

物理科

科別：物理科

組別：國中組

作品名稱：訂做一顆水珠

關鍵詞：堆疊、合併、堆疊速率

編號：030109

學校名稱：

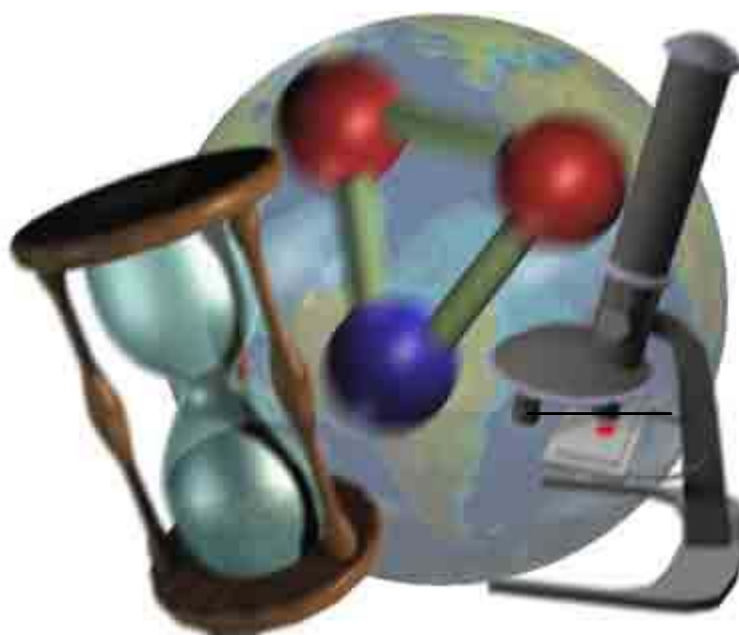
台北市私立再興高級中學

作者姓名：

王啓倫、王啓芸

指導老師：

張東勇、林准儂



摘要

這是一個關於水蒸氣凝結為水珠的基礎實驗，主要是將實驗範圍內不同溫度的水蒸氣導引到顯微鏡的載玻片上，觀察凝結的過程並計算凝結水珠的成長速率。

一、在長達一年的實驗期間，有三項最重要的發現：

- (一) 在實驗範圍內，不同溫度的水蒸氣，經過相同的實驗條件及實驗路徑，到達凝結表面時，其最初始的凝結水珠尺寸相同。
- (二) 凝結水珠的結構：

最初始的極細微水珠

↓
堆 疊

↓
合 併

↓
凝 結 水 珠

- (三) 凝結水珠散佈原則：
 - 1、接受對流影響
 - 2、尋找溫度較低的地方
 - 3、均勻散佈

二、實驗的主體是深入凝結水珠的結構及計算凝結水珠成長速率

由於實驗次數很多，累積了相當數量的圖片，對於凝結水珠的成長趨勢及尺寸的估算，幫助很多。在採集資料時，每張有效圖片均選取 15 個珠粒，追蹤成長過程，所有的計算是以平均值呈現。

三、實驗範圍：

- (一) 為了安全，水蒸氣最高溫度 60 度。
- (二) 這次實驗是以載玻片作為凝結表面，暫不討論其他表面
- (三) 討論凝結水珠的生長速率，不討論它的形狀
- (四) 實驗中載玻片維持室溫
- (五) 實驗主要討論水蒸氣溫度，暫不討論水蒸氣的速度
- (六) 顯微鏡以 10 ×10 鏡頭為主（放大 100 倍）

四、由於凝結水珠會尋找溫度較低的地方，自然天成且為數眾多，應可以多加利用；再者，充分掌握凝結水珠的生長速率，對改善生活環境應有助益。

壹、研究動機

三年前，一次偶然的機會，我看到細微水珠的均勻陣列，心中讚賞不已。我請教數學老師，此天然景象可有數學解法？他說他得先弄懂水珠是如何附著上去的、影響顆粒大小的因素又是什麼？

我長期養水，觀察凝結水珠，在家中各個角落放置許多水瓶，看看哪個地方能培養出顆粒相同、排列整齊的水珠陣列？往往肉眼見到顆粒均勻的水珠，一經顯微鏡觀察，可就大小不齊整了！

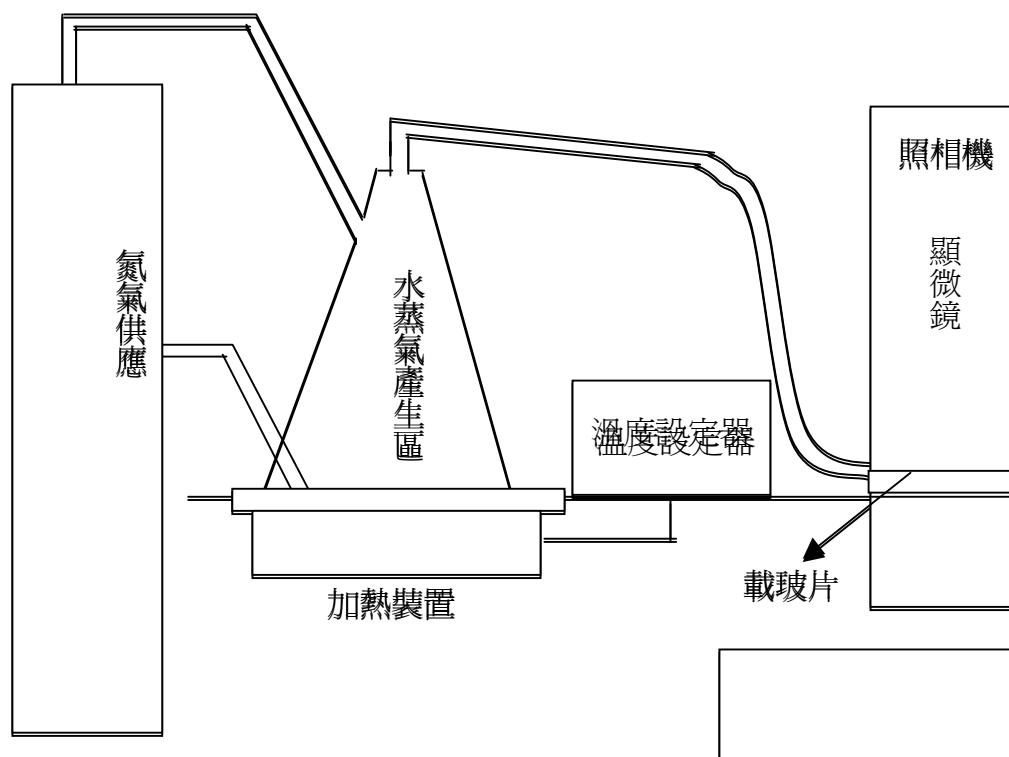
在日常生活中，凝結水珠隨處可見，然而水珠何時在你眼前出現的？是如何長大的？有規律性嗎？我們著手進行一系列的實驗，希望能更進一步了解凝結的水珠。

