

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：物理科

作品名稱：關於渦旋〈二〉

學 校：臺北市私立再興高級中學

作 者：王啓倫、王啓芸

2003 年台灣國際科學展覽會研究報告

ABOUT VORTICES

Chaos ?

Vortex !

前言

水分子素描

盡其在我 功成弗居

中文摘要與動機

在做這實驗之前，我花了很長一段時間思考一個問題：我如何能得到同樣大小（均勻）的水珠陣列？我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的水珠？往往肉眼見到整齊排列的水珠，一經顯微鏡觀察，可就大小不齊整了。

第一篇中的實驗，幾乎是「水珠日記」，記載冷凝過程；其中我特地比對「穩定的水蒸氣氣流」與「擾動的水蒸氣氣流」、「水蒸氣氣流與凝結盤間溫度差別」、「凝結盤密度差別」、「凝結因子的重量百分濃度差別」、「水蒸氣氣流之流速差別」，並加以複合比對。希望能找到產生均勻排列的條件－探討水分子的自我組裝機制 (Self Mechanism of Water Droplets)。

這其中提出『均勻假說』：當條件合宜時，冷凝下降的細微水珠會產生 free vortex ring，形成整齊的渦環組合，進而產生均勻排列的細微水珠陣列。

實驗是藉由溶液密度小於水的設計，讓水蒸氣冷凝於液面上，並且因密度較大而下沉。設計的要點是：儘量減少細微水珠自冷凝後的堆疊 (coalescence)，以呈現水珠原貌。

在第二篇實驗中，將對渦旋比例尺修正。渦旋本身難測大小，在空氣中也不易觀察，但是若由水中觀看，可藉由空氣蕊長短估算。這次更進一步考慮到排水速率、水深、排水口形狀、與極值。

Nature Just Does His Works

Insight into Condensation and
Convection

Abstract

I have tried to ask a famous math professor if he can create a formula describing the ordered array of water droplets ◦ “Then, I should study Physics first !” He said ◦

Condensation is the thing we live with , being found everywhere, passing without notice ◦ But we never know when it does start ?

This experiment presented here is actually the diary of the growth of water droplets through condensation ◦ Through convection and vortex ring, it discusses the self assembly mechanism of water droplets and peep into the uniformity of the size of water droplets ◦

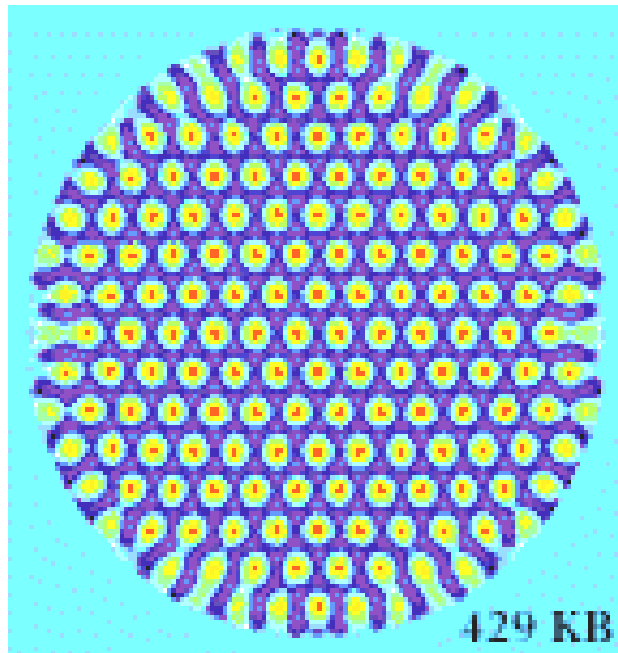
Here, vortex ring plays an important role in the self assembly mechanism of water droplets which is not triggered in the daily life ◦

By coalescence, water droplets grow bigger, but are not round again ◦ We used the polymer film as template and designed the solution lighter than water, so the minute droplets will sink to the bottom and layer by layer ◦ After seconds we may have multilayers of ordered array ◦

This is the first step in discovering the uniformity of water droplets, besides, I made some correction to the Vortex-Ruler ◦ Vortex-Ruler will be useful in researching the flying mechanism of butterfly and dragonfly as to judge which one induces more vortices ◦

2003 年台灣國際科學展覽會研究報告

關於渦旋 (二)



copyright James Gunton Lehigh University

第一篇：Self Assembly Mechanism of Water Droplets (1)

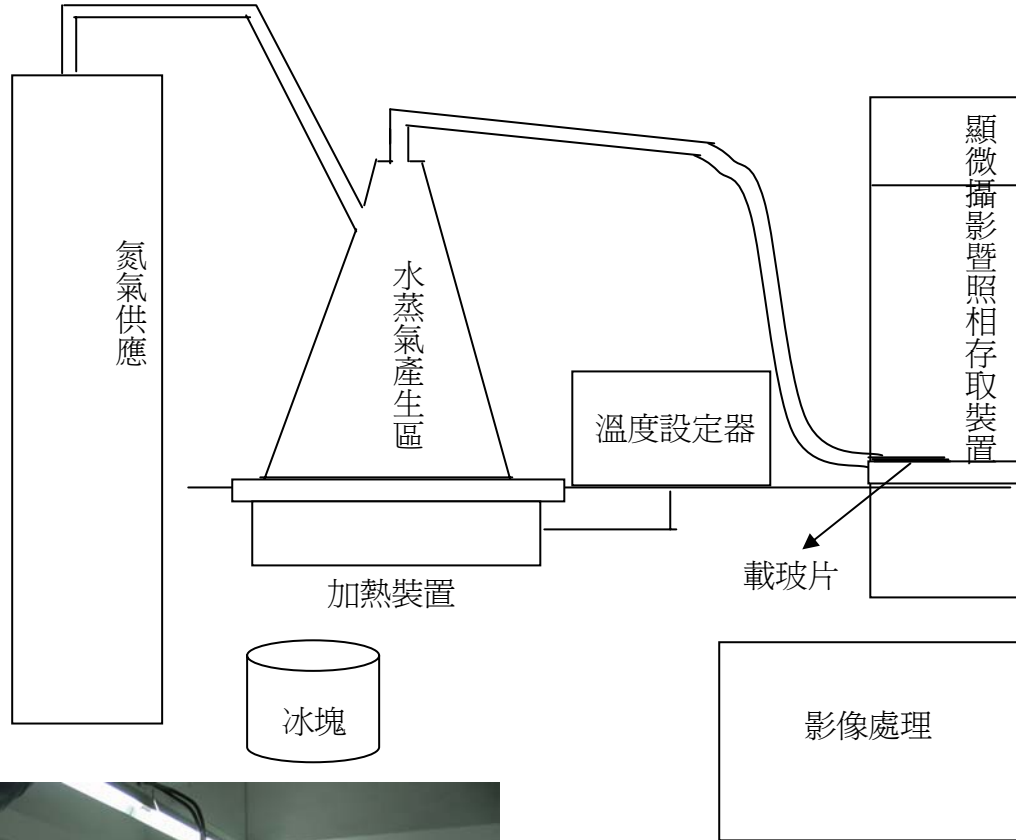
訂做一顆水珠 (一)

