可看出緊密排列的小水滴平鋪於水面上，我們稱這些小水滴為「滴簇」。滴簇也會出現在同樣高溫的水溶液表面，隨著水面擾動進行旋轉與移動，對於這樣的現象我們想了解其成因與機制，因此設計實驗觀察與量測。

圖一：熱水表面黏附的白霧狀薄膜就是滴簇。



圖一：熱水表面黏附的白霧狀薄膜就是滴簇，箭頭所指為絲狀消失現象（研究者拍攝）

二、研究目的

- (一) 觀察並紀錄滴簇在水面的空間位置以探討生成消失機制。
- (二) 測量滴簇距水面高度並分析高度與水溫關係。
- (三) 分析熱水溫度及界面活性劑對滴簇量的影響。
- (四) 以華量測滴簇的粒徑大小，分析與水溫關係。

貳、研究方法及過程

一、硬體設備

不鏽鋼保溫杯	鹵素燈	墨汁	溫度計
			
透明壓克力盒	雷射機	玻棒	腳架
			
相機	黑色彈性布	塑膠盆	界面活性劑
			

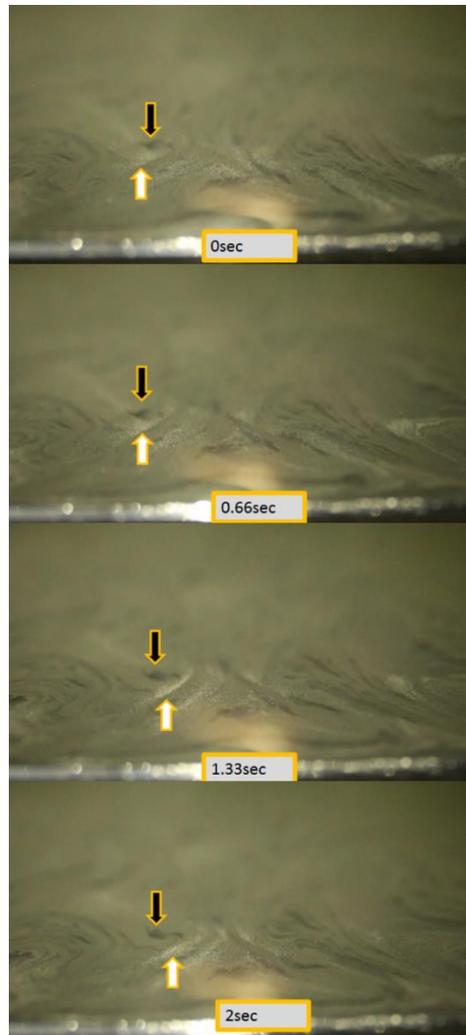
二、軟體程式

- (一) ImageJ：用以計算滴簇佔水表面積。
- (二) Microsoft Office Excel：統整數據及繪製出數據關係圖。
- (三) Python：編寫程式，用於華的光度分析、視角度及粒徑間的換算。

參、研究方法

一、觀察並紀錄滴簇在水面的空間位置以探討生成消失機制

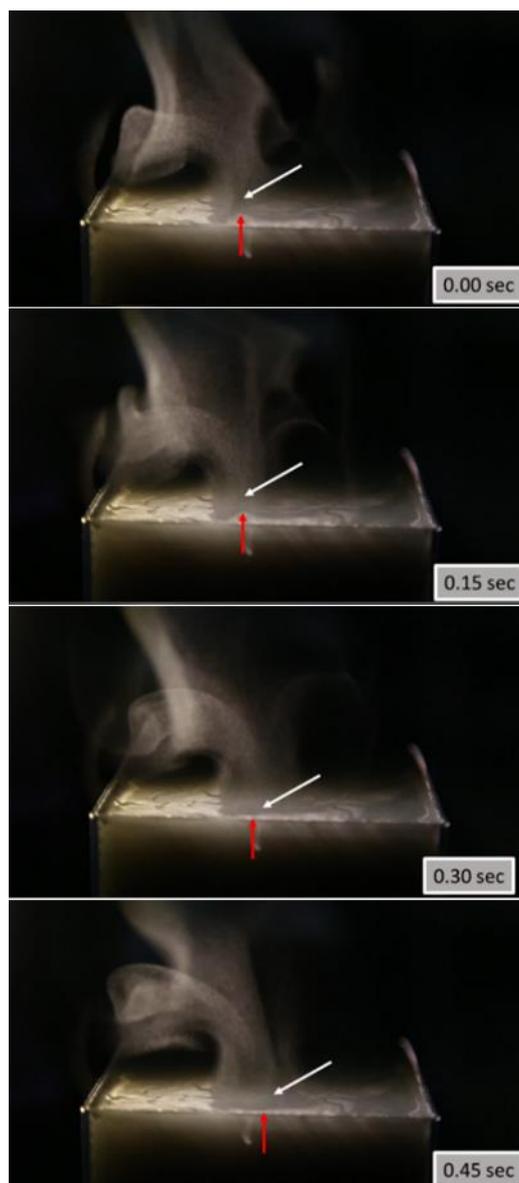
滴簇浮貼水面，隨熱水擾動進行旋轉、移動，但又不會融入水中，由【圖二】可見，表層的滴簇和墨水流向並不完全一致，因此我們推測滴簇並不是貼合在水面上，而可能是些微懸浮於水表。



圖二：滴簇與墨跡移動比較（研究者拍攝）

白色箭頭所指的白色細絲為滴簇，黑色箭頭所指的黑色區域為熱水中的墨汁。

另外，由【圖三】可見，絲狀消失現象發生時，絲狀消失前端，會伴隨著水霧的上升，之後的無滴簇水面又會再生成滴簇。由此我們推測水霧的霧滴是滴簇被推離水面而形成。



圖三：水霧與滴簇的相對運動（研究者拍攝）

紅色箭頭所指為滴簇集體絲狀消失前端，白色箭頭所指為水霧升起處。

為了進一步觀察滴簇在水面上的軌跡，並佐證我們對滴簇與水面、霧滴關係的猜測，使用雷射機與玻棒形成垂直於水面的線光源，雷射線光源能凸顯滴簇並顯示滴簇及水面上方霧滴之剖面運動，以便分析滴簇的垂直運動和生成消失的過程，本實驗使用雷射過程中皆有佩戴護目鏡。

(一) 實驗方法

- 1、在塑膠盆中鋪上黑色彈性布用以避免雷射於底部反射產生雜光。
- 2、架設具有微距鏡頭的相機於塑膠盆旁，以接近水平角度拍攝。
- 3、在塑膠盆旁架設雷射機，並將玻棒固定於雷射機前以產生方向上下垂直的線光源。
- 4、將 80°C 熱水盛於盆中。
- 5、以微距鏡頭之相機對焦於滴簇，拍攝被雷射照亮的表面滴簇。