貳、研究目的

- 一、探討凝結水珠的成長機制
- 二、研究溫度因子
- 三、深入了解凝結顆粒尺寸的變化
- 四、計算凝結水珠成長速率
- 五、製作水珠日記

參、研究設備器材

一、系統結構圖



肆、研究過程或方法

一、水蒸氣凝結 基礎實驗

(一) 溫差實驗一

1、實驗步驟

(1) 取一礦泉水瓶，將瓶蓋旋緊，放在熱水壺旁邊，靜置兩小時。

2、問題

(1) 凝結水珠會出現在礦泉水瓶的哪一邊？

(2) 描述凝結水珠顆粒的大小、分布？

3、新鮮小站

(1) 具凹凸紋的瓶身，能觀察到凝結水珠在凹面及凸面的分布情形嗎？

(二) 溫差實驗二（請於有太陽的日子做）

1、實驗步驟

(1) 取兩個式樣相同的礦泉水瓶，盛水一些（水量相同），將瓶蓋旋緊。

(2) 一個靜置室內書桌下，測量室內溫度。

(3) 一個靜置於戶外，測量戶外溫度。

(4) 一個鐘頭後再觀察。

2、問題

(1) 觀察瓶內凝結水珠的大小？

(2) 改變地點在試試看？

二、水蒸氣凝結 結構實驗

(一) 水蒸氣凝結的結構

1、吹氣實驗

(1) 準備顯微鏡並調整焦距、乾淨的載玻片

(2) 準備吸管一支

(3) 將吸管靠近載玻片，緩緩吹氣。

(4) 觀察載玻片上水蒸氣凝結的過程。

2、結構實驗

(1) 請準備一片乾淨的載玻片

(2) 準備顯微鏡調整好焦距

(3) 準備容量 500cc 含有支管及活塞的錐形瓶，加入 100cc 清水

(4) 準備酒精燈及溫度計

(5) 密閉錐形瓶，加熱至 30℃

(6) 將橡皮管接妥錐形瓶，一根接氮氣瓶，一根固定於載玻片邊緣

(7) 打開氮氣活栓

(8) 觀察水蒸氣凝結

3、溫差實驗

水蒸氣溫度 30℃、40℃、50℃、60℃，重複結構實驗

(二) 實驗支援

1、 影像處理

- (1) 準備照相機接上顯微鏡
- (2) 如果沒有照相機，請準備錄影機及教學電視
- (3) 準備結構實驗
- (4) 水蒸氣溫度 30°C 請測試三次
- (5) 每一次都要更換載玻片
- (6) 將錄影帶轉入電腦

2、 觀察重點

- (1) 溫差大時，最開始凝結的顆粒比較小還是比較大？
- (2) 溫差大時，最開始凝結的顆粒與溫差小時一般大，但成長速度不同？
- (3) 溫差大時，最開始凝結的顆粒就與溫差小時不同？而且，成長速度也不同？哪一項正確？
- (4) 詳細觀察水蒸氣凝結的結構
- (5) 只要是開始紀錄，務必更換載玻片

伍、研究結果

一、水蒸氣凝結 基礎實驗

(一) 水蒸氣遇冷凝結

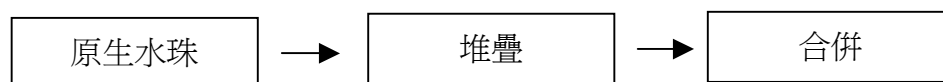
- 1、 礦泉水瓶，盛水一些，將瓶蓋旋緊，放在熱水壺旁邊，靜置兩小時。凝結水珠會出現在遠離熱水瓶的那一邊，而且越接近熱水瓶凝結水珠越小。
- 2、 具有凹凸瓶紋的瓶身，凹進去的部分不易觀察到凝結水珠或是凝結水珠較小；凸出來的部分則通常充滿凝結水珠。