第二篇：Eye Measurement of the Vortices (3)

渦旋比例尺 (三)

研究方法或過程

壹、系統結構圖



『水分子自我組裝機制探討』的實驗區



貳、實驗設備的設計要點

一、設計要點

1. 氮氣，主要是擔任加壓的任務，會驅動水蒸氣流動，產生一定的速率。氮氣的加入也會影響水蒸氣的濃度與溫度。
2. 使用氮氣是取氮氣低活性及安全性
3. 水蒸氣產生區是用普通清水。
4. 溫度調節區：使用加熱裝置及溫度設定器
5. 自錐形瓶到載玻片：
 - 直管→常態氣流
 - 螺管→增加亂流（turbulence）
6. 載玻片與水蒸氣出口的距離會影響觀察結果

二、備註

1. 氮氣的速度可藉由測速器測得
2. 實驗清水須靜置以取得平衡

三、實驗流程設計要點：

1. 溶液中，溶劑揮發時，降低周圍溫度
2. 當水蒸氣通過時，遇冷凝結
3. 溶液密度小於 1，導致水蒸氣凝結成細微水珠時，下沉至液底
4. 溶劑完全揮發後，留下 polymer film 及鑲嵌於其中的水珠群
5. Polymer Film 中的水珠蒸發後，留下 3D 美麗孔洞

參、調製凝結盤 (Template)

一、Polymer Film

1. 溶劑：甲苯、乙酸乙酯、二氯已烷
2. 溶質：高分子聚合物 (Polystyrene)
3. 濃度：polystyrene 取重量百分濃度 0.1% - 5%
4. 密度：甲苯調製=0.8 < 1
乙酸乙酯=0.9 < 1
二氯已烷=1.33 > 1

二、設計重點

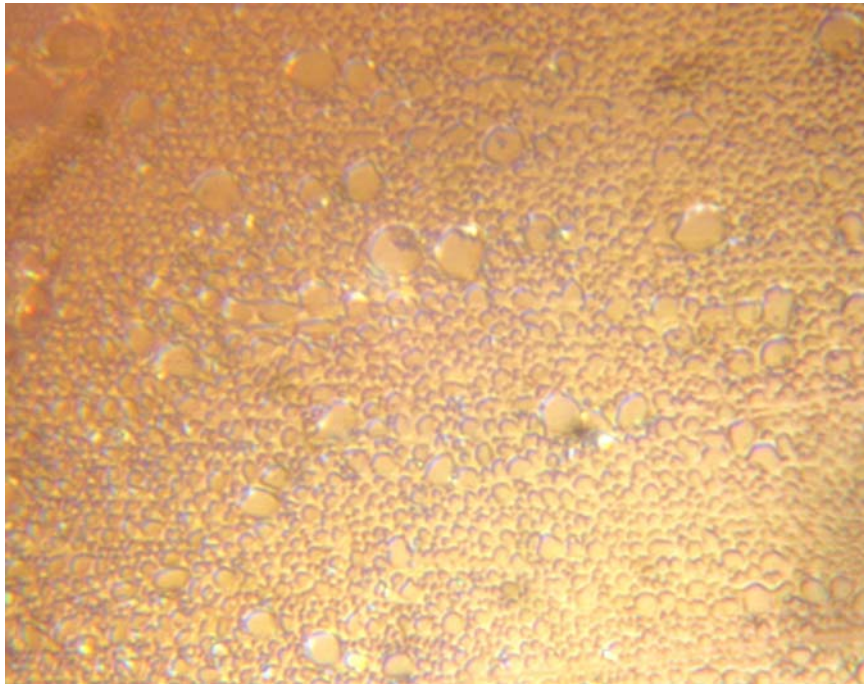
1. 水蒸氣將被導引至凝結盤中，觀察細微水珠之排列情況
2. polystyrene 是用分子量等於 4400 之標準產品
3. 取重量百分濃度： $(\text{溶質重量}) / (\text{溶質重量} + \text{溶劑重量})$

