中華民國第63屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組　物理與天文學科

佳作

051814

大珠小珠落鋁盤——探討三重萊頓佛羅斯特效應之液珠碰撞

學校名稱：國立新竹女子高級中學

作者：	指導老師：
高二 王榆辰 高二 洪子琁 高二 鍾苡嫺	李佳玲 趙振盛

關鍵詞：萊頓佛羅斯特效應、碰撞、恢復係數

摘要

本實驗利用自製的鋁板加熱，觀察不同條件下（液珠體積、液珠質量、鋁板溫度），水珠的萊頓佛羅斯特效應。我們找到了水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓佛羅斯特點，依序為 200℃、125℃、120℃。並且發現水珠體積和直徑立方成正比關係、恢復係數和水珠質量成反比關係、直徑立方與溫差乘積與液珠吸收熱能成正比關係。

壹、前言

一、研究動機

在煮飯或吃鐵板燒的時候，發現水珠並不會像一般那樣迅速沸騰消失，而是會形成一顆顆水珠在鐵板上跳動，且有的時候合併，有的時候彈開。後來我們得知這個現象與萊頓佛羅斯特效應有關，且彈跳的產生可能是因為三重萊頓佛羅斯特效應。於是我們決定先從基本的萊頓佛羅斯特效應開始，再逐步延伸探討三重萊頓佛羅斯特效應。

二、研究目的

（一）探討水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓弗羅斯特點

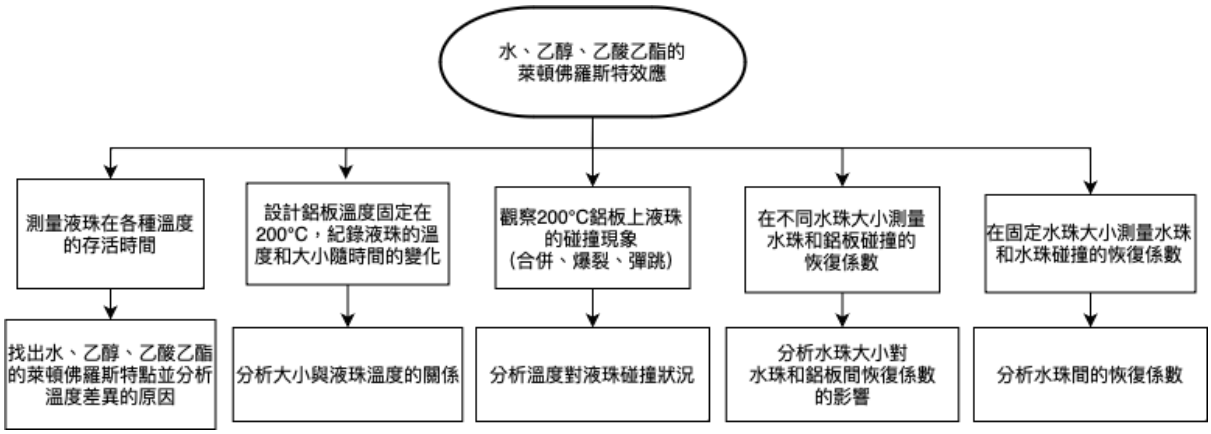
（二）探討水、乙醇、乙酸乙酯液珠隨時間的大小及溫度變化

（三）探討水珠性質

（四）探討三重萊頓佛羅斯特效應

（五）探討水珠大小對三重萊頓佛羅斯特效應的影響

三、研究架構



圖一、研究架構圖（資料來源：研究者繪製）

貳、研究設備及器材

一、實驗器材

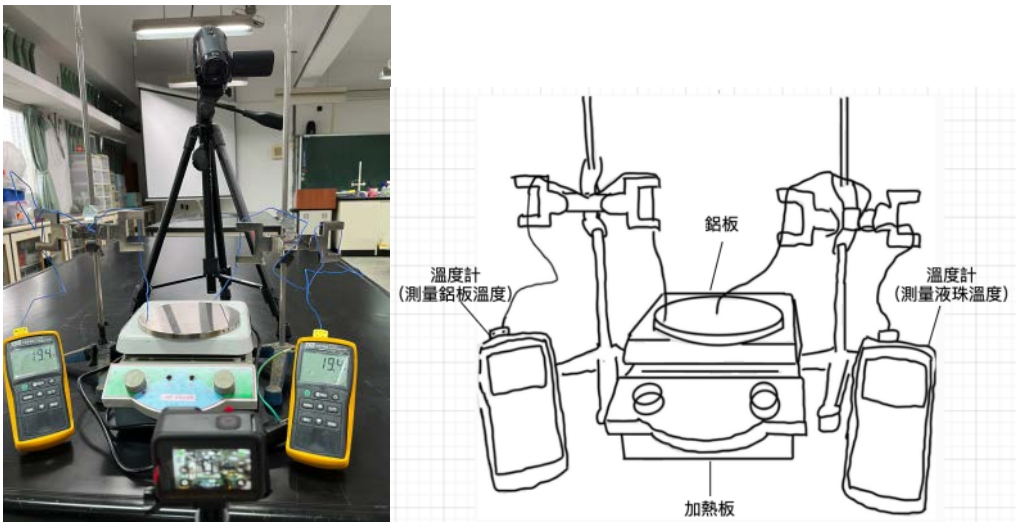
表一、實驗器材（圖片來源：研究者拍攝）

名稱	圖片	規格
電磁加熱攪拌器		JS-H 最高加熱溫度可達 200℃
熱電偶溫度計		一測水珠溫度 一測鋁板溫度
鋁板		材質：鋁 規格：直徑：15cm ；高度：4cm

		向內傾斜與水平面夾 2° 摩擦係數<0.5 μm 上：鋁板側視圖 下：鋁板俯視圖
攝影機		4K 高速攝影機 JVC GZ-RY980HTW
可調式微量吸管		型號：AP-1000 適用範圍 100~1000μl

二、分析方法：Tracker 分析液珠溫度及液珠大小變化、恢復係數

三、實驗裝置：透過 4K 攝影機錄製液珠上方的狀況（含液珠溫度、直徑等）、側面的狀況（含液珠速度可計算恢復係數）。



圖二、實驗裝置圖

四、名詞定義：

（一）存活時間：從液體接觸到鋁板開始計時，直到液珠完全消失在鋁板上為止。

（二）萊頓佛羅斯特點：該液體在發生萊頓佛羅斯特效應穩定（存活最久）的溫度。

（三）自然滴落：由於液體表面張力關係，同一口徑之滴管尖，在僅有重力、表面張力作用下，由滴管滴出之液滴大小為定值。

參、研究過程或方法

一、文獻探討

在[2]、[3]中得到深入關於萊氏效應的研究，了解萊氏效應的成因，並接觸到[1]最初三重效應的研究，即在高溫下液珠的碰撞。並在網路上搜尋到許多相關萊氏效應的研究，我們利用[4]的方法改變滴管口徑的大小，並利用恢復係數來解釋碰撞的情形，最後，我們與以上實驗不同點：找尋液體的萊頓佛羅斯特點、探討水珠在萊氏效應下吸收熱能的狀況、觀察水珠碰撞時的角度及時間等。