(二) 基礎溫差實驗

密閉水瓶，瓶內瓶外溫差愈大，凝結水珠顆粒愈大。

二、水蒸氣凝結 結構實驗

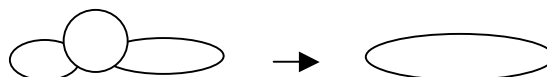
(一) 水蒸氣凝結的結構



- 1、 原生水珠：離開定溫的水源（錐形瓶），凝結在物體（載玻片）表面上的極微細的水珠。



- 2、 堆疊：



- 3、 合併：

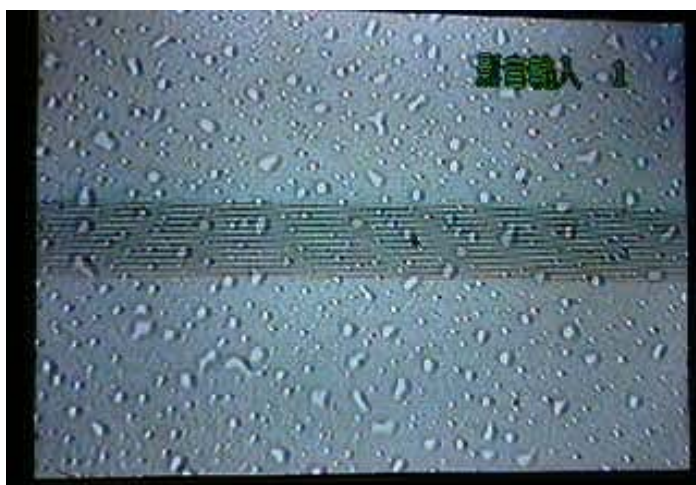
(二) 水蒸氣的溫度與室溫之間的溫差小於 10°C



圖片中顯示：最早到達載玻片的第一批原生水珠，數量並不多，約 110 顆。，顆粒尺寸均勻，散佈密度平均。

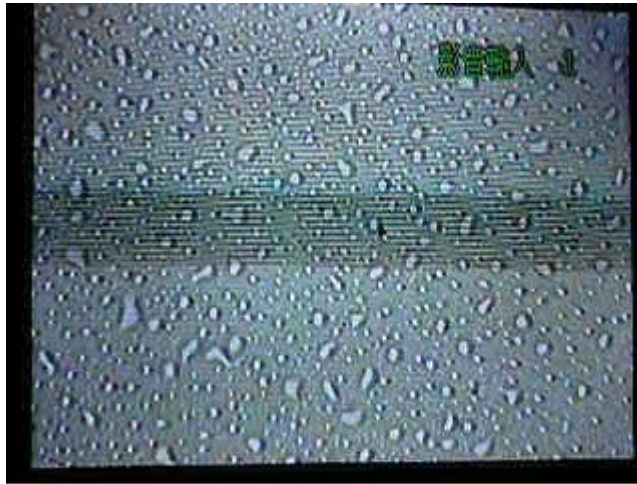


第二批水珠散佈的路線，並不完全與第一批相同。圖上顯示：第二批珠粒，有的正好堆疊在第一批水珠上；有的沒有，造成大小不均勻。



現在不均勻的現象更清楚了：有的水珠叢集不但發生堆疊，還與鄰近珠塊發生合併。看起來是條狀的地區，應該剛發生過合併。

※上面三張圖片是水蒸氣到達載玻片第一秒內的連續畫面



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
二秒的畫面



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
三秒的畫面



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
五秒的畫面

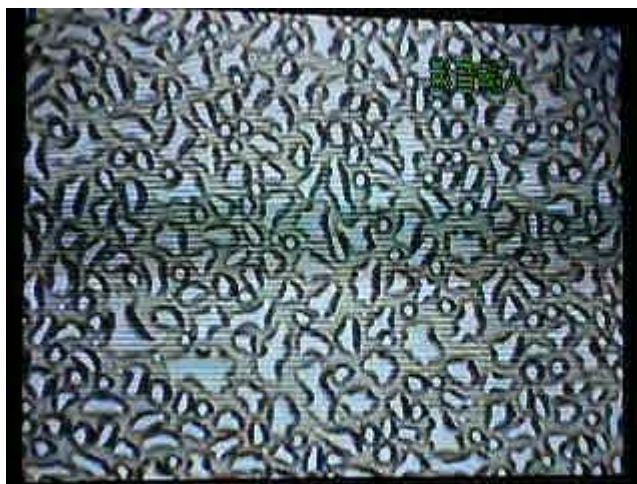
溫差在 10 度以內時，這種顆粒不均勻的現象會持續比較久。
溫差：水蒸氣的溫度與載玻片（室溫）之間的差距



溫差在10度以內時，原生水珠數量較少，所以整體看起來並不擁擠；也因為這樣堆疊先發生，合併較晚發生。



※左邊是水蒸氣導引到載玻片第六秒的畫面



現在已經進入第八秒了。合併也多些，整體的均勻度提高了（水珠叢集面積約略相同時，不會有大有小，會感覺均勻；均勻度提高）



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
十二秒的畫面

(三) 水蒸氣與載玻片（室溫）的溫差： $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$



這張圖和前面溫
差在 10° 度內的
相比較，可以發
現：(1) 一開始
就有幾顆較大的
水珠出現，也就
是堆疊發生較快
(2) 散佈較不平
均



這 張 圖 片 很 有
趣，顯示出來有
趣的環狀排列；
此外，堆疊速度
變快，有較大的
水珠叢集（細微
水珠經過堆疊、
合併後的水珠集
合）。

上面兩張圖片是水蒸氣導引到達載玻片第一秒的畫面

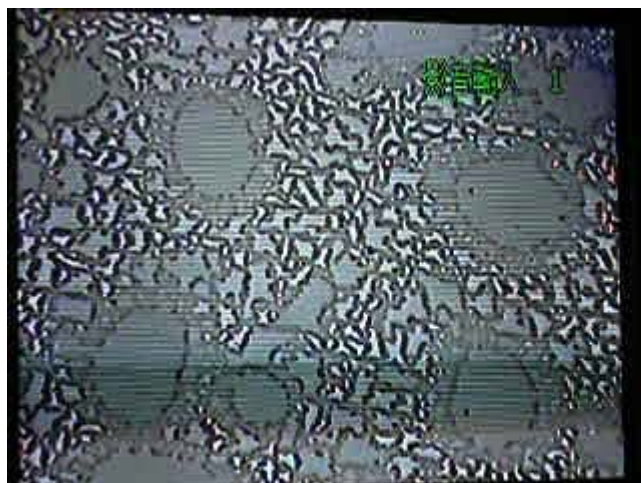


請注意：中間的原生水珠很擁擠，但是尚未合併。
※左邊還是水蒸氣導引到載玻片第一秒的畫面

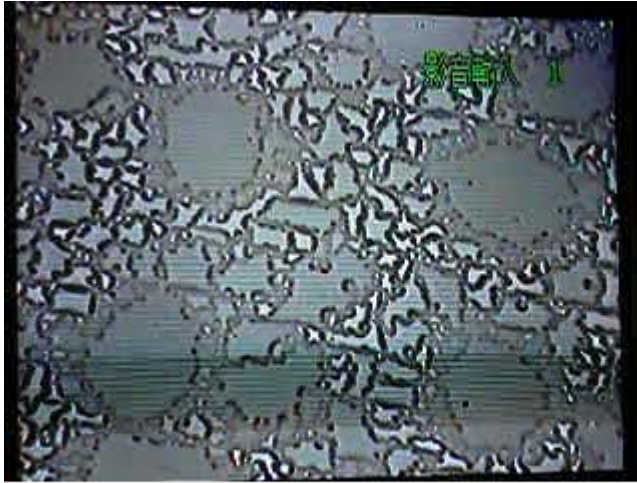


※上邊是水蒸氣導引到載玻片第二秒的畫面

很難令人相信，這些環狀的叢集，居然裡面是水！要不是看到它們合併旁邊的小叢集，無法想像一剎那間裡面充滿了水！



這是第三秒末的圖片，在 10 度到 20 度溫差的實驗中，常看到環狀的「游泳池」！

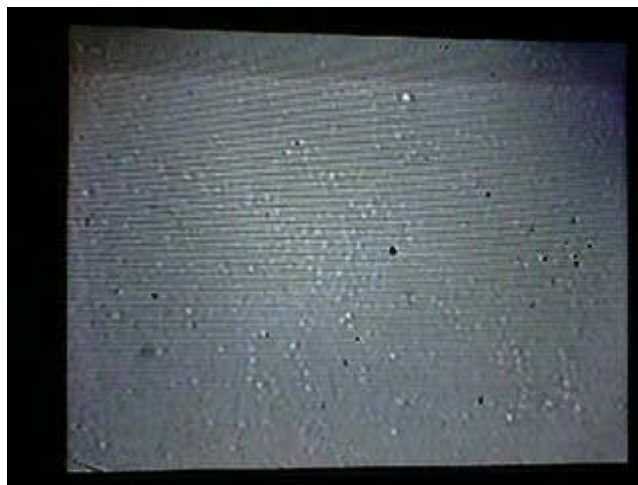


※左邊是水
蒸氣導引到
載玻片第四
秒的畫面

(四) 水蒸氣與載玻片【室溫】溫差 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
一秒的畫面



從上面兩張圖片可以發現：溫差大，生成的細微水珠數量也多。



※左邊前兩張仍然是水蒸氣導引到載玻片第一秒的畫面



由於堆疊發生得很快，早到的並沒有特別大。雖然很擁擠，但是非常均勻！溫差在 20 度到 30 度之間的凝結水珠特性就是早期顆粒非常均勻（均勻度高）。



※上邊是水蒸氣導引到載玻片第二秒的畫面



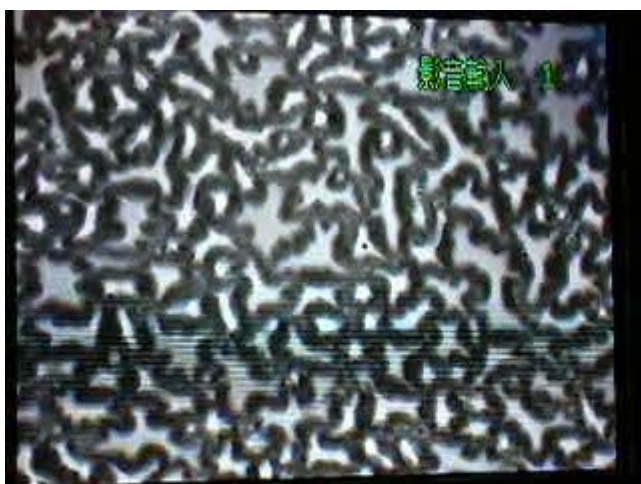
※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
二秒的畫面