肆、實驗步驟

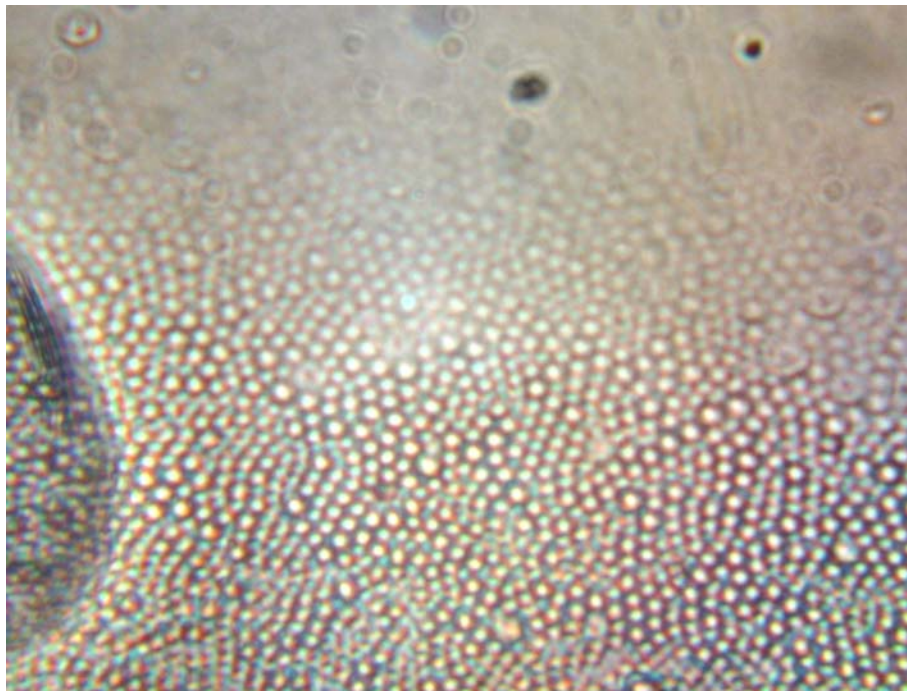
1. 取室溫清水 100cc 置入錐形瓶中
2. 密閉靜置一日
3. 準備氮氣輸送
4. 水蒸氣 進入「溫度調節區」
5. 溫度調節區內可視情況加熱或使用冰塊
6. 載玻片滴上 Polystyrene 溶液
7. 輸送氮氣
8. 讓 水蒸氣與氮氣 通入載玻片置放區
9. 以顯微鏡觀察水滴凝結

研究結果與討論

壹、 穩定氣流 與 擾動氣流 對水珠凝結陣列的影響

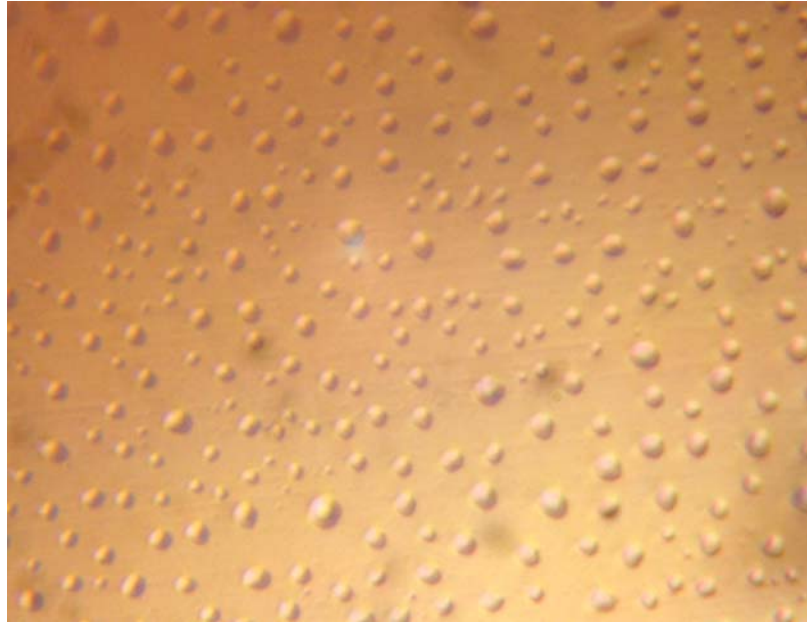


擾流 32°C (載玻片保持室溫、0.1% polystyrene 甲苯 凝結盤)

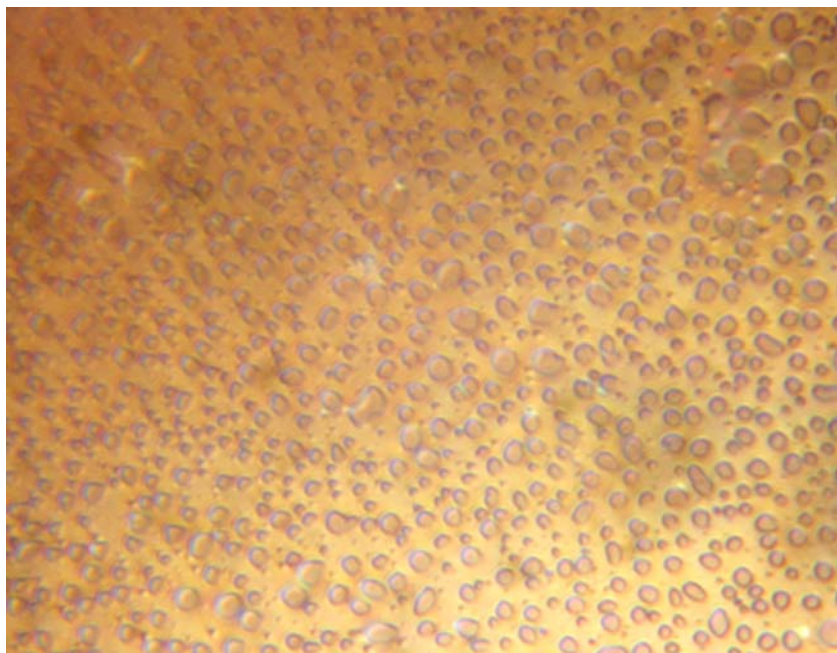


穩流 32°C (載玻片室溫、0.1% polystyrene 甲苯 凝結盤)