(二) 實驗裝置

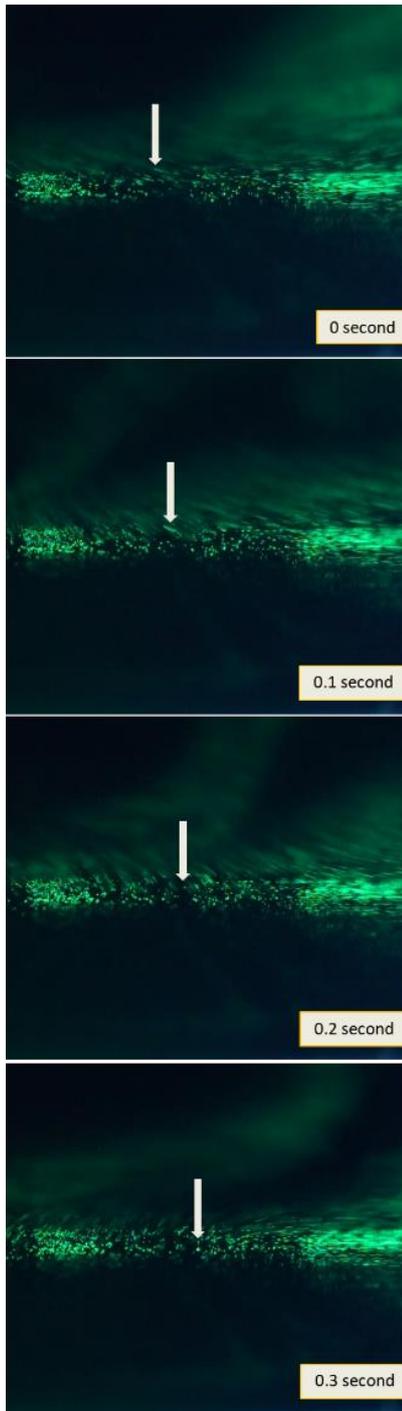


圖四：雷射觀察滴簇實驗裝置（研究者拍攝）

(三) 實驗結果

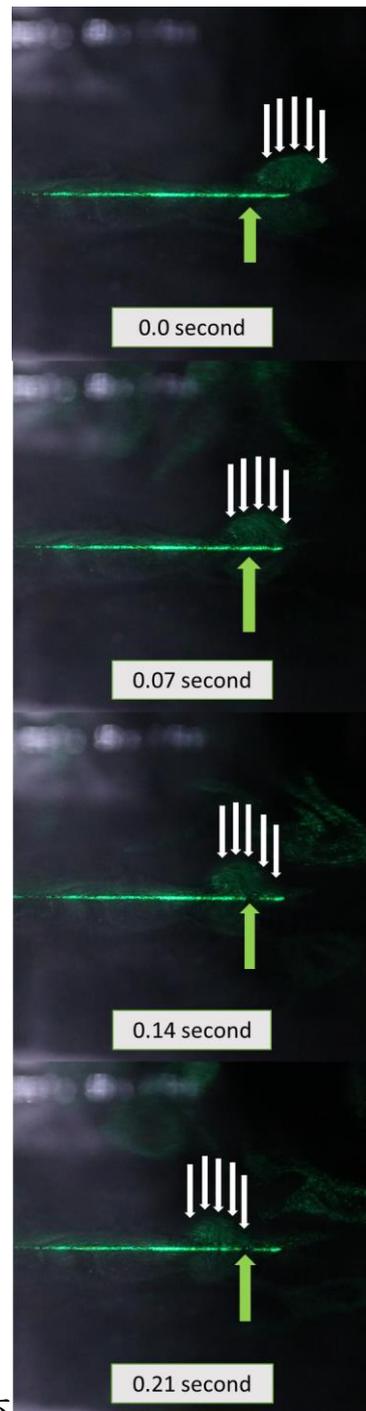
由【圖五】看到，0 秒時，空氣中的水霧大量的產生，0.1 秒時，白色的箭頭指出的霧滴下落的軌跡，0.2 秒時霧滴開始降落至水面上，0.3 秒時，空氣中的霧滴穩定的停留在水面上後，形成滴簇。

在【圖六】當滴簇被風刮起的時候，原本飄散在空氣中的水霧被壓到水面上，同時也會有滴簇被風一同吹起。0 秒時，白色箭頭所指的是空氣中的水霧團，0.07 秒時，白色箭頭所指的霧滴被氣流吹起，向右方前進，吹拂的力道變強，0.14 秒時，便帶著滴簇脫離水表面，0.21 秒時，畫面中的綠色箭頭本來是停留在水面上的滴簇，被上方水霧帶走後，在水面上留下了一個缺口。



圖五

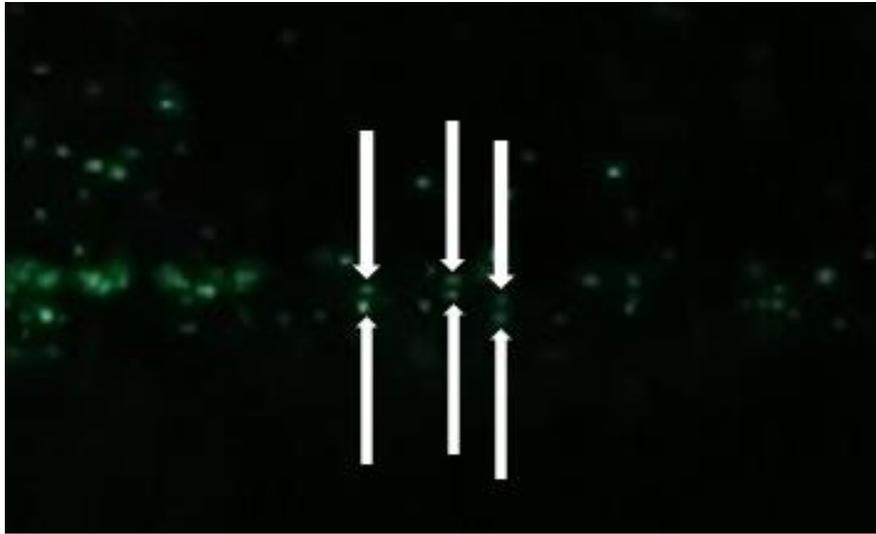
圖五：白色箭頭指向霧滴下落軌跡。空中霧滴降落到水面上形成滴簇（研究者拍攝）



圖六

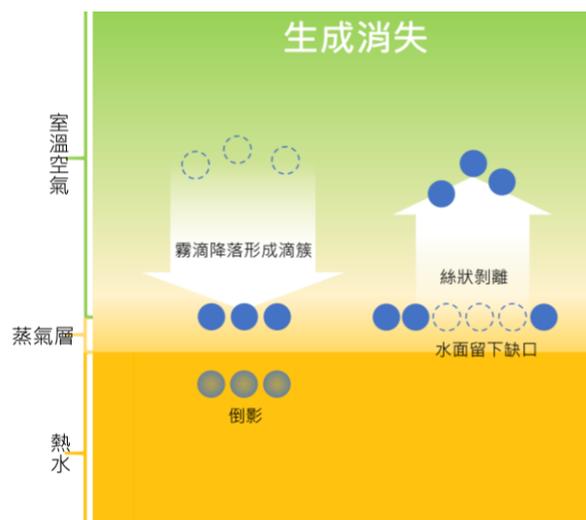
圖六：白色箭頭指向空中的霧滴，綠色箭頭指向滴簇。滴簇被氣流吹向右移動，再脫離水面，並在水面留下一個缺口（研究者拍攝）