二、實驗原理

（一）Leidenfrost effect 萊頓佛羅斯特效應（萊氏效應）

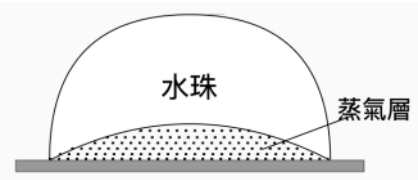
沸騰有以下三種情況：

1、核沸騰：在液體達到自身沸點時，即會開始進行，迅速沸騰並消失

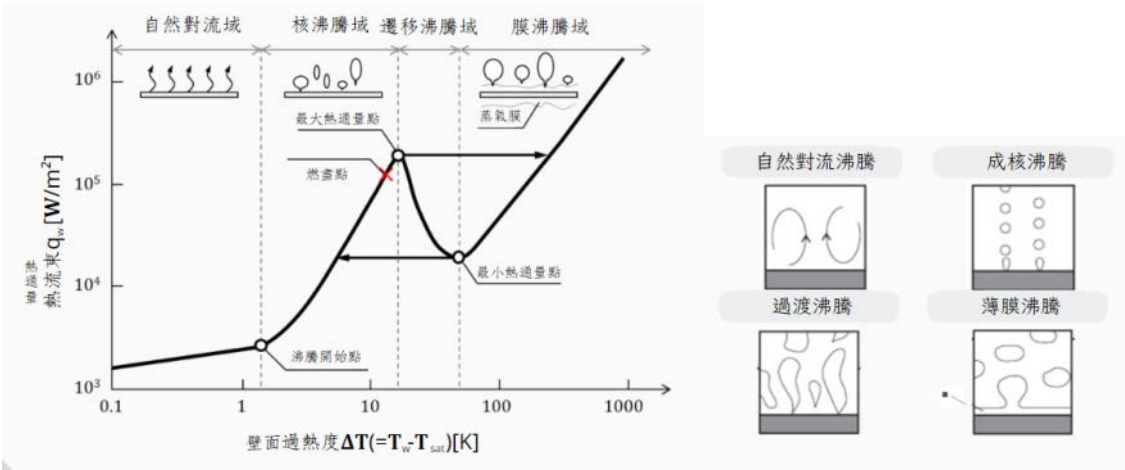
2、過度沸騰：在核沸騰與薄膜沸騰區間，水的下表層開始出現蒸氣層，由於水蒸氣隔熱的效果，因仍是以核沸騰為主，過度沸騰較核沸騰存活時間僅較長一些。

3、薄膜沸騰（膜沸騰）：當萊頓佛羅斯特效應穩定發生時，由於蒸氣層隔熱效果增強，水珠得以存活較久。

在一般未達到萊頓佛羅斯特點的情況下，液體只會普通的蒸發及沸騰。當到達萊頓佛羅斯特點以上時（水約 193°C），下表面的水會開始穩定瞬間沸騰，在水與加熱板間形成一個蒸氣層，而這些水蒸氣具有隔熱的效果（因水蒸氣的熱傳導率大約只有水的 1/10）反而可讓水滴存活更久。



圖三、萊頓佛羅斯特效應示意圖（圖片來源：實驗者繪製）

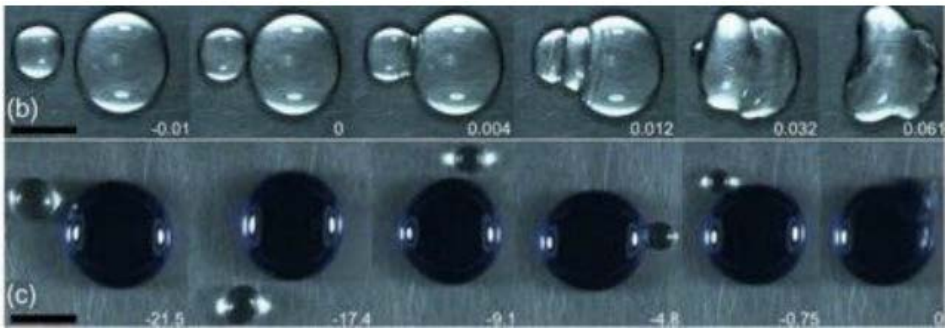


圖四、熱通量對壁面過熱度曲線及水沸騰種類關係圖

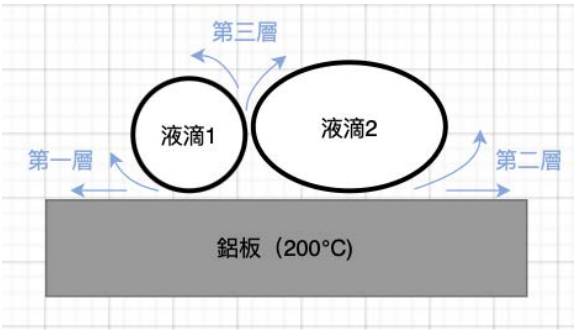
（二）triple Leidenfrost effect 三重萊頓佛羅斯特效應（三重效應）

三重效應中不同的液體間會有彈跳的現象發生（如圖四），由於兩滴液滴具有不同的性質（物質沸點、蒸發速度的差異），以及兩液滴之間的表面發生萊氏效應（如圖五第三層），兩液滴又個別與加熱板產生萊氏效應（如圖四

第一層、第二層），故將此效應稱為——三重萊頓佛羅斯特效應[8]。眾多文獻對效應最終狀態有不同的說法。因此我們想藉由專題研究，探討恢復係數對三重萊頓弗羅斯特效應的關係。



圖五、三重效應實驗圖(圖片來源：Triple Leidenfrost Effect: Preventing Coalescence of Drops ona Hot Plate)



圖六、三重萊頓佛羅斯特效應簡易圖（圖片來源：實驗者繪製）

（三）恢復係數(Coefficient of restitution)

恢復係數即為兩物體分離速度與接近速度比值[5]我們藉由計算恢復係數的方式，研究液珠大小對恢復係數的影響，進而分析液珠在發生三重效應時的運動狀況。

$$C_R = \frac{V_f}{V_i}$$

圖七、恢復係數關係式（圖片來源：恢復係數（Coefficient of restitution），C_R：恢復係數，V_f：分離速度，V_i：接近速度）

二、前置實驗

(一) 製作不同口徑之微量滴管管套

1、目的：控制滴管滴出固定大小的水珠，以利實驗五進行[4]