貳、水蒸氣氣流之流速對水珠凝結陣列的影響



吹氮氣(水蒸氣 30°C、慢速、0.1%polystyrene 甲苯凝結盤)

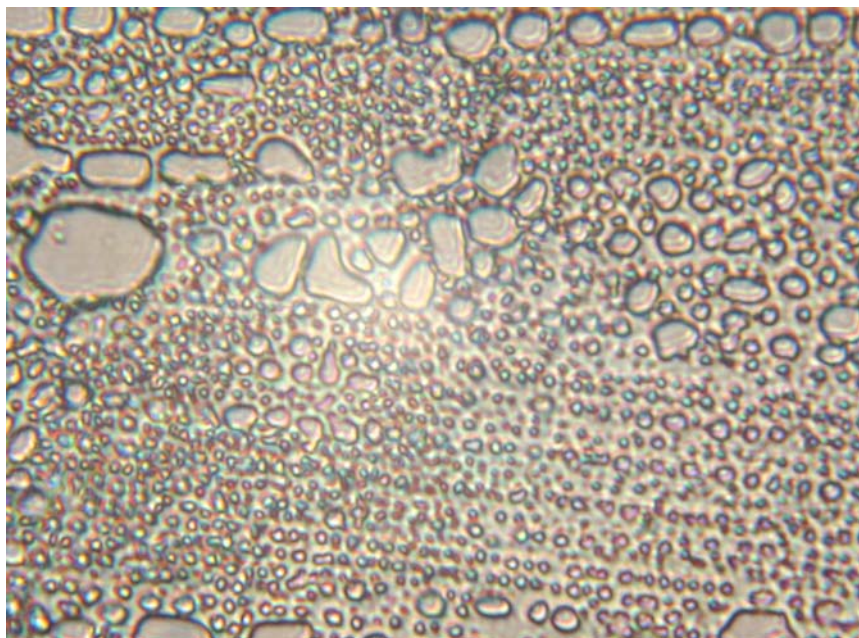
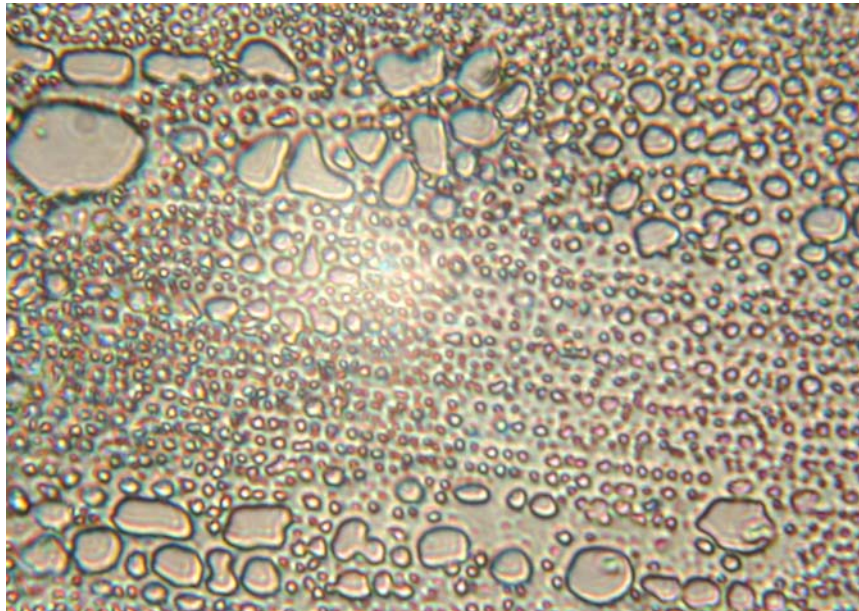


吹氮氣(水蒸氣 30°C、中速、0.1%polystyrene 甲苯凝結盤)

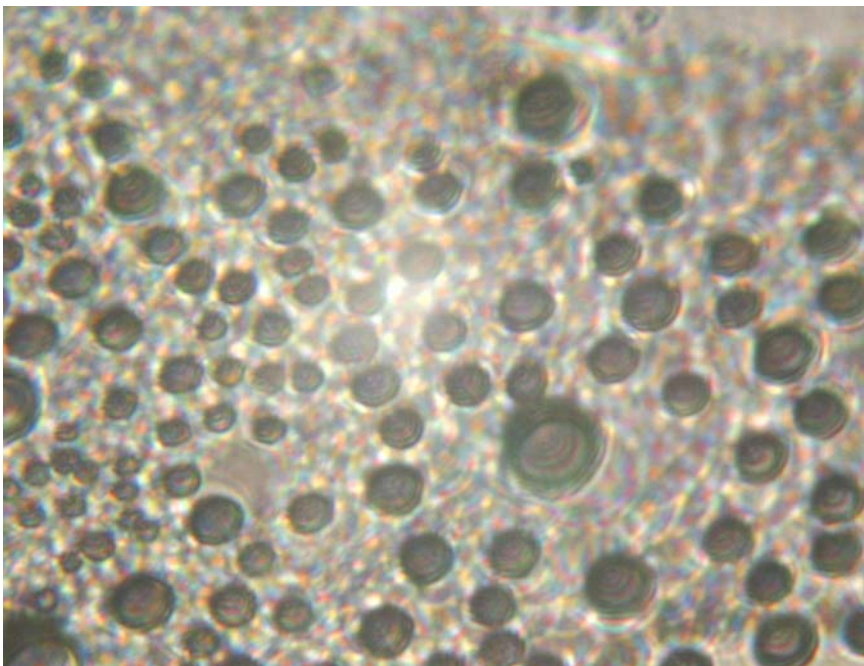
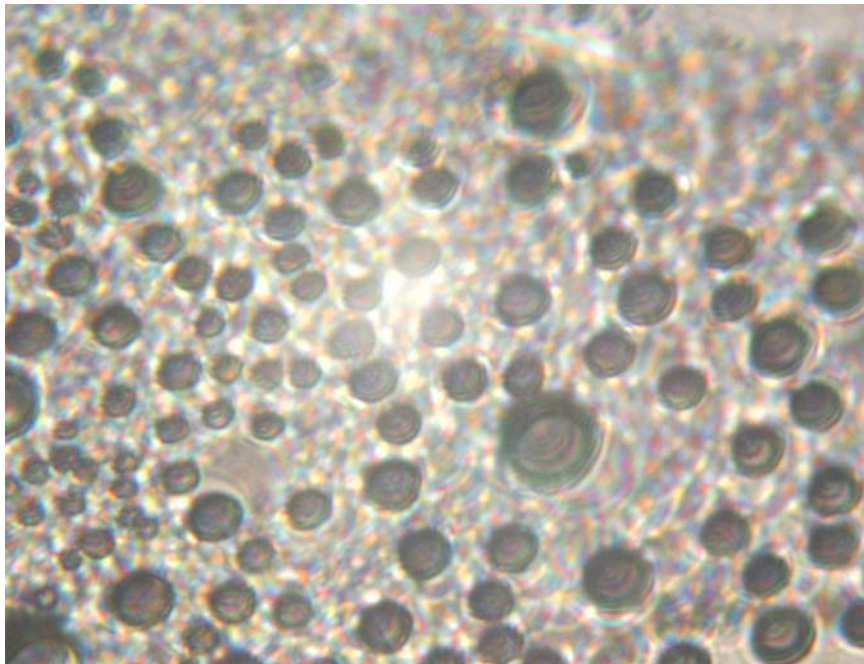
※約略可見有三層，底層的水珠尺寸甚小