將影像放大觀察單一滴簇，如在【圖七】中，可以看到白色箭頭所指的地方有明顯對稱於水面的滴簇倒影，由此驗證了滴簇微懸浮在水面上的猜測，進一步推測滴簇是被一層蒸氣層支撐起，而短暫穩定懸浮在水面之上。



圖七：水平拍攝滴簇之倒影（研究者拍攝）

由以上實驗可知水面、霧滴和滴簇的關係。我們推測滴簇的生成是由熱水加熱水面上空氣並提供水氣，使水面上產生一層蒸氣層。蒸氣層接觸室溫空氣後，遇冷便會凝結出小水滴。停留在水面上方、被蒸氣層撑起的小水滴便是滴簇；而受對流吹離水面至室溫空氣中的小水滴則是霧滴，也就是一般常見熱水上方飄起的白霧，示意模型如圖八。霧滴有時會因風力或對流作用，落回水面，並在水面上被蒸氣層支撐住，由此變成滴簇。



圖八：滴簇在水面的空間位置及生成、消失機制（研究者繪製）。

二、測量滴簇距水面高度並分析高度與水溫關係

在前述實驗推測滴簇懸浮於水面是因為水面上有一層蒸氣層支撐，因為蒸氣層由熱水加熱空氣並提供水氣，我們猜測蒸氣層會隨著水溫上升而增厚，並設計實驗證實。

本實驗拍攝不同水溫下的滴簇與其倒影。由於滴簇影像到倒影影像間的距離為滴簇到水面距離的兩倍，以 ImageJ 測量滴簇與倒影的像素距，並經過單位及三角函數轉換後，便可計算出各水溫下滴簇距離水面高度。

(一) 實驗方法

- 1、架設相機於透明壓克力盒旁，以俯角 7 度向下拍攝。
- 2、在透明壓克力盒旁架設雷射機，並將玻璃棒固定於雷射機前。
- 3、將將 80°C 熱水盛於盒中。
- 4、以微距鏡頭之相機對焦於滴簇及滴簇倒影。
- 5、拍攝水面滴簇及其倒影，並記錄拍攝時的水溫。(裝置見【圖九】)
- 6、將圖片以 Image 測離滴簇和倒影間的像素距離。
- 7、將像素距離帶入下列公式中計算出滴簇離水面距離，並繪製成圖表。

$$h = \left(\frac{r}{2} \cos \theta\right) \times d$$

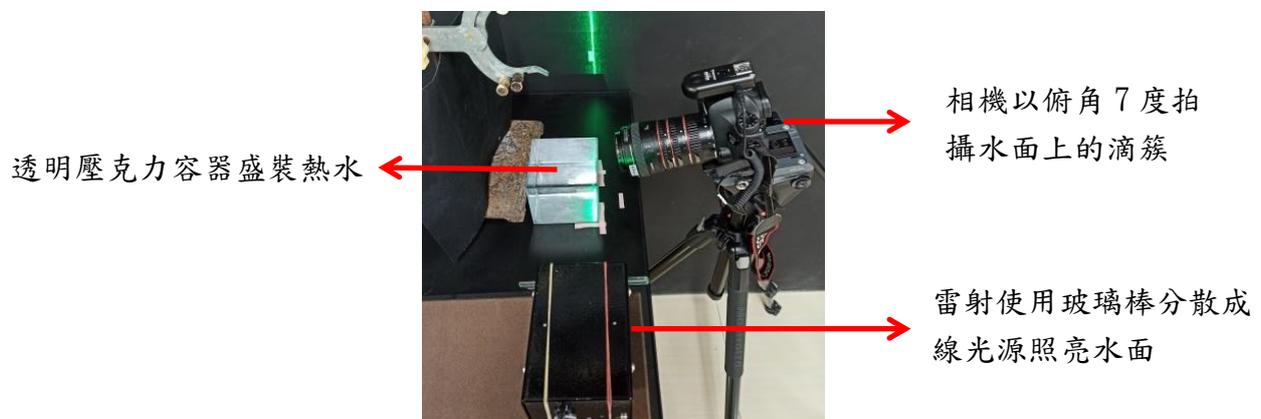
h：滴簇實際距水高度

r：滴簇與倒影所距像素量

d：像素與每像素實際距離之比值

θ ：相機拍攝俯角

(二) 實驗裝置

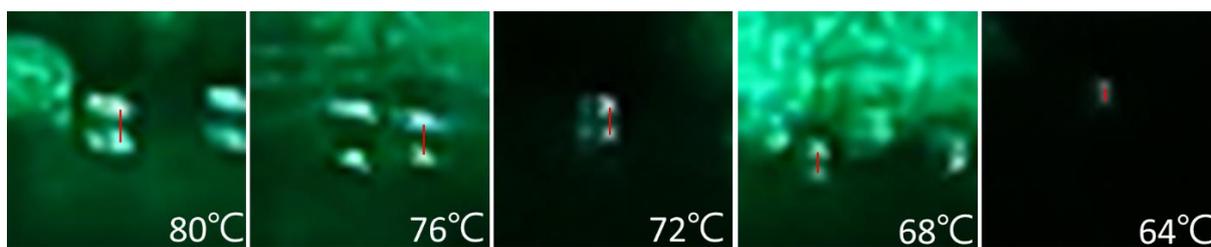


圖九：測量滴簇與水面高度與水溫關係實驗裝置（研究者拍攝）。

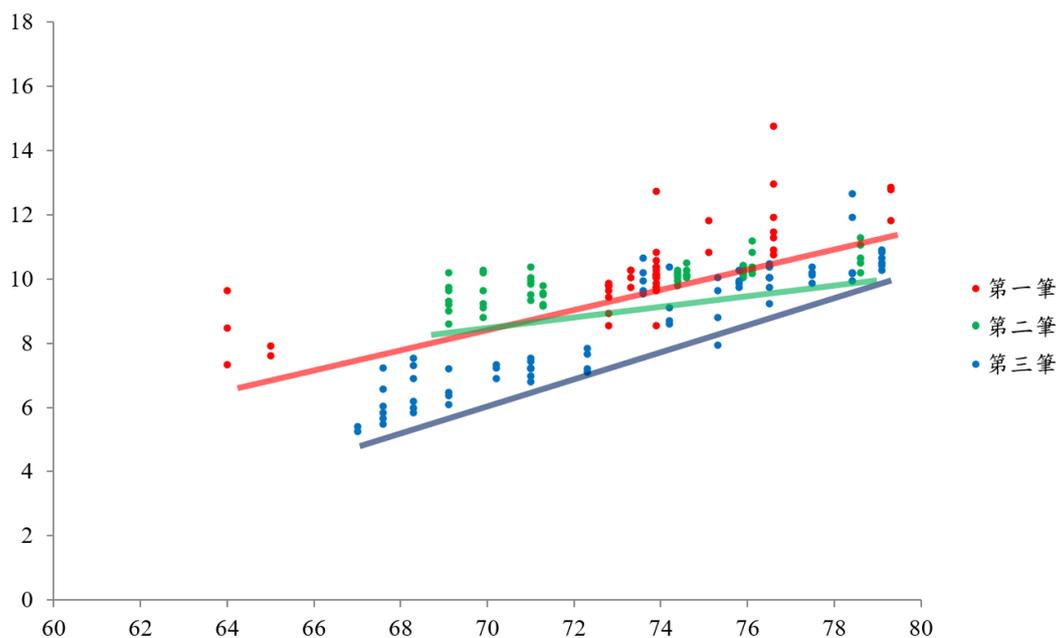
(三) 實驗結果

量測三次的數據結果影像如【圖十】，三次實驗的三筆高度與溫度的數據關係如【圖十一】，水溫越高，滴簇實際距水高度越高。由此可驗證實驗一的推測，滴簇是被一層蒸氣層所支撐，水溫越高，熱水提供給空氣的熱量越多、蒸發越旺盛，因此水溫越高蒸氣層越厚。