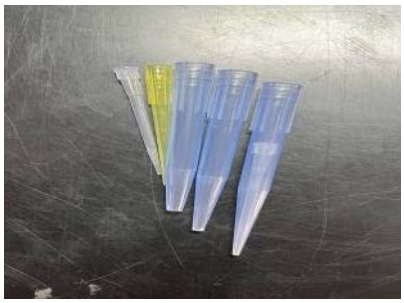
2、步驟：

（1）利用剪刀將滴管尖剪成：未剪裁、剪 0.5cm、剪 1.0cm

（2）將滴管尖裝在微量滴管上並自然滴落水滴，滴十次並測量液體總質量

（3）除以十得知此管套滴出之水滴平均質量

（4）重複步驟 1 到步驟 3，製作三種口徑之微量滴管尖



圖八、微量滴管管套（由右至左：藍頭未剪、藍頭剪 0.5cm、藍頭剪 1.0cm、黃頭、白頭）

3、結果：藍頭未剪之平均質量：0.0218g；藍頭剪 0.5cm 之平均質量：0.032g；藍頭剪 1.0cm 之平均質量：0.0484g；黃頭之平均質量：0.0158g；白頭之平均質量：0.0146g

三、探討水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓弗羅斯特點

（一）實驗動機：找到個別液體溫度的萊頓佛羅斯特點，並分析可能影響萊頓佛羅斯特點的因素。

（二）實驗變因：

1、操作變因：鋁板溫度

2、應變變因：水、乙醇、乙酸乙酯在鋁板上的萊頓佛羅斯特效應

3、控制變因：三種液體滴下的液珠量（250μl)

（三）實驗步驟：

1、在三個燒杯中裝水（沸點:100℃）、乙醇（沸點:78.37℃）、乙酸乙酯（沸點:77.1℃）各 50ml

2、待鋁板加熱至高於該液體沸點時，以微量滴管滴入 250μl 之液體開始計時

3、待液珠完全消失後暫停，紀錄時間，每組溫度重複三次取平均值

4、依次上升 10℃至 250℃，繪製圖表並分析數據

5、重複步驟 2 至步驟 4 三遍

6、改變液體，並重複步驟 2 至步驟 5

四、探討水、乙醇、乙酸乙酯液珠隨時間的大小及溫度變化

（一）實驗動機：觀察三種液體（水、乙醇、乙酸乙酯）液珠大小、溫度變化，並比較三者之間的差別。

（二）實驗變因：

1、操作變因：不同種液體（水、乙醇、乙酸乙酯）

2、應變變因：液珠的大小變化、溫度變化

3、控制變因：三種液體滴下的液珠量(250μl)、鋁板溫度(200℃)

（三）實驗步驟：

1、在三個燒杯中裝水、乙醇、乙酸乙酯各 50ml

2、待鋁板至 200°C，以微量滴管滴入 250μl 之液體，開始計時並以攝影機記錄

3、每隔 10s 記錄一次液珠大小（測量半徑）及瞬時溫度，繪製圖表並分析數據

4、重複步驟 2 至步驟 3 三遍

5、改變液體，並重複步驟 2 至步驟 5

五、探討水珠性質

（一）實驗動機：

由實驗二中，我們觀測到當水珠越變越小時，水珠會漸漸附著在熱電偶溫度計上，使水珠離開加熱板表面，無法受熱導致實驗誤差。為驗證是否在同一鋁板溫度時，較小的液珠有較低的溫度，因此設計本實驗。

（二）實驗變因：

1、操作變因：水珠大小(100μl、150μl、200μl、250μl)

2、應變變因：水珠的直徑和體積關係、水珠直徑和溫度、水珠的體積

3、控制變因：鋁板溫度(200℃)

（三）實驗步驟：

1、在燒杯中裝水 50ml

2、待鋁板加熱至 200℃，以微量滴管滴入 100μl 之液體，計時並以攝影機記錄

3、每隔 10 秒鐘記錄一次液珠直徑及瞬時溫度，繪製圖表並分析數據

4、與實驗二相同時間之數據進行比對，比較兩者溫度差異。

六、探討三重萊頓佛羅斯特效應

（一）實驗動機：根據文獻，我們推測三重效應的發生與兩液體間的蒸氣層有關，因此我們決定藉由鋁板溫度的改變來探討兩液珠在高溫下的碰撞情形。

（二）實驗變因：

1、操作變因：鋁板溫度

2、應變變因：碰撞的狀況

3、控制變因：液珠的大小

（三）實驗步驟：

1、在燒杯中裝水 50ml

2、待鋁板加熱至 200℃（水萊頓佛羅斯特點），以滴管滴入始計時並以攝影機記錄

3、觀測水珠間的運動情形（碰撞幾次、幾秒後融為一體等），記錄運動狀態

4、每個溫度重複步驟 2 至步驟 3 十次，歸納該溫度下的運動特徵

5、依次上升 10℃至 250℃

七、探討水珠大小對三重萊頓佛羅斯特效應的影響

（一）實驗動機：我們猜想，水珠大小會造成恢復係數的差異，或許發生三重效應時會有不同的運動狀況。為驗證此想法，我們改變一次滴入的液體量，觀察水珠大小對恢復係數的影響。

（二）實驗變因：

1、操作變因：水珠大小（利用不同口徑大小之微量滴管尖）

2、應變變因：不同水珠大小對恢復係數的影響

3、控制變因：鋁板溫度(200℃)

（三）實驗步驟：

1、在燒杯中裝水 50ml

2、待鋁板加熱至 200℃（水萊頓佛羅斯特點），以不同口徑大小微量滴管尖滴入水，並以攝影機記錄

3、觀測水珠的運動情形，記錄運動狀態

4、每個大小重複 2 至 3 三次，計算該溫度下水珠的恢復係數

肆、研究結果與討論

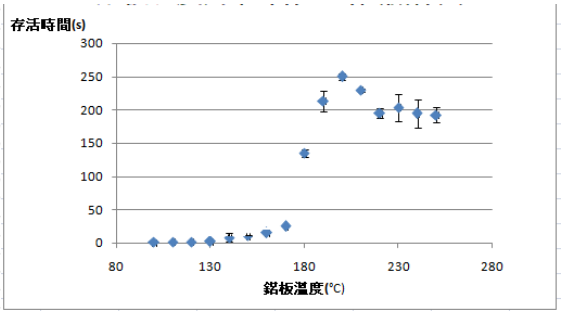
一、探討水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓弗羅斯特點

（一）水

我們測量 250μl 的水珠在溫度 100°C到 250°C的鋁板上可以存活的時間，整理數據如表二且用數據畫出圖八，由圖八可以看出從鋁板溫度為 140°C開始，水珠的存活時間逐漸增長，因此 140°C時水珠開始發生萊氏效應，而且鋁板溫度為 200°C時，水珠存活時間最久，約為 250 秒，因此可以知道 200°C為水的萊頓佛羅斯特點。

表二（左）：水珠存活時間對鋁板溫度實驗數據

水250μl	第一次	第二次	第三次		
溫度（°C）	秒數（s）	秒數（s）	秒數（s）	最佳估計值	不確定度
100	0.77	1.25	0.63	0.89	0.19
110	1.34	1.54	0.78	1.22	0.23
120	1.68	1.37	0.92	1.33	0.23
130	2.04	2.13	2.55	2.24	0.16
140	2.05	2.62	20.20	8.2	6.0
150	9.47	10.56	12.00	10.68	0.74
160	15.93	14.42	14.75	15.04	0.46
170	24.81	24.43	25.46	24.9	0.31
180	129.14	130.67	145.24	135.5	5.2
190	242.54	206.82	190.30	213	15
200	241.36	253.43	255.02	249.9	4.4
210	225.80	234.55	229.44	229.9	2.6
220	182.10	199.61	203.57	195.1	6.6
230	240.64	169.90	200.06	203	20
240	235.08	185.42	163.70	194	21
250	182.02	180.60	214.62	192	12