參、高分子聚合物之重量百分濃度對水珠凝結陣列之影響

吹氮氣(水溫 25°C、載玻片 19°C、EA 凝結盤 polystyrene 0.5%)



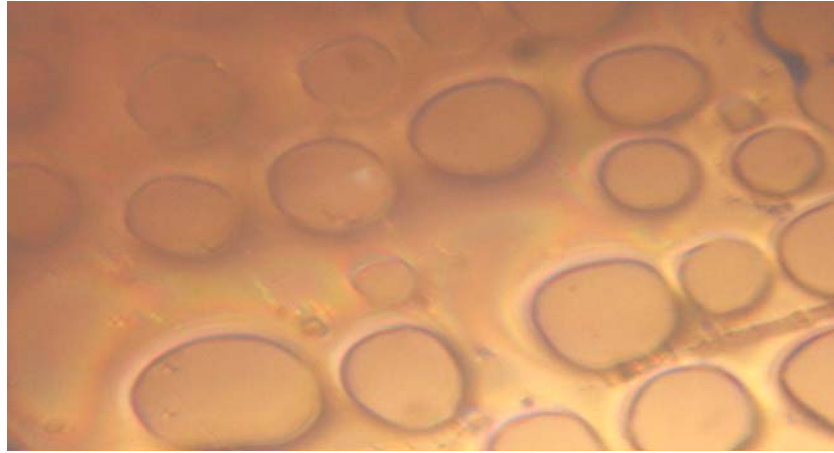
吹氮氣(水溫 25°C、載玻片 19°C、EA 凝結盤 polystyrene 4%)



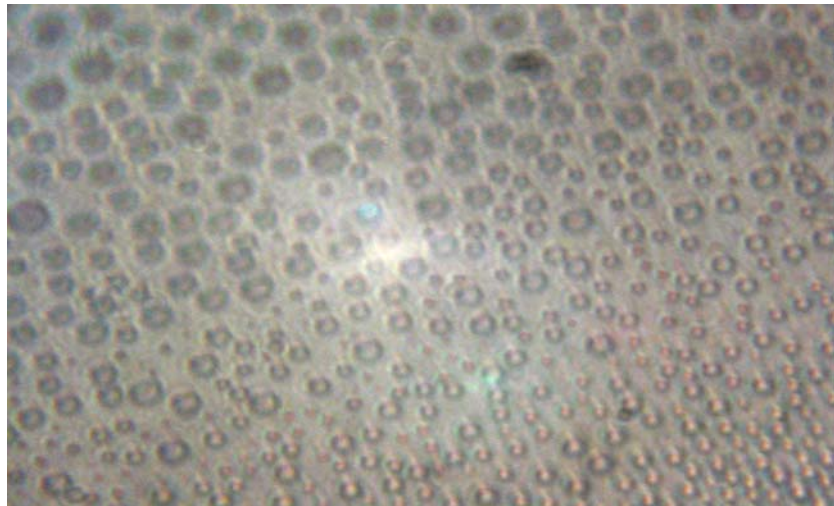
※ 此圖上之多層次水珠陣列清晰可分辨

底層是 **Benard Cells** 而且呈現圓圈狀

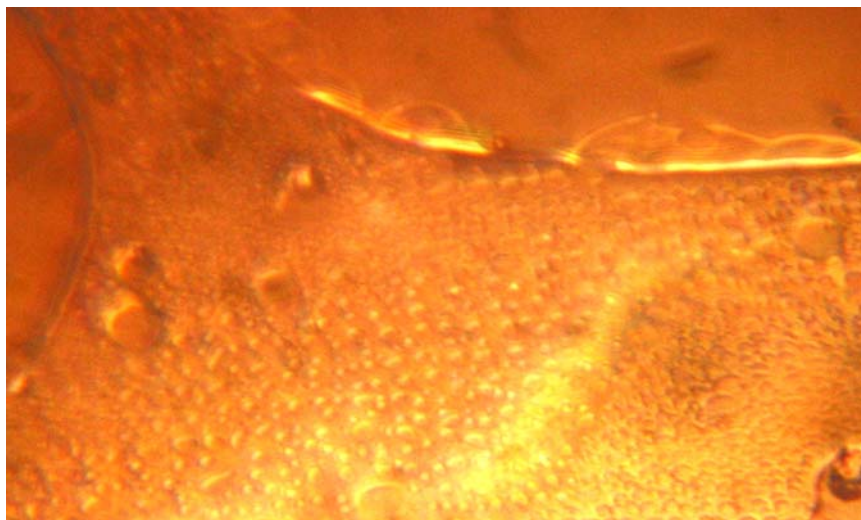
肆、凝結盤之密度對細微水珠凝結陣列之影響



吹氮氣(水溫 38°C、載玻片 22°C、凝結盤密度 1.33、0.1% polystyrene)