另外，溫度越高，蒸氣向上推力越強，高溫水面上的滴簇聚集在離水面較高的地方，離水面高的地方容易受到氣流擾動的影響，所以推測高溫水面絲狀消失現象應較頻繁。



圖十：不同水溫水面滴簇高度比較圖（研究者拍攝）



圖十一：水溫(°C)與滴簇距水面高度關係圖（研究者繪製）

三、分析熱水溫度及界面活性劑對滴簇量的影響

在前兩次的實驗中可以觀察到剛裝好熱水的時滴簇數量有明顯較多，為了驗證此現象利用 ImageJ 分析不同溫度下照片中滴簇的覆蓋率，再利用 Excel 分析其趨勢，得知溫度對於滴簇形成的影響。

(一) 實驗方法：

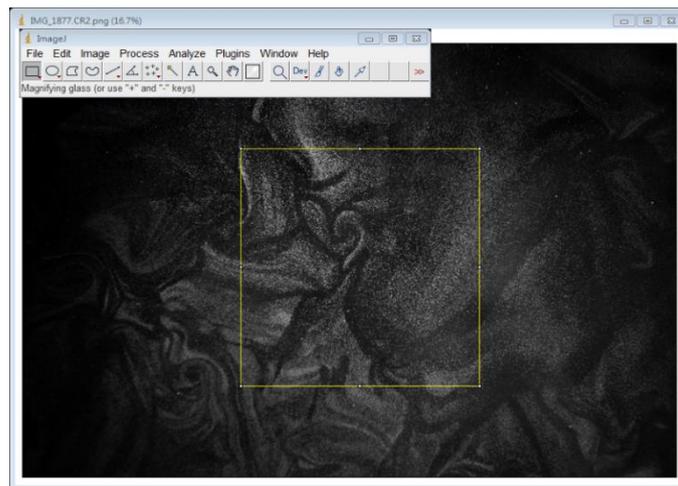
- 1、利用冷氣及除濕機將環境調整至溫度 28°C，相對濕度 58%。

- 2、 在塑膠盆中鋪上黑色彈性布。
 - 3、 架設相機於塑膠盆上方，以垂直角度向下拍攝。
 - 4、 將 80°C 左右熱水盛於盆中。
 - 5、 在塑膠盆旁架設鹵素燈，照射熱水表面以凸顯滴簇。
 - 6、 在塑膠盆中插入溫度計。
 - 7、 以微距鏡頭之相機對焦於滴簇，每 7 秒拍攝一次滴簇，並記錄下當時的水溫。
 - 8、 實驗組依上述同樣方式架設，再加入 2 滴界面活性劑。
- (裝置見【圖十二】)

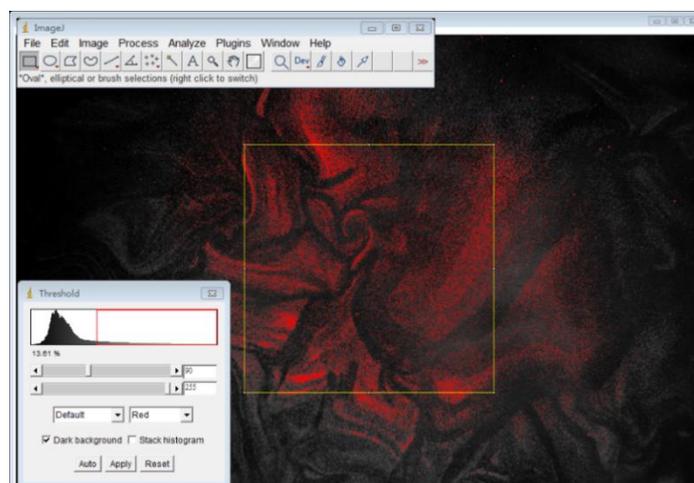
(二) 分析方法：

- 1、 使用 ImageJ 框選畫面中對焦清楚的 2000×2000 像素。
- 2、 使用 ImageJ 將影像色彩轉為黑白兩色僅表示亮度。
- 3、 使用 ImageJ 分析滴簇之覆蓋率並手動調整至滴簇納入考量。
- 4、 滴簇佔 8 到 16 像素，用 ImageJ 將移動的霧滴與雜質等佔超過 20 像素的點去除。
- 5、 於 Excel 繪製溫度與滴簇覆蓋率關係圖。

(分析過程見【圖十二】【圖十三】)