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
三秒的畫面



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
四秒的畫面



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
五秒的畫面

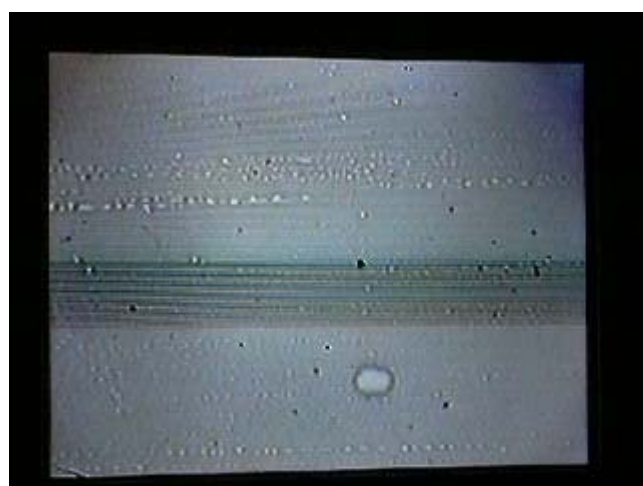


※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
七秒的畫面

(五) 水蒸氣與載玻片【室溫】溫差 $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$



※左邊是水蒸氣
導引到載玻片第
一秒的畫面



※ 左邊兩幅是水蒸氣導引到載玻片第一秒的畫面。

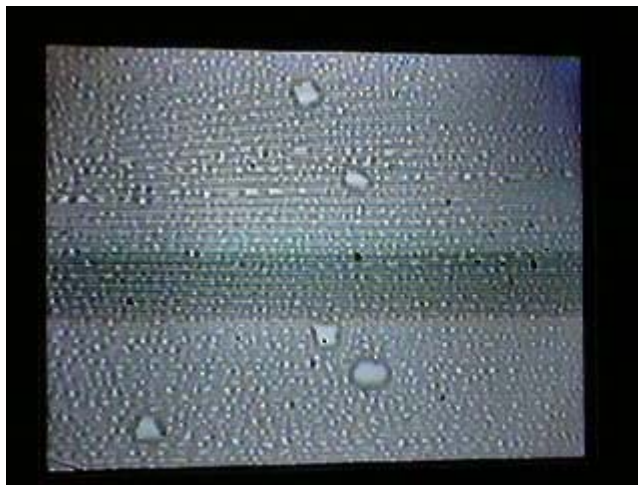
※ 可以看到下面這一幅，左邊有明顯直線排列的珠粒。

※ 當水蒸氣溫度提高到與室溫有 30°C 的差距時，這現象很常見。

※注意下方一幀眼間出現一個水窪，這是水蒸氣溫度提高時特有的現象



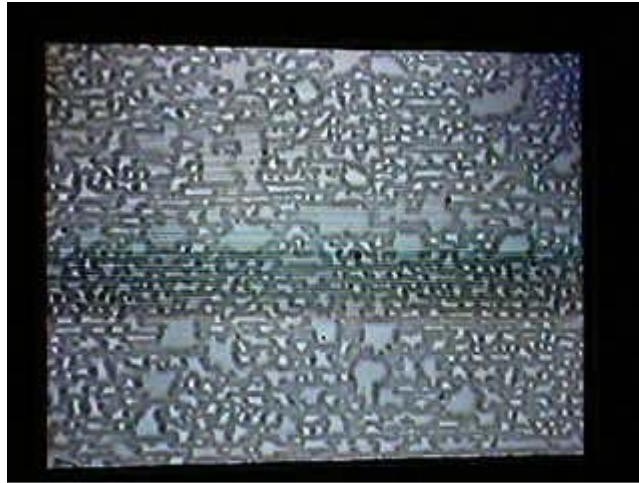
左邊是水蒸氣
導引到載玻片
第一秒的畫面。



左邊還是第一秒
內的畫面，除了原
來先到的珠粒長大
了，還多了幾個水
窪，原生水珠均勻
滿布。值得注意：原生水珠的尺
寸與水蒸氣在溫度
較低時所產生的
的是一樣大【原生
水珠尺寸相同】



上圖仍是第一秒內的畫面，除了水窪外，其他珠粒相當均勻的。



這幅圖片與第一秒第一張相比，已經變化很大了！可是這張圖仍是第一秒內的畫面！也就是當水蒸氣溫度高於室溫 25°C 時，第一秒內所有的變化，相當於 $5^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$ 的好幾倍！像上圖在 $5^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$ 時，可能是第八秒或第九秒的變化，所以堆疊速率是很快的。