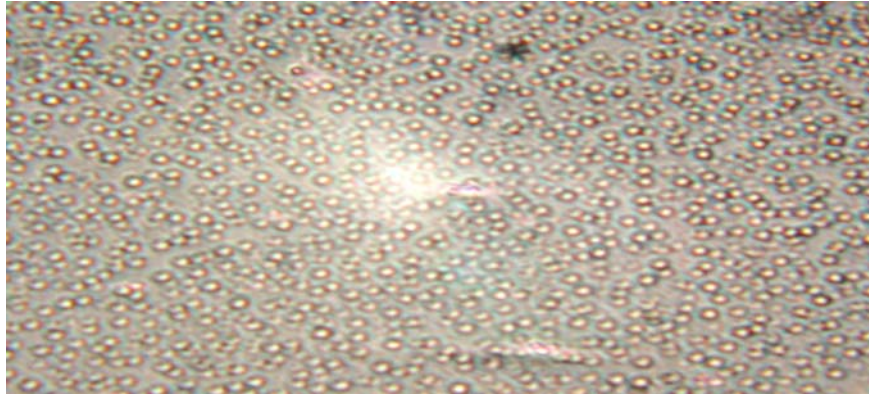
吹氮氣(水溫 40°C、載玻片 17°C、中速、凝結盤密度 0.9、5% polystyrene)



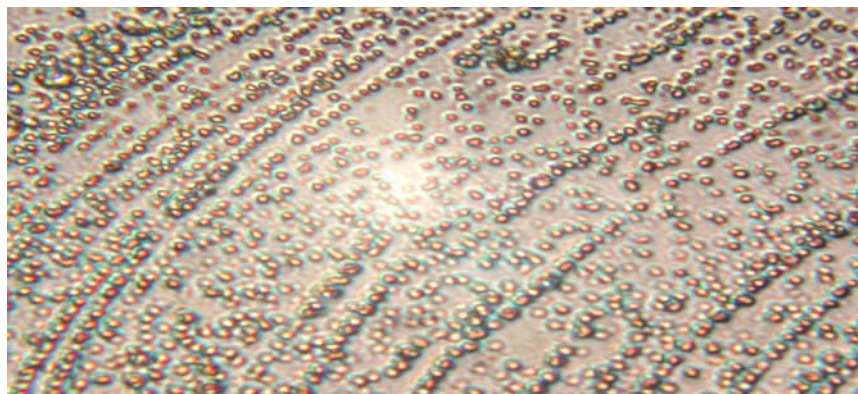
吹氮氣(水溫 40°C、載玻片 19°C、中速、凝結盤密度 0.8、0.1% polystyrene)

伍、凝結盤與水蒸氣氣流間之溫度差對水珠陣列之影響

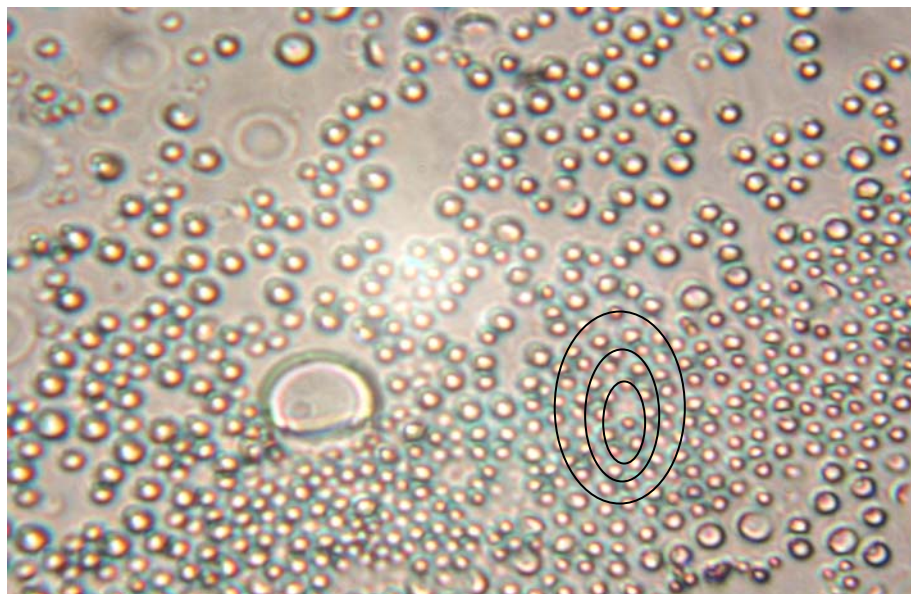
吹氮氣(水溫 20°C、TL5%)



吹氮氣(水溫 25°C、TL5%)



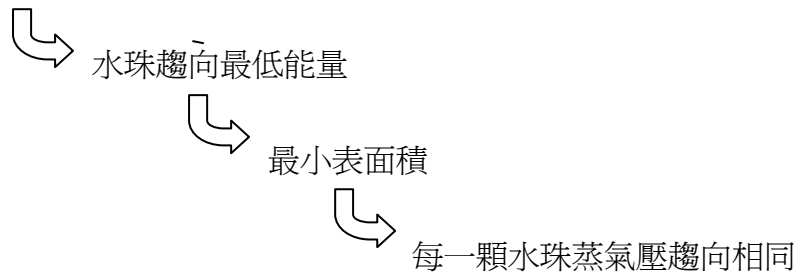
吹氮氣(水溫 30°C、TL5%)