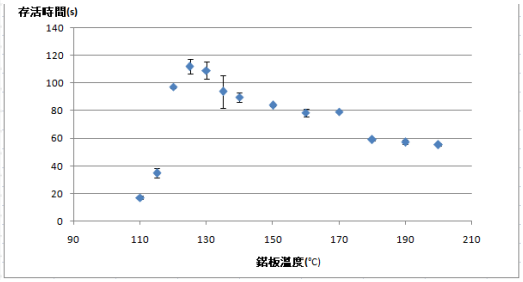
圖九（右）、水珠存活時間對鋁板溫度關係圖

（二）乙醇

我們測量 250μl 的乙醇液珠在溫度 110°C到 200°C的鋁板上可以存活的時間，整理數據如表三且用數據畫出圖九，由圖九可以看出從鋁板溫度為 110°C開始，乙醇液珠的存活時間逐漸增長，因此 110°C時乙醇液珠開始發生萊頓佛羅斯特效應，而且鋁板溫度為 125°C時，乙醇液珠存活時間最久，約為 112 秒，因此可以知道 125°C為乙醇液珠的萊頓佛羅斯特點。

表三（左）：乙醇存活時間對鋁板溫度實驗數據

乙醇250μl	第一次	第二次	第三次		
溫度（°C）	秒數（s）	秒數（s）	秒數（s）	最佳估計值	不確定度
110	14.45	18.45	34.11	22	6
115	29.34	40.85	214.62	94.94	59.94
120	97.23	98.56	95.55	97.12	0.88
125	101.40	118.80	115.10	111.8	5.3
130	101.10	105.42	121.01	109.2	6.1
135	116.83	77.35	87.30	94	12
140	95.53	84.44	89.11	89.7	3.3
150	85.70	83.50	82.24	83.8	1.1
160	77.96	83.51	74.27	78.6	2.7
170	79.71	79.36	78.63	79.24	0.32
180	59.84	58.18	59.10	59.04	0.49
190	60.38	54.54	56.62	57.18	1.71
200	55.30	56.92	53.65	55.29	0.95



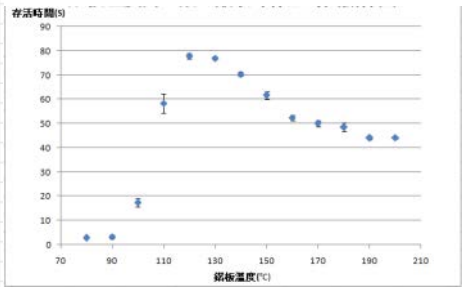
圖十（右）、乙醇存活時間對鋁板溫度關係圖

（三）乙酸乙酯

我們測量 250μl 的乙酸乙酯液珠在溫度 80°C到 200°C的鋁板上可以存活的時間，整理數據如表四且用數據畫出圖十，由圖十可以看出從鋁板溫度為 100°C開始，乙酸乙酯液珠的存活時間逐漸增長，因此 100°C時乙酸乙酯液珠開始發生萊頓佛羅斯特效應，而且鋁板溫度為 120°C時，乙酸乙酯液珠存活時間最久，約為 77.8 秒，因此可以知道 120°C為乙酸乙酯液珠的萊頓佛羅斯特點。

表四（左）：乙酸乙酯存活時間對鋁板溫度實驗數據

乙酸乙酯250μl	第一次	第二次	第三次		
溫度（°C）	秒數（s）	秒數（s）	秒數（s）	最佳估計值	不確定度
80	3.43	2.68	2.48	2.86	0.29
90	4.44	3.19	2.22	3.28	0.65
100	13.82	19.82	18.52	17.4	1.9
110	50.38	62.85	61.67	59	4
120	78.48	79.11	75.72	77.8	1.1
130	76.02	78.56	76.4	76.99	0.69
140	72.07	70.6	68.52	70.4	0.9
150	63.43	63.67	57.94	61.7	1.7
160	50.51	54.83	52.08	62.5	1.1
170	49.88	47.91	52.4	50.1	1.3
180	48.15	51.93	45.77	48.6	1.8
190	45.19	43.62	43.42	44.08	0.56
200	43.06	45.04	44.4	44.17	0.59



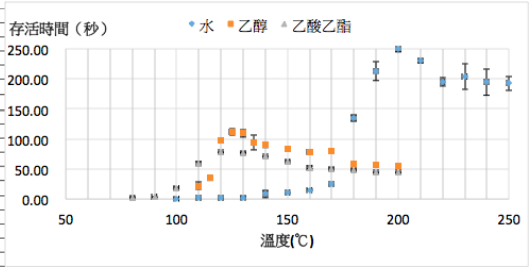
圖十一（右）、乙酸乙酯存活時間對鋁板溫度關係圖

整理表二至表四的數據如表五且用數據畫出圖十一，從圖十一中我們可以看出水、乙醇、乙酸乙酯之萊頓佛羅斯特點依序為：200°C、125°C、120°C，加上文獻的佐證，我們推測造成三者萊頓佛羅斯特點差異的原因為：沸點、揮發性（汽化熱越低者，揮發性越高），水、乙醇、乙酸乙酯在常溫常壓下的沸點依序為：100°C、78.3°C、77.1°C，而汽化熱依序為：2260J/g、855J/g、366.5J/g，水由於沸點、汽化熱皆較高，需要提供較高的熱能才得以進行穩定的萊頓佛羅斯特效應，故萊頓佛羅斯特點是三者

中最高的，而乙醇與乙酸乙酯的沸點相近，而乙醇的汽化熱大於乙酸乙酯，因此乙醇所需的熱能高於乙酸乙酯，故乙醇的萊頓佛羅斯特點略高於乙酸乙酯。

表五（左）：水、乙醇、乙酸乙酯存活時間對鋁板溫度實驗數據

水的存活時間（秒）			乙醇的存活時間（秒）			乙酸乙酯的存活時間（秒）		
溫度（℃）	最佳估計值	不確定度	溫度（℃）	最佳估計值	不確定度	溫度（℃）	最佳估計值	不確定度
100	1	1	110	22	6	80	3	1
110	1	1	115	35	4	90	3	1
120	1	1	120	97	1	100	17	2
130	2	1	**125**	**112**	6	110	58	4
140	8	6	130	109	6	**120**	**78**	1
150	11	1	135	94	12	130	77	1
160	15	1	140	90	4	140	70	1
170	25	1	150	84	1	150	62	2
180	135	6	160	79	3	160	52	2
190	213	16	170	79	1	170	50	2
200	**250**	5	180	59	1	180	49	2
210	230	3	190	57	2	190	44	1
220	195	7	200	55	1	200	44	1
230	204	21						
240	195	22						
250	192	12						