這是第一秒結束時的畫面

陸、討論

一、 水蒸氣冷凝於載玻片表面的初始狀態？

由於冷凝過程是用錄影方式紀錄，在顯微鏡下呈現出來的第一個畫面



溫差範圍：5°C ~ 10°C



溫差範圍：20°C ~ 30°C

這兩幀圖片是紀錄冷凝過程中最開始的畫面。圖片上顯示原生細微水珠（第一批到達表面的細微水滴）。

至於水蒸氣是什麼時候由氣體冷凝為細微水珠？推測應該是在凝降載玻片之前有發生碰撞形成顯微鏡能看到的極細微水珠。

二、 水蒸氣遇冷凝結於載玻片上，散佈時有規律性嗎？

（一）溫度不同，散佈的路徑不同



在反覆實驗之後，發現水蒸氣與凝結表面的溫差大於 10 度時，常看到像上圖的散佈路徑，這應該是對流作用下的散佈情形。



當水蒸氣與凝結表面的溫差小於 10 度時，細微凝結水珠是相當均勻的向四面八方散佈。

最初始的散佈路徑



水蒸氣與凝結表面（載玻片）
的溫差： $5^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$

散佈特徵：均勻四散



水蒸氣與凝結表面（載玻片）
的溫差： $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$

散佈特徵：
向溫度較低處聚集



水蒸氣與凝結表面（載玻片）
的溫差： $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$

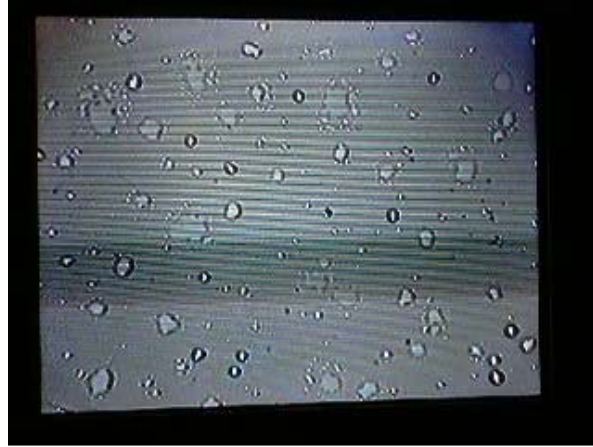
散佈特徵：由中央向四方散佈



水蒸氣與凝結表面（載玻片）
的溫差： $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$

散佈特徵：直線散佈、
接受對流影響

（二）溫度對凝結水珠散佈路徑的影響



實驗中發現，水蒸氣與凝結表面溫差每增加 10°C ，水珠的數量，也跟隨增加，而如此之多的水珠有兩種方式表達：

- 1、均勻散佈
 - 2、集中以水窪出現（突然間一灘水就出現了）
- 水窪出現時，水珠會聚速率的變化量相當大。

（三）溫差等於 20°C ：每批水珠數量多，產生堆疊之後，顆粒均勻。

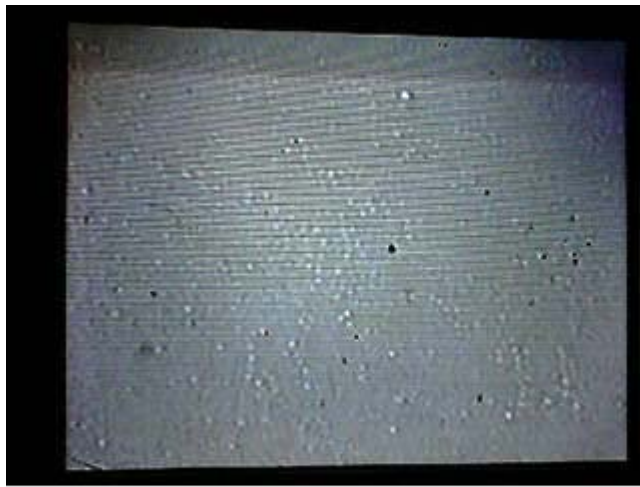


散佈原則

- (一) 會受到對流的影響
- (二) 選擇溫度較低的地方
- (三) 均勻散佈

如果實驗時忘了每次要更換載玻片，就會發生水珠優先停在上次痕跡上的情形，因為水珠蒸發後該區域溫度應較低。

三、 水蒸氣溫度不同時，第一批到達表面的凝結水珠，尺寸相同嗎？



此圖片是水蒸氣與凝結表面【室溫】的溫差在 20 度到 30 度的範圍



此圖片是溫差在 30 度到 40 度的範圍



此圖片是溫差在 5 度到 10 度的範圍