陸、討論

一、 養水

1. 培養水蒸氣產生區中的平衡
2. 平衡意味著蒸氣壓的平衡
3. 蒸氣壓的平衡導致每一水珠趨向最低能量
4. 水蒸氣產生區中的平衡



二、 多層次

1. 利用溶劑之揮發能力降低凝結盤表面溫度
2. 利用揮發後高分子聚合物之薄膜效應圈住 trap 細微水滴
3. 致使細微水低沉降後維持原貌

三、 凝結盤

1. 凝結盤之密度若大於水蒸氣則多層次現象不會產生
2. 凝結盤之溫度與溶液黏滯度及 polystyrene 含量有關

四、 溫度差

1. 原則上溫度差愈大水珠顆粒愈大
2. 每一溶液有自己最佳的溫度差已造成整齊均勻的水珠陣列

五、 擾流

1. 擾流會造成顆粒不均勻，排列不連續。

結 論

壹、自發渦環 Free Vortex Rings

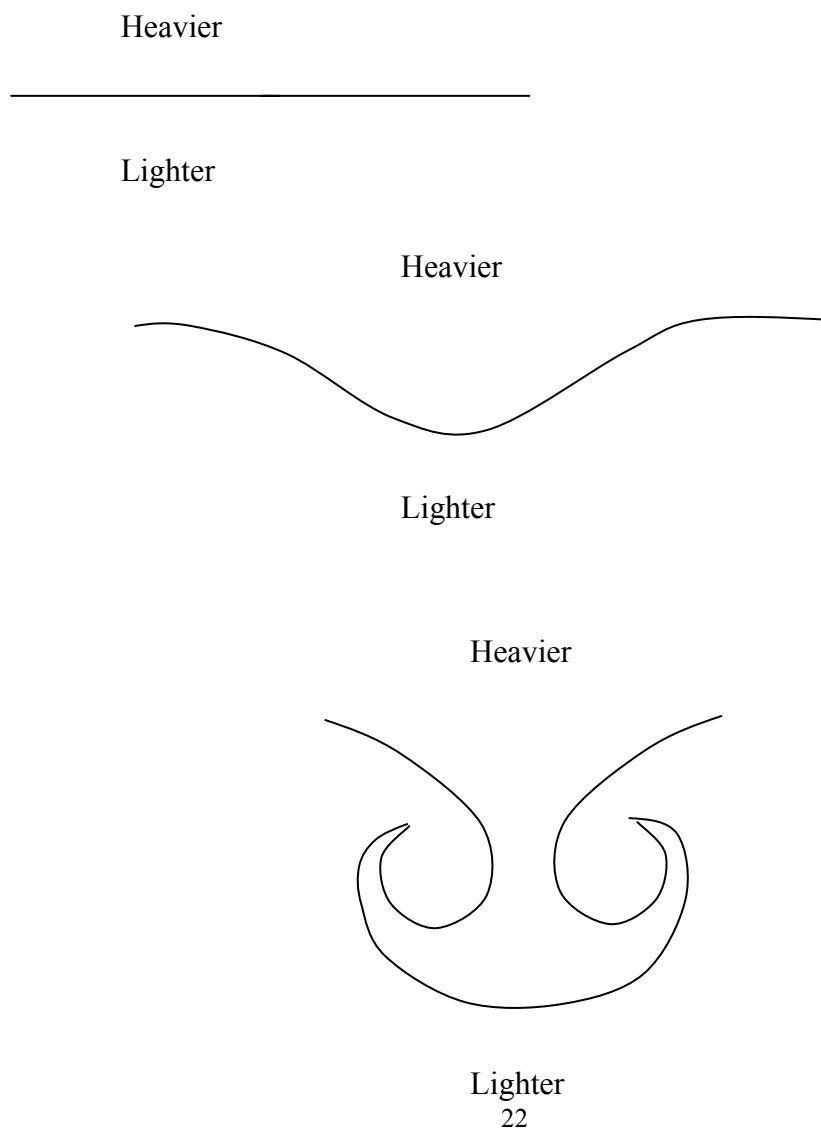
.....*that Nature prefers rolling over sliding*.....by Reynolds

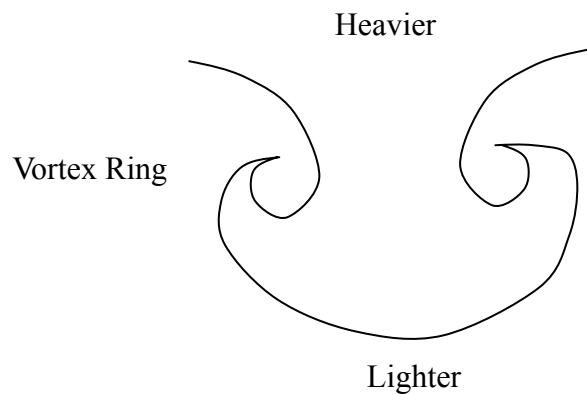
系統中，溫度差或是密度差都能產生 Free vortex ring，當一滴液體滴入液面時，此時會形成 Free Vortex Ring。

Free vortex rings can develop through differences of temperature and density in a fluid and have been cited in connection with Benard cells。

When a drop hits the surface of a liquid，a vortex ring develops。This vortex ring obtains additional kinetic energy from gravity。

貳、由密度差引發的 Vortex Ring





當密度差距不大時，vortex ring 比較明顯。

參、垂直方向上密度差所引起的對流

Vertical Density Flow

當水蒸氣冷凝於液面時，由於密度較大，當集結於一定程度後，衝破液面的表面張力，集結下沉。

At the surface, the condensed water droplets collected to give a higher density than that of polystyrene liquid. This layer is unstable and moves downward.