圖十二（右）、水、乙醇、乙酸乙酯存活時間對鋁板溫度關係圖

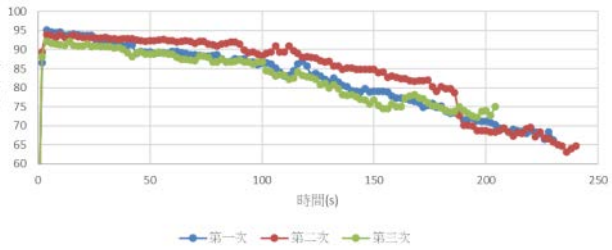
二、探討水、乙醇、乙酸乙酯液珠隨時間的大小及溫度變化

（一）水

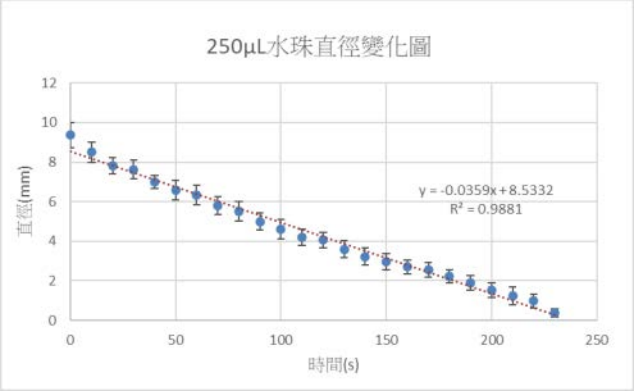
我們將 250μl 的水珠滴在溫度固定在 200℃的鋁板中央，測量水珠溫度隨時間的變化情況，整理數據如表六且用數據畫出圖十二，由圖十二可以看出從 0 到 10 秒，水珠溫度快速上升至約 95℃，100 秒之後水珠溫度隨著時間而逐漸下降，大約 200 秒後水珠汽化消失。這個實驗過程，我們同時攝影紀錄水珠影像，並影像處理得到水珠直徑，如圖十三所示，我們找到水珠直徑 y(mm)和時間 x(s)的關係式 y=-0.0359x+8.5332，R^2=0.9881，水珠直徑隨著時間增加而逐漸變小，約在 237.7 秒左右，水珠會完全汽化。

表六（左）：水珠溫度對時間實驗數據

水250μl	溫度（℃）					
秒數(s)	第一次	第二次	第三次	第四次	最佳估計值	不確定度
0	25	25	25	25	25	0
10	94.2	93.8	93.5	91.1	93.15	0.70
20	94.5	93.8	93.3	90.8	93.10	0.81
30	94.3	91.9	93.3	90.7	92.55	0.79
40	94.3	91.4	93	88.8	91.9	1.2
50	94.5	89.4	92.3	88.8	91.3	1.4
60	94.5	89.7	92.3	88.9	91.4	1.3
70	94.1	88.8	91.8	87.2	90.5	1.5
80	93.2	88.8	91	86.8	90.0	1.4
90	93.2	87.9	90	87.3	89.6	1.4
100	93.1	86.3	88.9	85.8	88.5	1.7
110	91	83.1	89.3	83.1	86.6	2.1
120	91	84.7	88.3	82.8	86.7	1.9
130	89.8	82.1	86.9	80.1	84.7	2.3
140	89.1	79	85.1	78.9	83.0	2.5
150	87	78.8	84.2	76.7	81.7	2.4
160	87.3	77.4	82.3	75	80.5	2.8
170	86.7	76.1	81.7	77	80.4	2.5
180	85.9	74.3	80.3	74.7	78.8	2.7
190	82.5	71.9	69.7	74	74.5	2.8
200	81.1	70.7	68.8	72.8	73.4	2.8
210	70.7	69.7	68.2		69.53	0.83
220	62.9	68.9	69.9		67.2	1.9
230		68.3	65.8		71.60	0.18



圖十三（右）、水珠溫度對時間關係圖



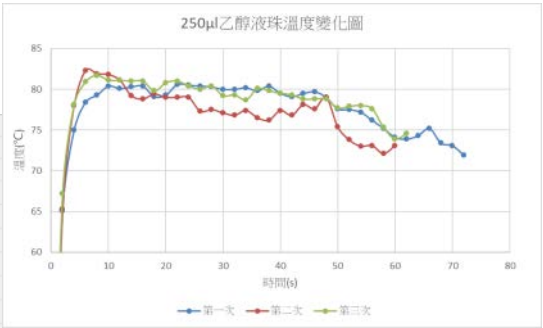
圖十四、水珠直徑對時間關係圖

（二）乙醇

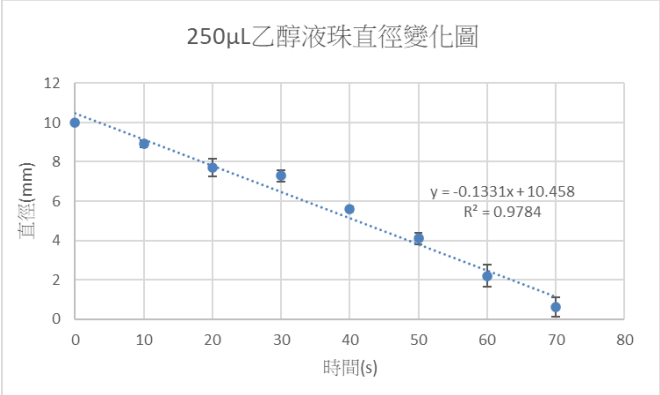
我們將 250μl 的乙醇液珠滴在溫度固定在 200℃的鋁板中央，測量乙醇液珠溫度隨時間的變化情況，整理數據如表七且用數據畫出圖十四，由圖十四可以看出從 0 到 40 秒，乙醇液珠溫度快速上升至約 80℃，40 秒之後乙醇液珠溫度隨著時間而逐漸下降，大約 60 秒後乙醇液珠汽化消失。這個實驗過程，我們同時攝影紀錄乙醇液珠影像，並影像處理得到乙醇液珠直徑，如圖十五所示，我們找到直徑 y(mm)和時間 x(s)的關係式 y=-0.1331x+10.458，R^2=0.9784，乙醇液珠直徑隨著時間增加而逐漸變小，約在 78.6 秒左右，乙醇液珠會完全汽化。

表七（左）：乙醇液珠溫度對時間實驗數據

乙醇250μl	溫度(°C)				
秒數(s)	第一次	第二次	第三次	最佳估計值	不確定度
0	25	25	25	25	0
10	80.4	81.1	81.1	80.87	0.21
20	79.5	79.2	81	79.90	0.49
30	80.1	76.6	79.3	78.67	0.92
40	79.1	76.1	79.3	78.17	0.90
50	71.6	75.3	77.9	74.9	1.6
60	73.5	74.5	73.9	73.97	0.26