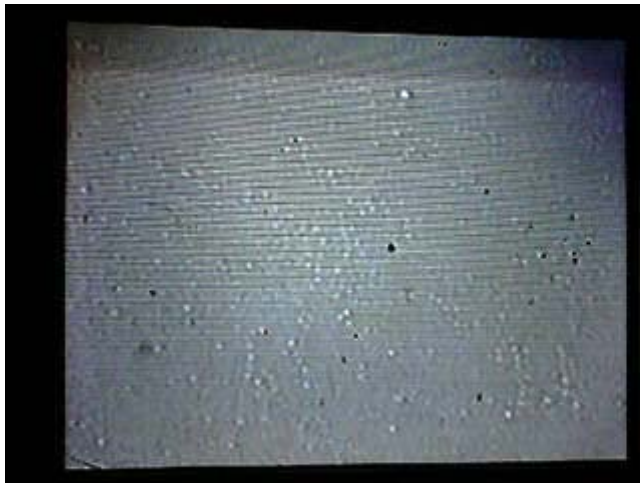


此圖片是溫差在 10 度到 20 度的範圍

由所有實驗結果彙整得知：在同一梯次實驗中，第一批到達凝結表面的水珠，尺寸均相同。

四、 水珠成長分析：

(一) 溫差大時，細微凝結水珠數量增多，均勻滿布。

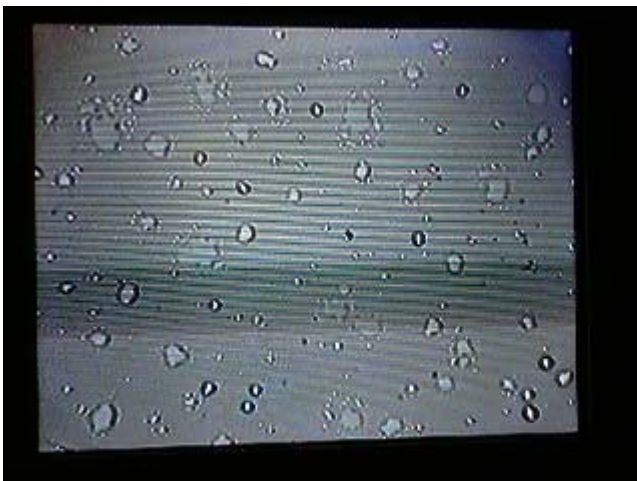


實驗中發現，水蒸氣與凝結表面溫差大時，原生細微水珠的數量成倍數增加，而如此之多的水珠有兩種方式表達：

3、均勻散佈

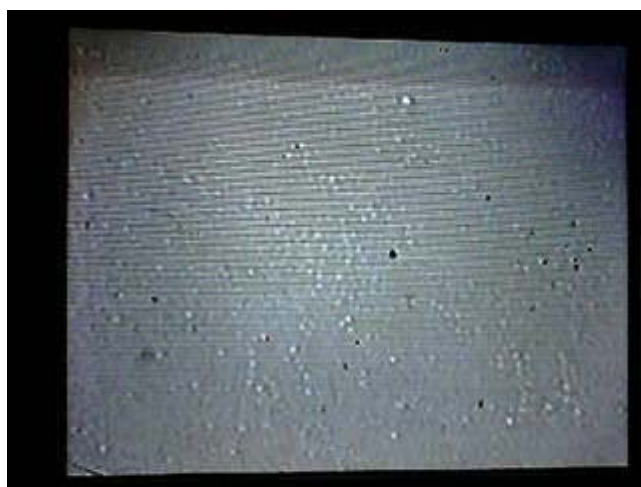
4、集中以水窪出現（突然間一灘水就出現了）

5、水窪出現時，水珠會聚速率的變化量是 100% 。



(二) 由於每一批顆粒均勻滿布，產生堆疊之後，顆粒依然較為均勻。

溫差處於臨界點時



在此之前，珠粒數量較少，堆疊速率較慢，合併較晚發生。



在此之後，珠粒數量增多，堆疊速率增快，往往立時出現水窪，而其後珠粒易集中水窪之處。

只要實驗條件相同、實驗路徑相同，只有溫差不同時，

第一批到達凝結表面的最初凝結水珠，尺寸相同，但是：

(三) 溫差大時，堆疊快，合併快，水珠叢集的面積快速增大。

(四) 溫差小時，細微凝結水珠數量稀少，第一批顆粒容易成長較大，顆粒較為不均勻。

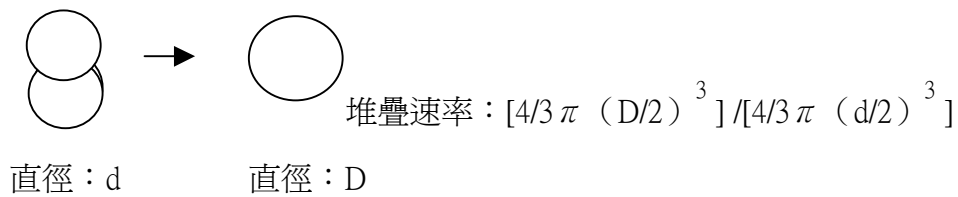
(五) 溫差小時，堆疊速度慢，合併較晚發生，水珠叢集的面積較小。

溫差小於 10°C ，在 12 秒末仍然可以發現原生細微水珠；
而溫差大於 30°C ，則在 0.4 秒就開始產生珠粒合併。

※原生水珠：最原始出自水源，來到凝結表面的細微水珠

※水珠叢集：經過堆疊、合併後的水珠集合

(六) 堆疊速率



如果已經產生合併則以面積比例計算堆疊速率

※注意：水蒸氣溫度高於室溫 25°C 時，堆疊速率是以 1/10 秒計算

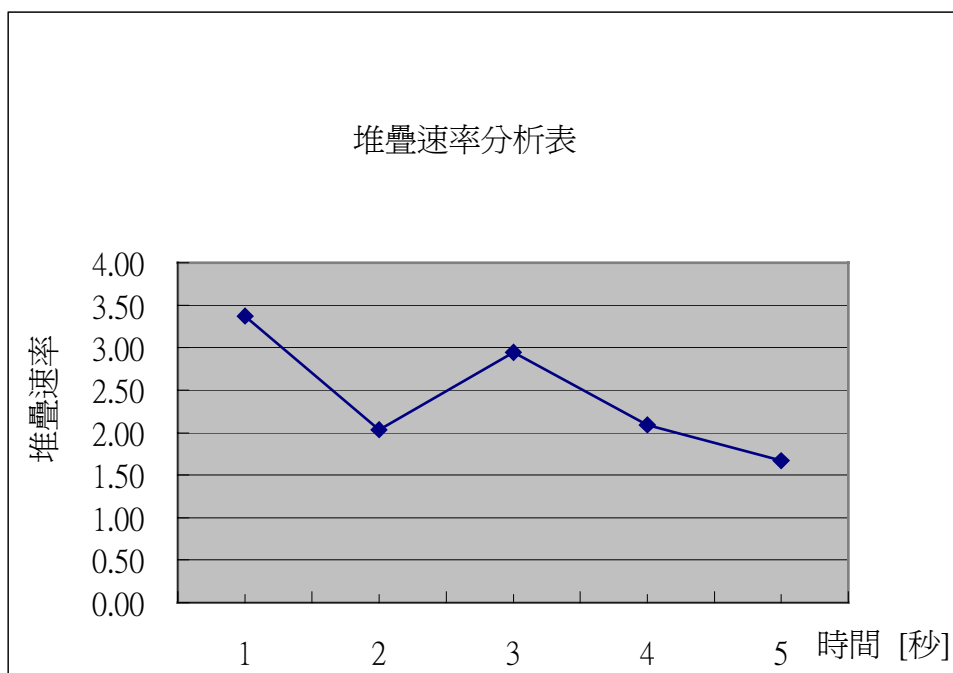
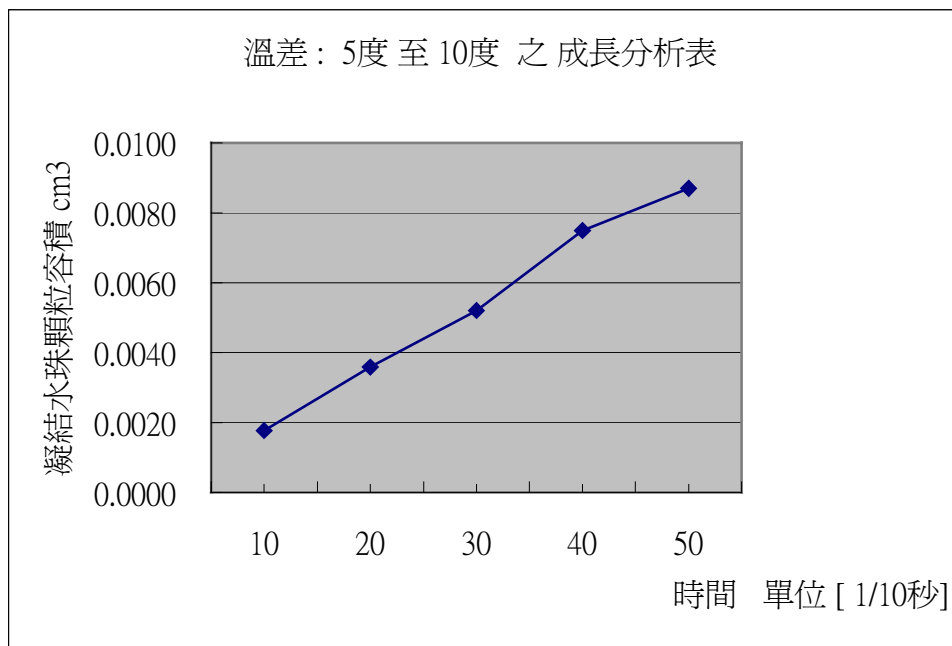
- 1、由於實驗次數很多，圖片採集資料，每次第一張選取 15 顆原生細微水珠，追蹤成長過程，計算堆疊速率，再以平均值繪製堆疊速率表。
- 2、經過多次繪製堆疊速率表，發現曲線大致相同。表示：
如果實驗條件相同，凝結水珠成長速率是固定的
- 3、下面呈現的曲線圖是綜合平均值所繪製，準確性很高。
所以『訂做一顆水珠』是可行的！



對流所引起的環狀排列，裡面是水珠會聚之處。這情形在水蒸氣溫度高於室溫 15°C 時時常可以見到。水珠會聚速率非常快。此外，水蒸氣溫度高於室溫 30°C 時則常見小水窪，水珠會聚速率也是超快的。

水蒸氣與凝結表面(室溫)的溫差：5℃ ～ 10℃ 平均資料表 [樣本數: 15]