圖十二、灰階化後在 ImageJ 中選取影像中央 2000*2000 畫素

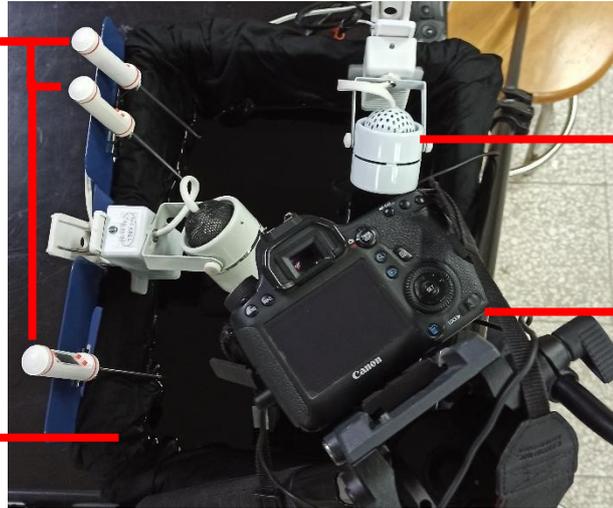


圖十三：ImageJ 將滴簇範圍標紅並計算滴簇覆蓋率

(三) 實驗裝置

溫度計，紀錄三支
溫度取平均值以減
少誤差

黑色彈性布蓋著塑
膠盆，黑布用於降
低背景反照率

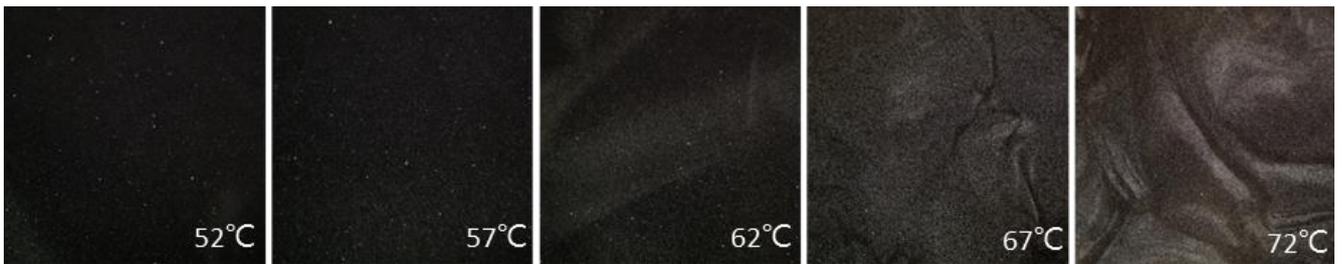


鹵素燈：用於照亮
水面滴簇

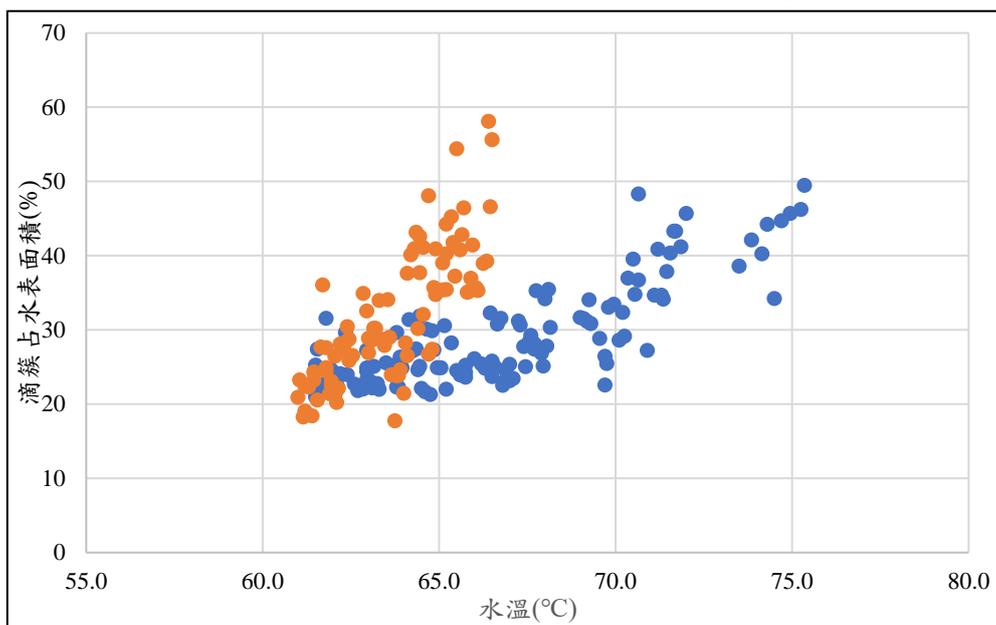
相機

圖十四：分析熱水溫度對滴簇影響裝置（研究者拍攝）

(四) 實驗結果



圖十五：不同溫度水面滴簇比較圖（研究者拍攝）。
由左至右為 52°C、57°C、62°C、67°C、72°C 熱水表面。



圖十六：滴簇佔水表面積 (%) 與水溫 (°C) 關係圖（研究者繪製）。
橘點為對照組（無界面活性劑），藍點為實驗組（加入界面活性劑）。

1. 水溫對滴簇量的影響

由【圖十五】【圖十六】可得出，水溫越高，滴簇佔水表面積越多，代表滴簇量增加。滴簇及霧滴是凝結而成，故推測滴簇量與蒸氣降溫凝結有關。

在實驗二中，測得蒸氣層厚度約 5~15 微米。熱水蒸發旺盛，使蒸氣層高溫且富含水氣。假設蒸氣層接近飽和、溫度與熱水一致，則其飽和蒸氣壓 e_s 為：

$$e_s = \exp\left(20.386 - \frac{5132}{T}\right)$$

本實驗中環境溫度控制在 28°C，蒸氣層遇冷溫度下降，飽和蒸汽壓也隨之下降，因此凝結成滴簇或霧滴。依此，蒸氣層由熱水水溫降溫至環境溫度，總凝結水量即為絕對濕度變化量：

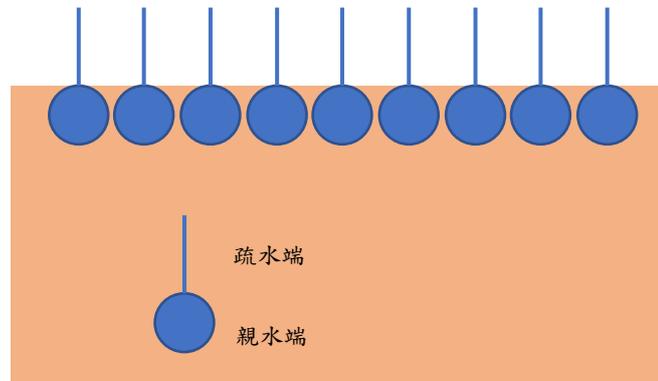
$$\text{凝結水量}(kg/m^3) = \frac{\exp\left(20.386 - \frac{5132}{T}\right)}{461.52 \times T} - \frac{\exp\left(20.386 - \frac{5132}{301.15}\right)}{461.52 \times 301.15}$$

由上述理論可印證，水溫越高，滴簇量越大。

2. 界面活性劑對滴簇量的影響

在【圖十六】可見加入界面活性劑後，滴簇的生成量減少。

界面活性劑會降低水分子間作用力，讓水分子更容易離開水面，蒸發更旺盛。另外，界面活性劑濃度低於臨界微胞濃度時，界面活性劑分子會分布於水面，在水面形成一疏水層，如【圖十七】，使滴簇不容易停留在水表面。結合以上兩點，我們推測加入界面活性劑會讓霧滴量增加，但不容易在水面形成滴簇。



圖十七：低濃度界面活性劑形成的疏水層

四、以華量測滴簇的粒徑大小，分析與水溫關係

在拍攝滴簇的同時發現在平行光下的滴簇有華的產生，而根據文獻「**影響華的因素包括水滴大小及水滴大小的一致性，粒徑越大則華越小，水滴大小越一致則華的對比度越高。**」（劉耕文、江秉城與劉邦佑，2019）。林芳賢，陳弈玄（2020）對滴簇粒徑測量方式的研究及林芳賢，陳麒云，李承宇（2020）文中皆使用了太陽光於水面反射後經過滴簇產生華，並用 RGB 色彩分析與視角度之關係分析滴簇粒徑，顏色以 R/G，G/B、B/R 表示以消除光強度對顏色的影響，我們使用該裝置進行實驗。

根據文獻（劉耕文、江秉城與劉邦佑，2019）中的理論，我們定出利用視角求出滴簇粒徑的公式，視角與粒徑的對照表如【表一】，而在畫面中的華可以發現，其順序是屬於同一峰值，要確定其為第幾峰值，故我們將其假設，以各峰值進行討論。