圖十五（右）、乙醇液珠溫度對時間關係圖



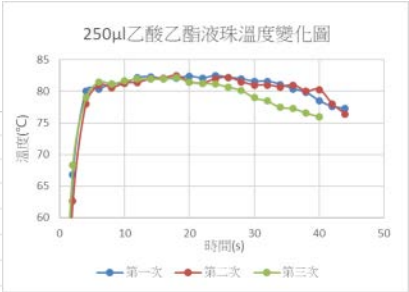
圖十六、乙醇液珠直徑對時間關係圖

（三）乙酸乙酯

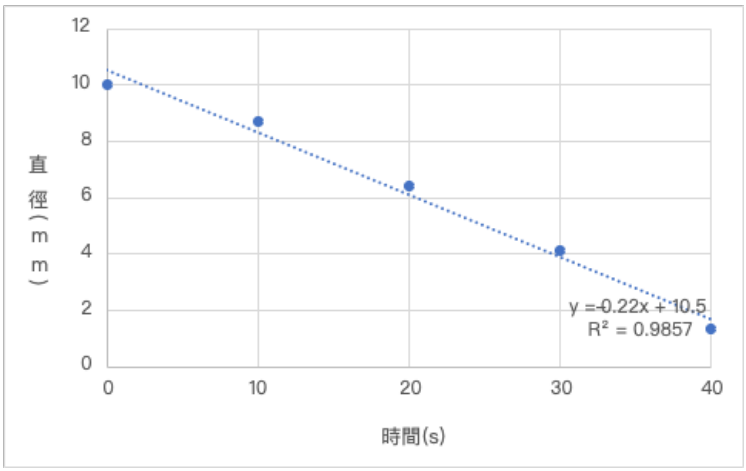
我們將 250μl 的乙酸乙酯液珠滴在溫度固定在 200℃的鋁板中央，測量乙酸乙酯液珠溫度隨時間的變化情況，整理數據如表八且用數據畫出圖十六，由圖十六可以看出從 0 到 3 秒，乙酸乙酯液珠溫度快速上升至約 80℃，30 秒之後乙酸乙酯液珠溫度隨著時間而逐漸下降，大約 40 秒後乙酸乙酯液珠汽化消失。這個實驗過程，我們同時攝影紀錄乙酸乙酯液珠液珠影像，並影像處理得到乙酸乙酯液珠液珠直徑，如圖十七所示，我們找到直徑 y(mm)和時間 x(s)的關係式：$y=-0.22x + 10.5$，$R^2 = 0.9857$，乙酸乙酯液珠直徑隨著時間增加而逐漸變小，約在 40 秒左右，乙酸乙酯液珠會完全汽化。

表七（左）：乙酸乙酯液珠溫度對時間實驗數據

乙酸乙酯250μl	溫度(°C)				
秒數(s)	第一次	第二次	第三次	最佳估計值	不確定度
0	25	25	25	25	0
10	81.3	81.2	81.1	81.20	0.06
20	82.4	81.5	81.9	81.94	0.23
30	81.6	80.8	79.8	80.74	0.46
40	78.8	78.8		79	0



圖十七（右）、乙酸乙酯液珠溫度對時間關係圖



圖十八、乙酸乙酯液珠直徑對時間關係圖

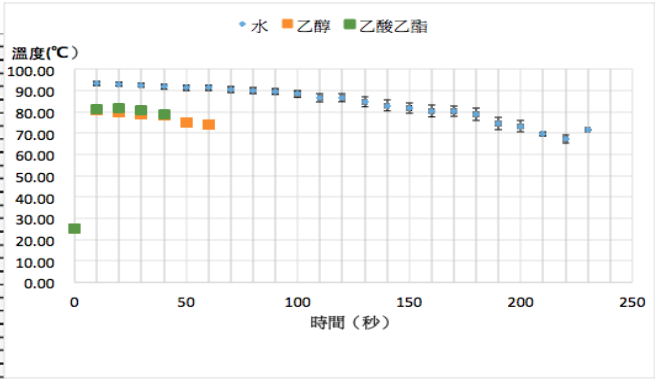
將表五至七整理數據如表八且用數據畫出圖十八，由圖十八比較此實驗中乙醇的實驗數據，可以發現乙醇的液珠溫度明顯比水珠溫度低，我們推測這或許和物質的沸點、汽化熱有關。

與此同時，由圖十八可知，乙酸乙酯的液珠溫度相近於乙醇，乙醇與乙酸乙酯的存活時間卻相差約略十秒，我們推測這和兩者的汽化熱差異有關。根據網路上資料，乙醇的汽化熱為 855J/g，大於乙酸乙酯的 366.5J/g。在沸點及萊頓佛羅斯特點近乎相近的情況下，他們的 10s 後的溫度幾乎相同。而在之後加熱板的穩定供熱下(先假設他們的熱傳導功率相等)，根據兩者的汽化熱可以推測，單位時間內乙醇的蒸發量會小於乙酸乙酯，因此也就可以得出乙酸乙酯的存活時間較乙醇短。此外，我們也可以利用這個推測，去推敲他穩定供的熱量值(不過，必須將熱傳導功率差異考慮進去:需先求初分別的接觸面積(乙酸乙酯的需用橢圓形面積公式計算)，並帶入實驗三所提及的熱傳導公式，觀察他的斜率並比較)。

而水珠溫度之所以會下降，是因為水滴落在加熱板的瞬間，水珠被快速加熱，導致蒸氣層產生，進行薄膜沸騰。而依照之前的實驗結果判斷，200 度接近水在我們這個加熱版的萊頓弗羅斯特點，利用網路上熱傳導功率對壁面過熱度的曲線可以發現，此時的熱傳導效率較低，所以水溫難以上升。而過程中水分子不斷沸騰，帶走水珠本身的熱，因而導致水珠溫度不升反降。

表八（左）：液珠溫度對水、乙醇、乙酸乙酯存活時間實驗數據

250μl水的溫度（℃）			250μl乙醇的溫度（℃）			250μl乙酸乙酯的溫度（℃）		
秒數(s)	最佳估計值	不確定度	秒數(s)	最佳估計值	不確定度	秒數(s)	最佳估計值	不確定度
0	29.0	0.0	0	29.0	0.0	0	29.0	0.0
10	93.2	0.7	10	80.8	0.3	10	81.2	0.1
20	93.1	0.9	20	79.9	0.5	20	81.9	0.2
30	92.6	0.8	30	78.7	1.0	30	80.7	0.5
40	91.9	1.2	40	78.2	1.0	40	78.8	0.0
50	91.3	1.4	50	74.9	1.6			
60	91.4	1.3	60	74.0	0.3			
70	90.5	1.6						
80	90.0	1.4						
90	89.6	1.4						
100	88.5	1.7						
110	86.6	2.0						
120	86.7	1.9						
130	84.7	2.3						
140	83.0	2.5						
150	81.7	2.4						
160	80.5	2.8						
170	80.4	2.5						
180	78.8	2.8						
190	74.5	2.8						
200	73.4	2.8						
210	69.5	0.7						
220	67.2	1.9						
230	71.6	0.2						