細微水珠以渦環 (vortex ring) 會聚集結 (Self Assembly)，細微水珠群整層下沉，速度甚快。

The water droplets contained in the down movement and the vortex rings reached the bottom together much more quickly than would the single droplet.

最後形成的三維陣列，層層分明。

The layers could be distinguished from each other.

Flows generated by the density difference of two media can behave in a way similar to heat convection.

在本實驗中，水蒸氣遇冷凝結成細微水珠於液面（polymer film）上，並不同於一滴液體滴入液面。

但是，由於密度差致使細微水滴下沉，仍會產生 Free Vortex Ring。

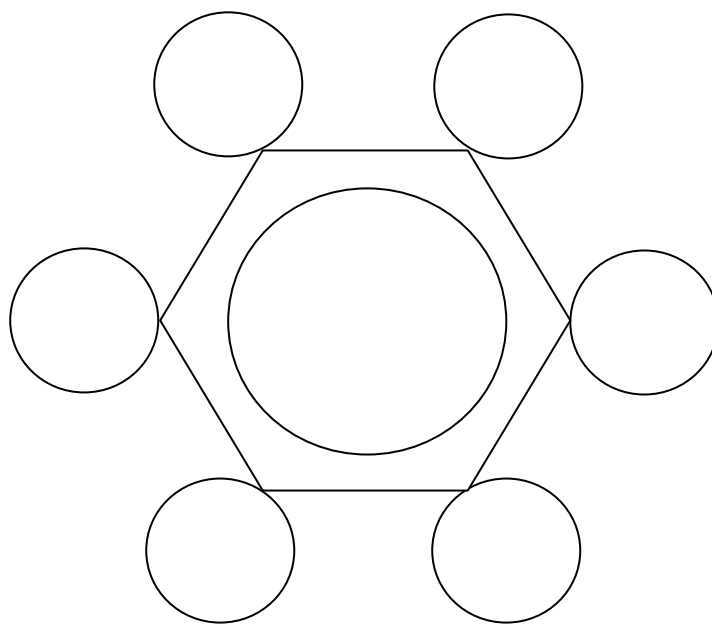
有趣的是：單一細微水珠並非「即到即沉」（成形後立即下沉），這點可由凝結盤（polystyrene film）側剖面觀察出來。

實際的狀況是：單一細微水珠集結（by self assembly）後，於一層滿載時下沉。

肆、分子間熱對流

In convection, Hexagonal vortex cells are called Benard cells。

Hexagonal Lattice formed by Cellular Convection (vortex rings)



在本實驗中，由水蒸氣冷凝成的細微水珠與液面溫度不同（液面溫度低）、密度不同（液面密度小），形成分子熱對流（Cellular Convection），而且因水珠引成的 vortex rings 環環相扣，形成了多邊形狀排列整齊的三維陣列（Hexagonally packed ordered array）。

伍、自我組裝機制（Self Assembly Mechanism）

由 Bioconvection 透過 vortex ring 的形式，自然會聚的規律性。

Bioconvection：

由於通過的水蒸氣與揮發性的溶劑液面存在溫度差異，導致水蒸氣凝結，也產生分子間對流：由水蒸氣凝結成的細微水滴，會聚液面，形成不穩定層，引發對流。

（...concentrated to an unstable layer and cellular convection then be initiated。）特點是：層層清晰可辨。

※ 由於水蒸氣凝結成細微水珠於 polystyrene 液面，造成 polymer film 表面張力的變化，導致 Marangoni Convection 產生。

由實驗結果顯示的整齊排列，實際上全是大自然的傑作，促成了水珠的自我組裝機制。

總結

提出均勻假說

探討細微水珠得以均勻整齊排列的自我組裝機制

一、還原水珠原貌

Water Droplet Unit

這個實驗詳實記錄了水蒸氣分子在液面上冷凝的步驟（condensation），由於細微水珠與當作凝結盤（template）的液體（polymer film）密度不同，得以仔細觀察到未匯聚（coalescence）的水珠（water droplet）原貌。

平常眼睛所見到的水珠，渾圓剔透，送到顯微鏡下，可真難得見到圓形的影像。然而這個實驗深入了解到：

1. 水蒸氣分子在行進中，通常並不會發生堆疊（coalescence），碰撞與堆疊大部分發生於遇到冷凝表面，已產生細微水珠之後。〔這實驗的目標是，不給予細微水珠任何碰撞堆疊（coalescence）的機會〕
2. 細微水珠的最小單位〔至少自空氣中下降到冷凝面的原型〕，得以呈現原貌：由於重力的影響，呈現淚珠形。

二、訂做一顆水珠

Uniform Size of Water Droplet

雖然最小單位 (building block) 的水珠是圓形，但是在 polystyrene (polymer film) 表面可以觀察到多邊形狀 (hexagonally packed) 的整齊排列 (ordered array)，自側面也可以觀察到層次分明的三維陣列。

這意味著：在水蒸氣凝結過程中，能夠得到尺寸相同的水珠 (uniform size of the water droplet)。

1. 通常眼睛看到大小相同的水珠，顯微鏡下並不相同，但是這實驗避開了冷凝面上細微水珠碰撞堆疊的機會，所以可以得到尺寸相同的水珠。
2. 水珠的尺寸可以由水蒸氣的速度與溫度差 (水蒸氣與凝結盤之間) 估計。當水蒸氣速度快時，水珠的尺寸較小。當溫度差距大時，水珠的尺寸較大。

三、水珠的自我組裝機制

Self Assembly Mechanism of Water

水珠的自我組裝機制 (Self Assembly Mechanism) 乃由自發渦環 (Free Vortex Ring) 在穩定狀態下環環相扣產生 (hexagonally packed)，進而層層相疊 (by bio-convection in vertical density flow)，形成三維陣列。