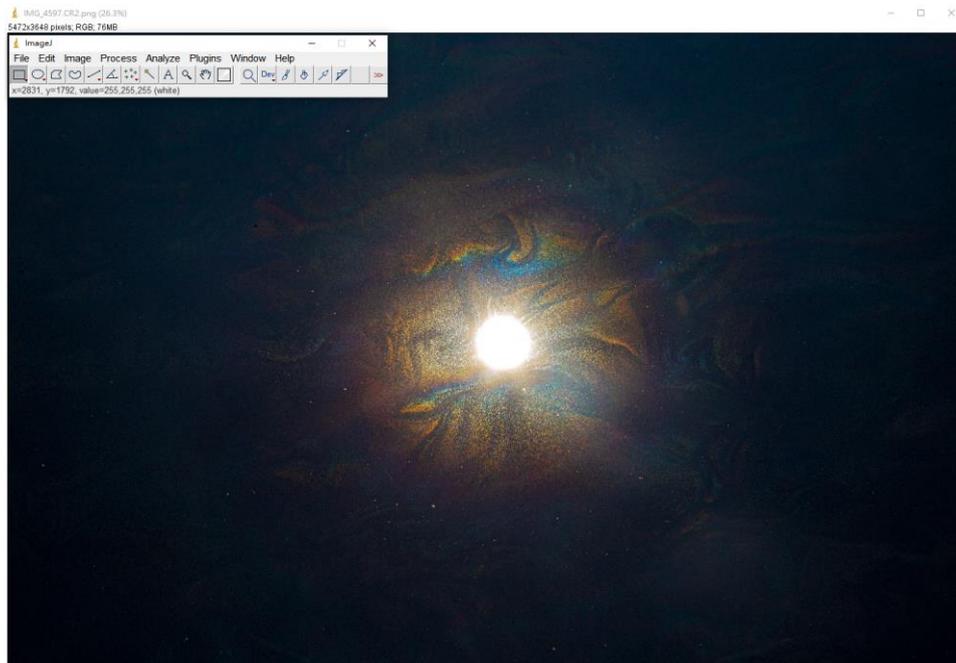
（一）實驗方法

- 1、架設實驗裝置使太陽光通過滴簇反射水面射入鏡頭。
- 2、移動相機使太陽之倒影完整呈現於相機畫面。
- 3、於水盆底部鋪設黑布避免容器底部顏色干擾華的分析。
- 4、將攝氏 80 度左右熱水盛於盆中。
- 5、以微距鏡頭之相機對焦於水面。
- 6、拍攝表面滴簇及華。

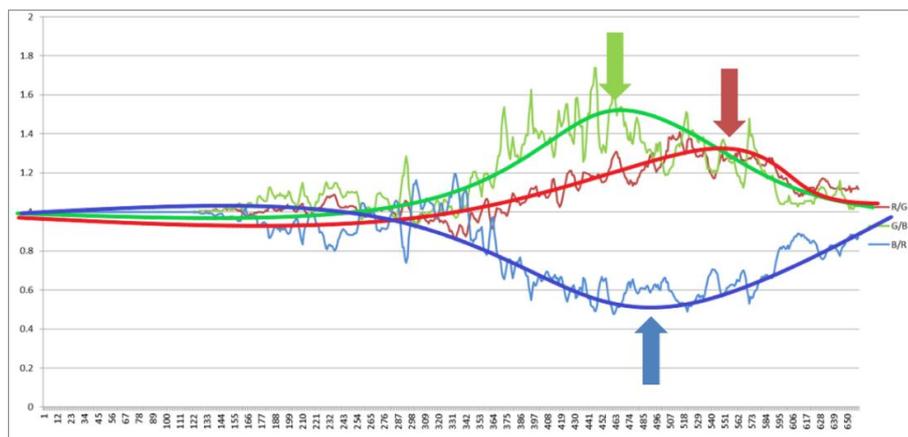
（二）分析方法

- 1、利用 Python 找出華的正中心。
- 2、利用 Python 以太陽中心為圓心，每一度取 900 pixel 線段上的 RGB 值。
- 3、利用 Python 計算其 R/G, G/B, B/R 三比值。
- 4、以人工判斷 R/G 峰值、G/B 峰值、B/R 谷值位置，如【圖二十】
- 5、將上述三者與華中心的視角度差代入視角度與粒徑對照表【表一】。
- 6、將粒徑分級後點到原圖上。

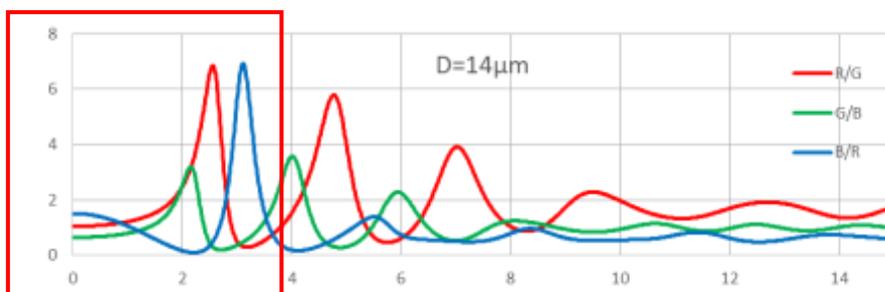
（裝置見【圖二十一】）



圖十八：利用 ImageJ 分析滴簇形成的華（研究者拍攝）



圖十九：R/G,G/B,B/R 與視角度之關係圖（研究者繪製）。



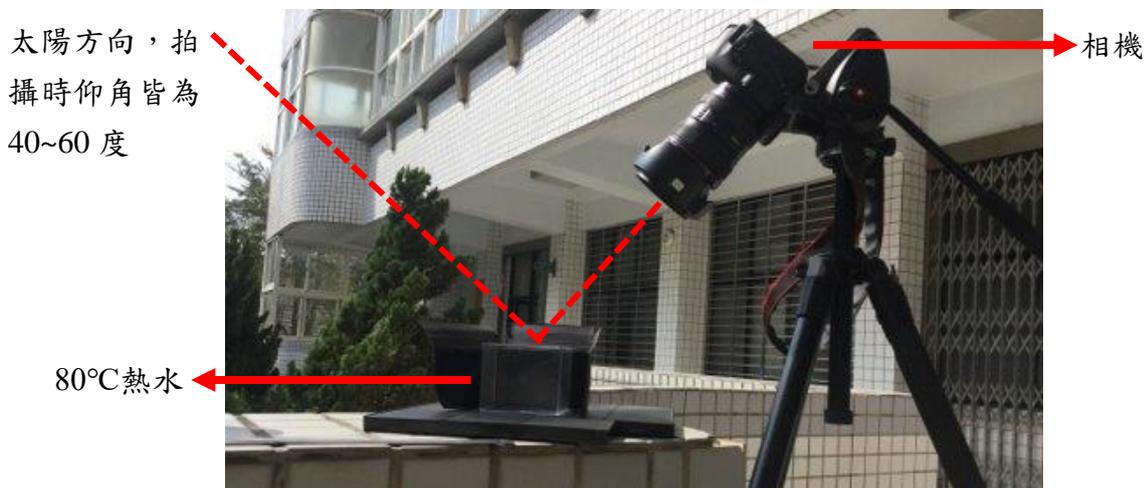
圖二十：14 微米之滴簇的 R/G,G/B,B/R 與視角度之關係圖，紅色框出範圍為第一峰值（研究者繪製）

比對【圖二十】【圖二十一】，【圖二十】R/G 峰值（紅色箭頭）、G/B 峰值（綠色箭頭）、B/R 谷值（藍色箭頭）的相對位置和【圖二十一】中第一峰值相同，故得知本實驗中拍攝到的華皆屬於第一峰值之範圍。