圖十九（右）、液珠溫度對水、乙醇、乙酸乙酯存活時間關係圖

不過後來我們整理資料後發現，乙醇和乙酸乙酯的最高溫度竟然大於他們的沸點。根據以往的經驗，我們推測說這可能和板溫過高有關(板溫過高是相對於萊頓佛羅斯特點)。因此我們之後另外分別在他們的萊頓佛羅斯特點下測量它們隨時間的溫度變化。

三、探討水珠性質

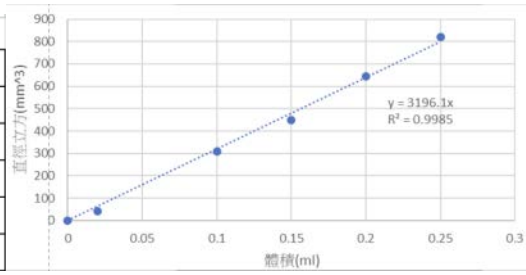
（一）水珠的直徑和體積關係

我們測量體積為 100μl、150μl、200μl、250μl 的水珠直徑，整理數據如表九且用數據畫出圖十九，由圖十九可以發現：

我們藉由測量影像半徑，利用體積和直徑關係式，便可以推測水珠的體積，因此我們可以將水珠直徑隨時間變化關係圖（圖十三）修改成為水珠體積隨時間變化關係圖，如圖十九所示，圖中趨勢線公式可以知道體積 250μl 的水珠在 200℃的鋁盤上，水珠的體積和時間的關係式：水珠直徑立方(mm^3)和體積(cm^3)關係式：$y = 3196.1x$，R^2=0..9985。

表九（左）：直徑平方、直徑立方對液珠體積實驗數據

直徑(mm)	直徑平方(mm2)	直徑立方(mm3)	體積(cm3)
0.00	0.00	0.00	0.00
3.50	12.25	42.88	0.02
6.75	45.58	307.75	0.10
7.65	58.56	448.14	0.15
8.64	74.64	644.86	0.20
9.36	87.59	819.70	0.25



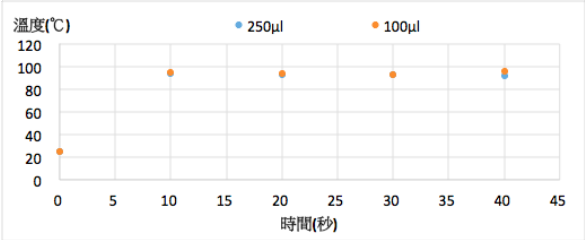
圖二十（右）、水珠直徑立方對水珠體積關係圖

（二）水珠直徑和溫度

我們分別滴入 100μl、250μl 的水珠到 200℃的鋁板中央，測量水珠的溫度和半徑隨時間的關係，整理數據如表十且用數據畫出圖二十，由圖二十可以發現 100μl 和 250μl 的水珠在 40 秒內均會由室溫上升至約 93℃左右。

表十（左）：液珠溫度對液珠大小實驗數據

	水250μl	水250μl	水100μl	水100μl
秒數(s)	直徑(mm)	溫度(°C)	直徑(mm)	溫度(°C)
0	9.36	25.00	4.00	25.00
10	8.50	93.15	2.37	94.53
20	7.82	93.10	1.58	93.53
30	7.62	92.55	1.05	92.77
40	7.01	91.88	0.39	95.90



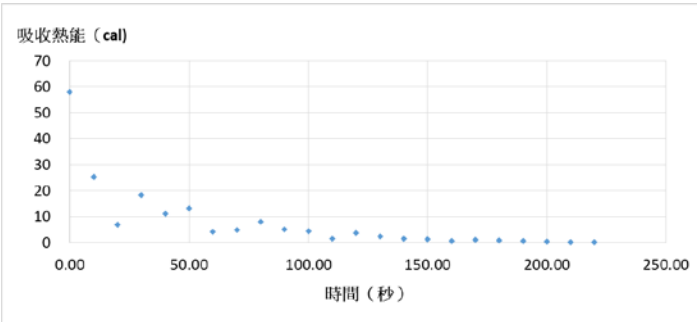
圖二十一（右）、液珠溫度對液珠大小關係圖

（三）水珠的體積

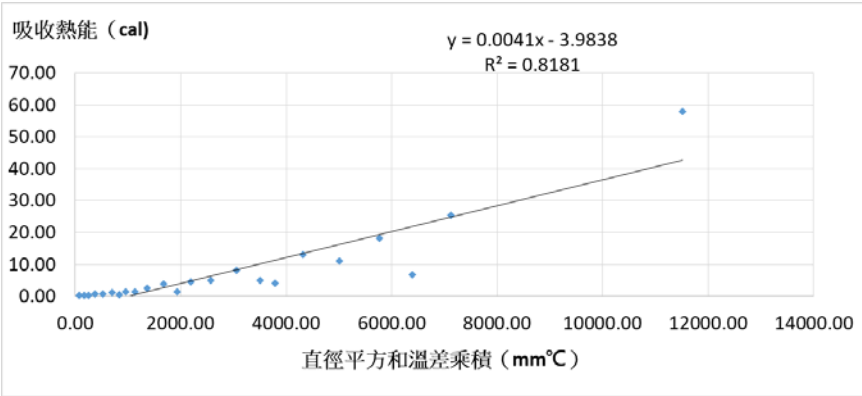
我們將 250μl 的水珠滴在溫度固定在 200℃的鋁板中央，測量水珠溫度隨時間的變化情況，整理數據如表十一且用數據畫出圖二十一、圖二十二，由圖二十一可以看出隨著時間越長，水珠吸收熱能越少，由圖二十二可以發現直徑平方與溫差乘積 x 和液珠吸收熱能 y 成正比，並得到關係式：y=0.0041x-3.9838，R^2=0.8181，加熱板傳導給水珠的能量=水珠吸收能量+其他散失，水珠吸收能量造成水珠溫度改變和汽化。