時間 [秒]\尺寸 [cm*cm*cm]	時間 [1/10sec]\尺寸 [cm3]
00 0.1000 cm 0.000523 cm*cm*cm 堆疊速率	10 0.0018
01 0.1500 0.001766	20 0.0036
02 0.1900 0.003590	30 0.0052
03 0.0052 cm ³ 0.005200	40 0.0075
04 0.0075 0.007500	50 0.0087
05 0.0087 0.008700	

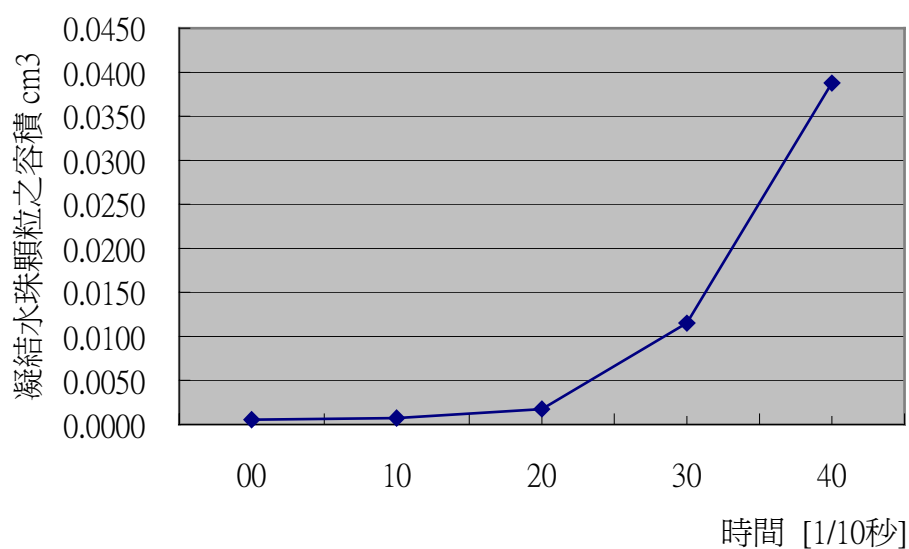


水蒸氣與凝結表面(室溫)的溫差：10℃ ～ 20℃ 堆疊速率分析表 樣本數：15

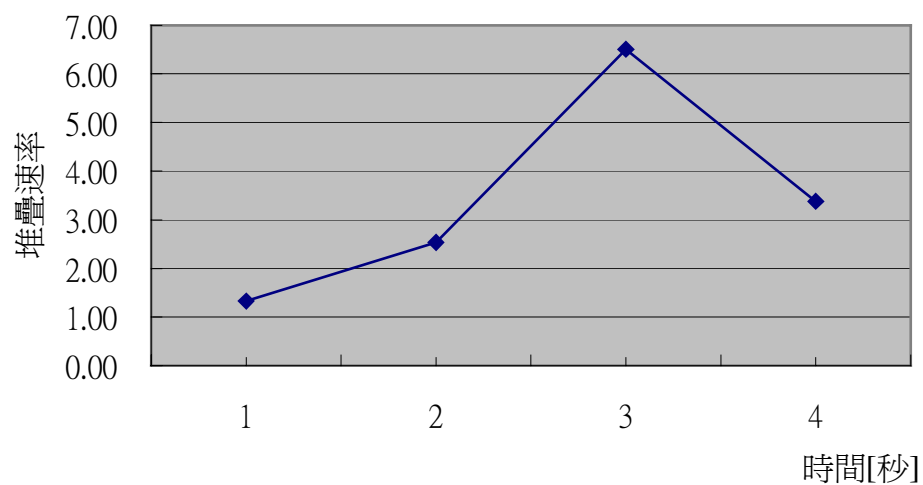
時間 [1/10秒]\尺寸 [cm*cm*cm]

時間	尺寸	圓直徑	堆疊速率
00	0.0005 cm*cm*cm	0.10	
10	0.0007	0.11	1.33
20	0.0018	0.15	2.54
30	0.0115	0.28	6.50
40	0.0388	0.42	3.38

溫差：10℃ ～ 20℃ 凝結水珠 成長分析表



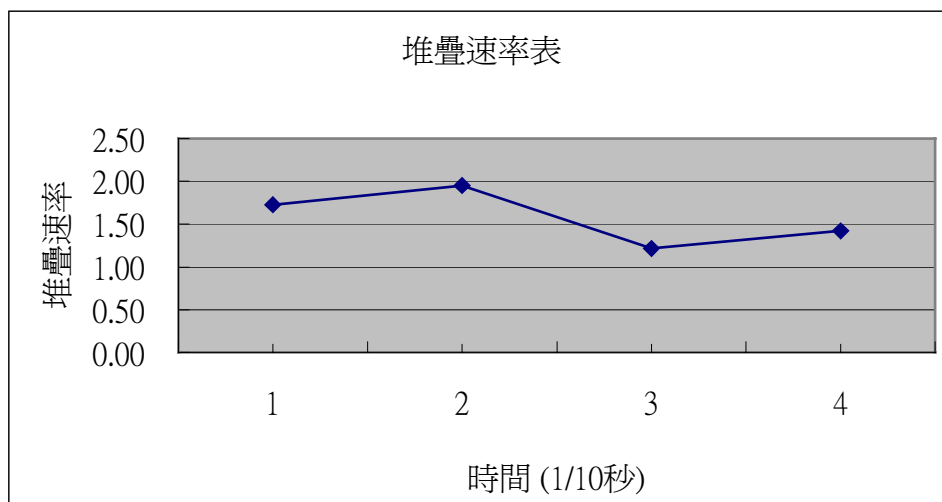
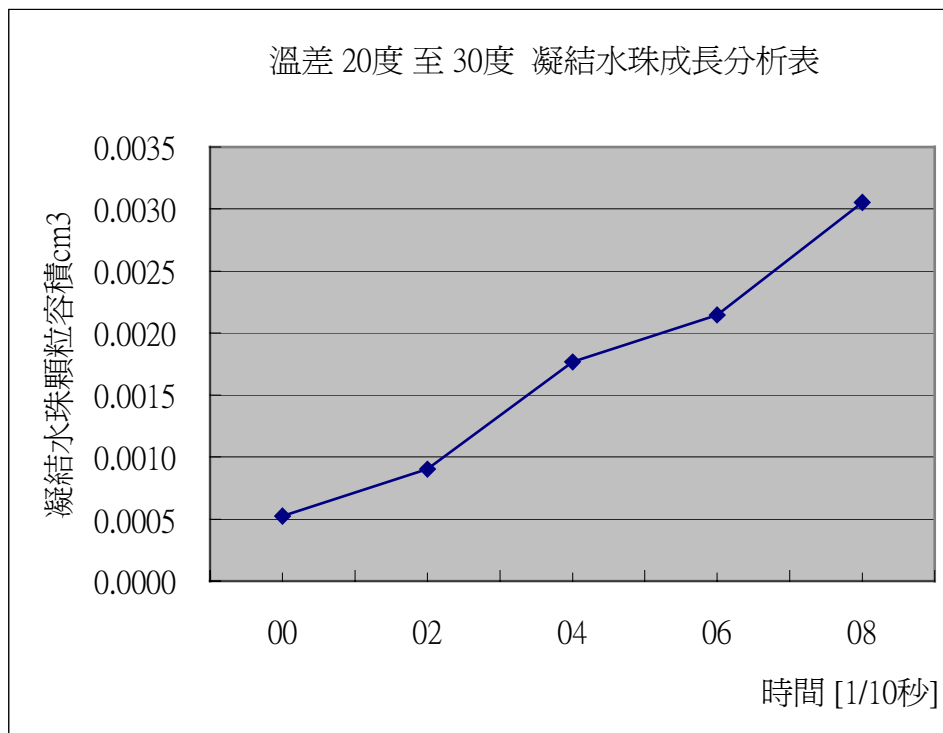
堆疊速率表