表一：R/G,G/B,B/R 峰谷值，視角度與粒徑之對照表（圖源：見華探雲——由華的色相判讀雲滴大小與位置分佈（劉耕文、江秉城與劉邦佑，2019））

	D=1/(aθ)		D=1/(aθ)		D=1/(aθ)
R/G 1st_Max	D=33.67/θ	G/B 1st_Max	D=30.49/θ	B/R 1st_min	D=31.15/θ
R/G 1st_min	D=44.05/θ	G/B 1st_min	D=37.59/θ	B/R 1st_Max	D=43.67/θ
R/G 2nd_Max	D=67.11/θ	G/B 2nd_Max	D=56.50/θ	B/R 2nd_min	D=57.47/θ
R/G 2nd_min	D=80.65/θ	G/B 2nd_min	D=68.49/θ	B/R 2nd_Max	D=77.52/θ
R/G 3rd_Max	D=99.01/θ	G/B 3rd_Max	D=83.33/θ	B/R 3rd_Min	D=103.09/θ
R/G 3rd_min	D=116.28/θ	G/B 3rd_min	D=98.04/θ	B/R 3rd_Max	D=116.28/θ
R/G 4th_Max	D=133.33/θ	G/B 4th_Max	D=112.36/θ	B/R 4th_Min	D=131.58/θ
R/G 4th_min	D=153.85/θ	G/B 4th_min	D=133.33/θ	B/R 4th_Max	D=161.29/θ
R/G 5th_Max	D=178.57/θ	G/B 5th_Max	D=153.85/θ		
R/G 5th_Min	D=196.08/θ	G/B 5th_Min	D=161.29/θ		

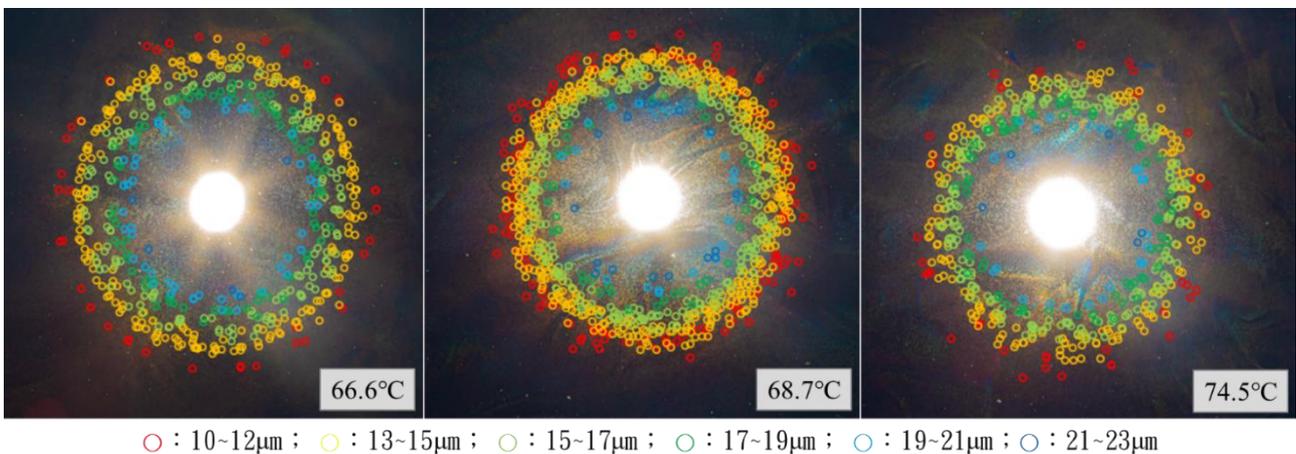
（三）實驗裝置



圖二十一：拍攝華的裝置圖（研究者拍攝）

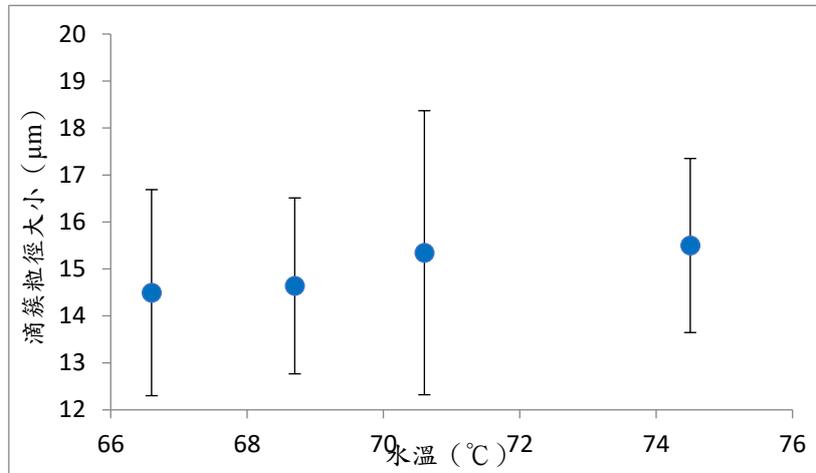
（四）實驗結果

從拍攝的影像中選取出 66.6°C、68.7°C、74.5°C 時的滴簇華影像，將將粒徑分級後點到各原圖上，如【圖二十二】所呈現。



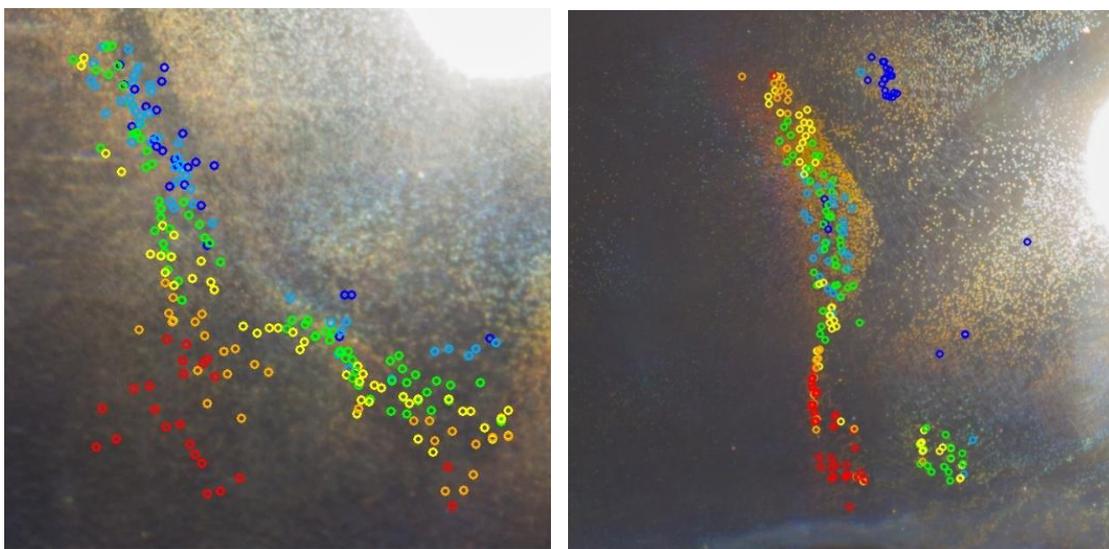
圖二十二：不同水溫下滴簇粒徑分佈，由左而右為 66.6°C、68.7°C、74.5°C（研究者繪製）

透過分析不同溫度的滴簇華可以發現：溫度越高，滴簇的平均粒徑越大，如【圖二十三】。如實驗三「分析熱水溫度及界面活性劑對滴簇量的影響」所推論，因為高溫熱水和室溫的溫差大，再混合的時候將析出更多的水氣，所以滴簇的顆粒大。



圖二十二：各溫度的滴簇大小平均值和標準差

另外，且實驗二「測量滴簇距水面高度並分析高度與水溫關係」可知，溫度越高，蒸氣向上推力越強，高溫水面上的滴簇聚集在離水面較高的地方，離水面高的地方容易受到氣流擾動的影響，所以高溫水面絲狀消失現象較頻繁。



圖二十四：絲狀消失附近滴簇粒徑分布圖

因此在滴簇華局部放大的【圖二十五】中，絲狀消失帶的滴簇粒徑較其他區域小。推測絲狀消失會帶走路徑上的所有滴簇，並在水面上產生一道稀少滴簇的空隙，還在此的滴簇是剛凝結而成、粒徑較小，在水面上吸收水氣後粒徑才會變大。

肆、研究結果與討論

在實驗一「探討滴簇在水面的空間位置及生成、消失機制」中，雷射光照射滴簇後能在水面上看到滴簇的倒影，因此得知滴簇是懸浮在水面上的。藉由觀察滴簇的生成與消失過程，我們發現滴簇會藉由絲狀消失現象離開水面，形成霧滴，而霧滴也會落回水面成為滴簇。

在實驗二「測量滴簇與水面高度與水溫關係中」，水溫越高，滴簇距離水面高度越大，說明支撐滴簇於水面之上的力與水溫有關。水溫越高，蒸發越旺盛，藉此能提供越多水氣，且高溫水面也會造成水面上方空氣對流更強，使向上推力更強。因此我們認為是蒸氣的向上推力支撐滴簇於水面之上，並在水面與滴簇間產生蒸氣層。

在實驗三「分析熱水溫度及界面活性劑對滴簇量的影響」中，水溫越高，水溫與室溫溫差越大，因此能凝結出更多的滴簇及水霧。低濃度界面活性劑分子會分布於水面，在水面形成一疏水層，使滴簇不容易停留在水表面，因此，加入界面活性劑的熱水滴簇量減少。推測若其他具疏水性物質分布在水面，也會有同樣抑制滴簇形成的效果，例如食用油。

在實驗四「分析滴簇的粒徑大小及分布」中，水溫越高，滴簇粒徑越大，符合實驗三中水溫越高凝結量越多的結果。滴簇是凝結而成，剛形成時粒徑較小，在水面上吸收水氣後粒徑才會變大。絲狀消失會帶走路徑上的所有滴簇，並在水面上產生一道無滴簇的空隙。無滴簇水面會再生成新的、粒徑較小的滴簇，因此在實驗四中，絲狀消失帶的滴簇粒徑較其他區域小。

伍、結論與應用

一、觀察並紀錄滴簇在水面的空間位置以探討生成消失機制

- (一) 滴簇是水面上方蒸氣層遇冷凝結及霧滴飄落在水面上而形成。
- (二) 絲狀消失處上方會出現水霧，且霧滴前進方向與滴簇大致相同，說明絲狀消失是滴簇被吹離水面成為霧滴的現象。
- (三) 可見滴簇在的倒影，說明滴簇在水面上方。

二、測量滴簇距水面高度並分析高度與水溫關係

- (一) 滴簇距水高度約 $5\sim 15\ \mu\text{m}$ 。
- (二) 滴簇與水面間的間隔由蒸氣層提供向上推力所形成，溫度越高，距離水面越遠。
- (三) 滴簇的粒徑上升時，體積受到粒徑的影響比面積大，重量變化比向上推力變化量大，所以當溼度上升時，滴簇距離水面變近。

五、分析熱水溫度及界面活性劑對滴簇量的影響

- (四) 水溫和室溫溫差越高，凝結的水量越多，水面的滴簇覆蓋率和凝結水量呈正相關。
- (五) 低濃度界面活性劑形成的疏水層會減少滴簇的形成。

三、以華量測滴簇的粒徑大小，分析與水溫關係

- (一) 藉由華的大小推斷滴簇粒徑介於 $10\ \mu\text{m}\sim 23\ \mu\text{m}$ 之間。
- (二) 溫度越高，滴簇離水面越遠，越容易受到氣流擾動而被吹離水面。
- (三) 絲狀消失處是滴簇被對流吹至空中變成霧滴，而留在原處的是新生成且粒徑較小的滴簇。

四、未來展望

- (一) 利用 Python 取代人工判斷色相峰值，以此分析更多滴簇粒徑之數據，完善滴簇理論模型。

陸、參考文獻

- 一、林芳賢，陳麒云，李承宇（2020）。咖啡杯上的幽靈——滴簇在液體表面的現象探討。參與第 60 屆國立暨縣(市)公私立高級中等學校第二區科學展覽會之專題研究成果報告（編號：A13）。
- 二、陳麒云（2020）。咖啡杯上的幽靈——液體表面的滴簇現象。2020 年 10 月 5 日，取自全台高中成果發表平台
https://drive.google.com/file/d/1X0LR_00ZoqFCIbwc3018Skm4KssVLPkN/view。
- 三、林芳賢，陳弈玄（2020）。咖啡杯上的幽靈——探討滴簇粒徑測量方法。2019 年 10 月 16 日取自中學生網站 <https://www.shs.edu.tw/>。
- 四、楊勝輝（2006）。溫度與尺寸效應對水奈米滴簇行為之研究。2019 年 10 月 16 日，取自 <https://hdl.handle.net/11296/myd4vj>。
- 五、АлександрДубов（2017）。Разницатемпературзаставилакаплюлевитироватьнаджидкостью。2019 年 10 月 16 日。取自 <https://reurl.cc/Gke6Rv>。
- 六、MichelaGeri,BavandKeshavarz,GarethH.McKinleyandJohnW.M.Bush（2017）。Thermal delay of drop coalescence。2019 年 10 月 16 日。取自 <https://reurl.cc/gvZAXb>。
- 七、X. Wu,N.N.Thien,X.J.Fan,andT.Y.Ng(2003).Amoleculardynamicsstudyofdropspreadingon a solidsurface.Physics of Fluids, Vol.15, No.6.李典勇、李蓉、劉雪梅（2012）。鍊小團簇中金屬鍵的 ELF 和 LOL 函數研究。西南大學學報（自然科學版），66 頁～70 頁。
- 八、劉耕文，江秉城，劉邦佑（2019）。見華探雲——由華的色相判讀雲滴大小與位置分佈。2020 年 2 月 24 日，取自中學生網站 <https://www.shs.edu.tw/>。
- 九、江秉城，劉邦佑（2018）。見華探雲--由理論華定出雲滴粒徑與分布。2020 年 2 月 24 日，取自中學生網站 <https://www.shs.edu.tw/>。

【評語】 160013

本研究探討「滴簇」的性質與行為，作者自製儀器拍攝熱水表面的滴簇，並使用 ImageJ、Python 進行大量的影像分析，得到滴簇粒徑等性質以建構物理模型。藉雷射光凸顯滴簇，觀察液體表面形成滴簇的動態行為，滴簇的形成與消失過程，照片足夠清楚，討論完整，相當有趣。展板製作搭配投影片講解清晰有條理。