水蒸氣與凝結表面(室溫) 溫差：20℃～30℃ 採集樣本數：15

時間 [1/10秒]\尺寸 [cm*cm*cm]

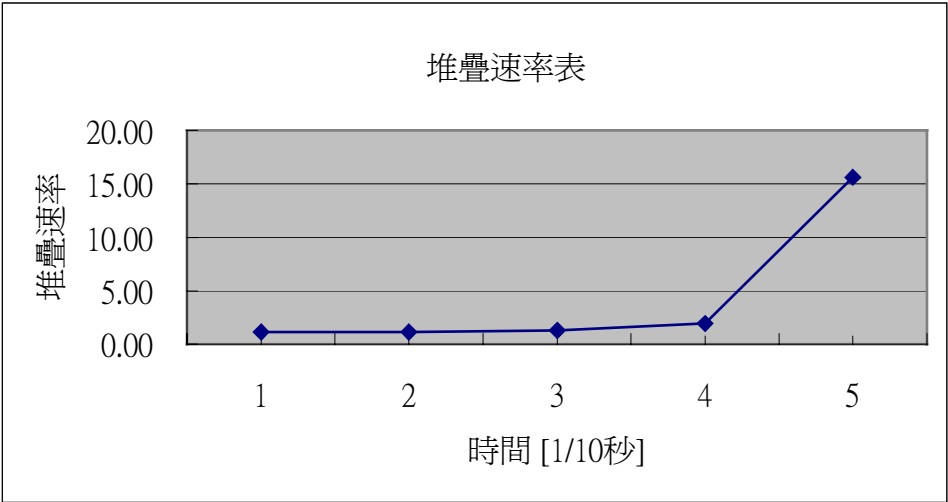
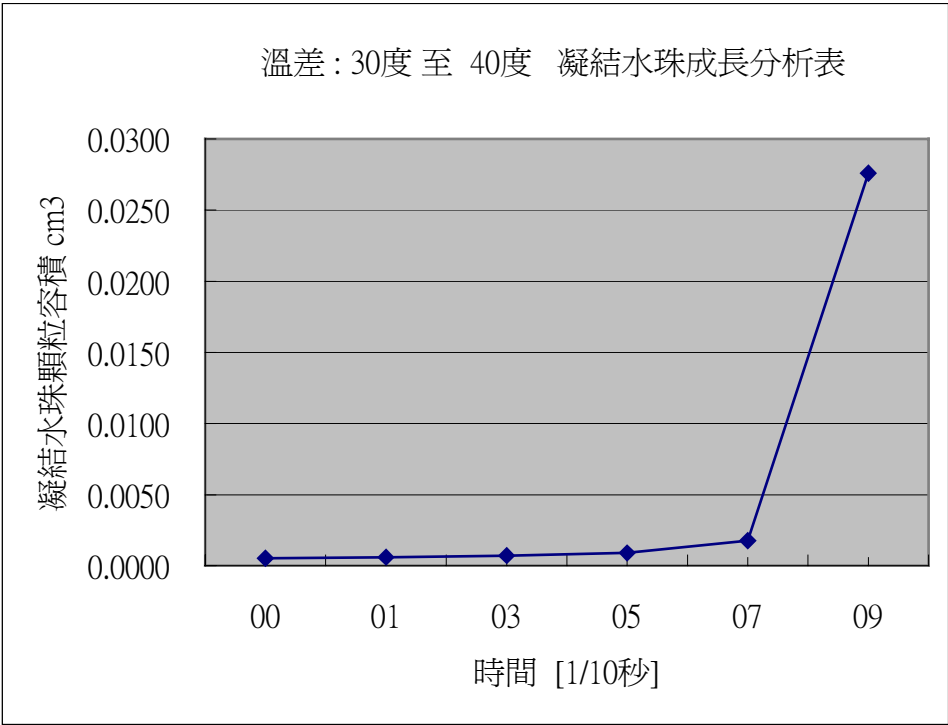
00	0.0005	0.10	堆疊速率
02	0.0009	0.12	1.73
04	0.0018	0.15	1.95
06	0.0021	0.16	1.21
08	0.0031	0.18	1.42
15	0.0042	0.20	1.37
20	0.0141	0.30	3.38



水蒸氣與凝結表面的溫差：30℃ ～ 40℃ 採集樣本數：15

時間 [1/10秒]\尺寸 [cm*cm*cm]

00	0.0005	堆疊速率	0.100
01	0.0006	1.16	0.105
03	0.0007	1.15	0.110
05	0.0009	1.30	0.120
07	0.0018	1.95	0.150
09	0.0276	15.63	0.375



柒、結論

一、水蒸氣凝結結構

原生細微水珠 → 堆疊 → 合併 → 凝結水珠

二、影響凝結水珠尺寸的重要因素

- (一) 水蒸氣與凝結表面之間的溫度差距
- (二) 水蒸氣（細微水珠）每秒到達凝結表面的數量

三、推測 凝結水珠散佈於物體表面可能的方式：

- (一) 接受對流機制的影響
- (二) 尋找溫度較低的地方
- (三) 均勻散佈

四、實驗條件不變時，最原始生成的細微凝結水珠，尺寸相同

五、水蒸氣溫度與凝結表面溫差在 10 度範圍內：

- (一) 細微水珠之間的堆疊速度慢、合併較晚發生
- (二) 凝結水珠最大堆疊速率 < 1 (1/10 秒)

六、當水蒸氣溫度與凝結表面溫差大於 25 度時：

- (一) 細微水珠之間的堆疊、合併甚早、甚快、幾乎同時發生
- (二) 凝結水珠最小堆疊速率 > 1 (1/10 秒)

七、當維持「水蒸氣溫度」是唯一變因時，固定水蒸氣溫度與凝結表面（室溫）的溫差，堆疊速率可以概算，進而概算凝結水珠尺寸。所以，訂做一顆水珠應該是辦得到的！

評語

能有效利用水蒸氣凝結做學術性的推論，探討，並仔細觀察記錄。