表十一（左）：水珠溫度隨時間的變化情況

秒數(s)	直徑(mm)	溫度(℃)	溫差(℃)	直徑平方(mm^2)	溫差直徑平方	體積cm^3	體積變化cm^3	吸能(卡)	吸能(卡)/溫差(℃)
0	9.36	25.00	175.00	87.59	15320.12	0.241	0.071		
10	8.50	93.15	106.85	72.18	7725.13	0.210	0.046	57.90	0.10
20	7.82	93.10	106.90	61.16	6539.64	0.164	0.015	25.32	0.06
30	7.62	92.55	107.45	58.06	5772.68	0.152	0.033	6.77	0.02
40	7.01	91.88	108.12	49.14	5313.19	0.118	0.020	18.20	0.04
50	6.58	91.25	108.75	43.34	4712.45	0.098	0.024	11.05	0.03
60	6.30	91.35	108.65	39.69	4313.09	0.084	0.006	13.06	0.03
70	5.79	90.48	109.52	33.50	3668.10	0.067	0.009	4.11	0.01
80	5.52	89.95	110.05	30.42	3348.21	0.058	0.015	4.88	0.01
90	5.00	89.60	110.40	24.99	2759.67	0.043	0.009	8.08	0.02
100	4.61	88.53	111.47	21.25	2369.49	0.034	0.008	5.05	0.01
110	4.35	86.63	113.38	17.63	1998.75	0.025	0.003	4.48	0.01
120	4.06	86.70	113.30	16.45	1679.22	0.022	0.002	1.39	0.00
130	3.80	84.73	115.28	12.97	1358.68	0.016	0.004	3.76	0.01
140	3.23	83.03	116.98	10.44	1136.22	0.012	0.002	2.46	0.01
150	2.98	81.68	118.33	8.89	962.77	0.009	0.002	1.37	0.00
160	2.70	80.50	119.50	7.31	831.22	0.007	0.001	1.28	0.00
170	2.57	80.38	119.62	6.59	694.47	0.006	0.002	0.55	0.00
180	2.23	78.80	121.20	4.96	526.45	0.004	0.001	1.12	0.00
190	1.96	74.50	125.50	3.60	373.05	0.002	0.001	0.90	0.00
200	1.52	73.35	126.65	2.32	247.84	0.001	0.001	0.64	0.00



圖二十二（右）、水珠吸收熱能對時間關係圖



圖二十三液珠吸收熱能對直徑平方與溫差乘積關係圖

當我們所研究的介質是一段兩端溫度恆定、均勻的一維介質時，積分得到的熱傳導功率為：

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

圖二十四、介質熱傳導功率計算（資料來源：https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%83%AD%E4%BC%A0%E5%AF%BC）

定義k為鋁板熱傳導係數，A為直徑平方（ 截面積），□T 為水珠溫度對鋁板溫度的差值，□□為蒸氣層厚度，□Q 為能量差，□t **為時間差**

四、探討三重萊頓弗羅斯特效應

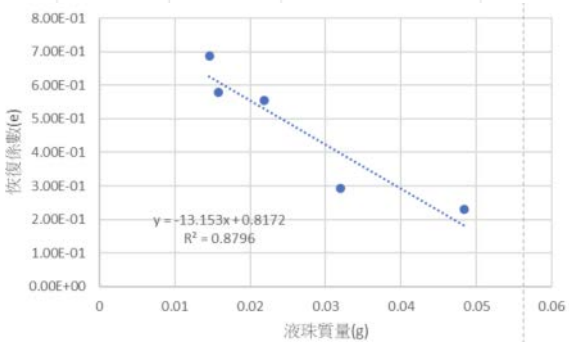
我們觀察水珠碰撞，發現水珠在加熱板溫度 190 到 240℃之間，若水珠碰撞會發生合併、爆裂、彈跳現象，在 190℃時多為直接合併後爆裂，對此我們認為是因為鋁板溫度不夠高所導致的；200℃時碰撞特別久、穩定，對此我們認為是鋁板溫度恰為水之萊頓佛羅斯特點，使水珠穩定發生萊頓佛羅斯特效應；210℃時，同樣彈的穩定、久；而隨著鋁板溫度的上升，我們發現水珠產生的聲音有下降的趨勢，原先 190℃的ㄅㄅ聲，在 240℃時幾乎沒有。

五、探討水珠大小對三重萊頓弗羅斯特效應的影響

我們將不同大小的水珠滴在溫度固定在 200°C的鋁板中央，測量水珠恢復係數隨水珠大小（質量）間的變化情況，整理數據如表十二且用數據畫出圖二十四，由圖二十四可以看出液珠恢復係數隨著液珠質量的增大而逐漸下降的趨勢，並得到恢復係數 y 與水珠質量 x(g)的關係式為 y=-13.153x+0.8172（0 到 0.05 克），R^2=0.8796。

表十二：實驗五液珠大小對恢復係數實驗數據

藍頭未剪（質量0.0218g)	初速	末速	恢復係數	藍頭剪0.5cm（質量0.032g)	初速	末速	恢復係數
第一次	8.17E-01	3.98E-01	4.87E-01	第一次	9.20E-01	1.29E-01	1.40E-01
第二次	4.55E-01	0.2921604067	6.42E-01	第二次	0.8114397865	2.17E-01	2.67E-01
第三次	0.9235906888	2.76E-01	2.99E-01	第三次	0.7953851052	0.2347605061	0.2951532591
第四次	0.5624242424	0.3888333333	0.6913523707	第四次	0.911980861	0.1947704108	0.2135685288
第五次	0.4435789156	0.2917452413	0.657707639	第五次	0.884506991	0.2055759296	0.23241866
		最佳估計值	0.556	第六次	0.5279107642	0.3187268949	0.6037514605
		不確定度	0.073			最佳估計值	0.230
藍頭剪1cm(質量0.0484g)	初速	末速	恢復係數			不確定度	0.026
第一次	8.56E-01	2.73E-01	3.19E-01	黃頭(質量0.0091g)	初速	末速	恢復係數
第二次	0.6310741204	6.77E-02	1.07E-01	第一次	0.588	0.337	0.5731292517
第三次	0.7948917795	0.02922528713	0.03676637233	第二次	0.628	0.29	0.4617834395
第四次	0.6965790449	0.07798495123	0.1119542022	第三次	0.602	0.362	0.6013289037
第五次	0.6350417794	0.366896403	0.1119542022	第四次	0.677	0.27	0.3988183161
		最佳估計值	0.230	第五次	0.477	0.407	0.8532494759
		不確定度	0.054			最佳估計值	0.578
白頭(質量0.0148g)	初速	末速	恢復係數			不確定度	0.078
第一次	0.355	0.273	0.7690140845				
第二次	0.252	0.306	1.214285714				
第三次	0.337	0.258	0.765578635				
第四次	0.567	0.358	0.6313932981				
第五次	0.518	0.332	0.6409266409				
第六次	0.518	0.324	0.6254826255				
第七次	0.605	0.212	0.3504132231				
		最佳估計值	0.85				
		不確定度	0.11				



圖二十五、液珠大小對恢復係數關係圖

陸、結論

一、水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓佛羅斯特點

（一）瞭解萊氏效應：液體溫度高於沸點時，水與加熱板間會形成一個蒸氣層阻隔熱的傳導，讓液體存活更久。

（二）設計實驗找到水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓弗羅斯特點為 200℃、125℃、120℃，並用水、乙醇、乙酸乙酯的沸點依序為 100℃>78.3℃>77.1℃，汽化熱依序為：2260J/g>855J/g>366.5J/g，合理解釋萊頓弗羅斯特點的大小關係。並且推敲出利用乙醇和乙酸乙酯的存活時間及汽化熱差異，來推算熱傳導功率的可行性。

二、水、乙醇、乙酸乙酯液珠隨時間的大小、溫度變化

250μl 的水珠、乙醇液珠、乙酸乙酯液珠分別放置於 200℃的鋁板正中央，找到水珠、乙醇液珠、乙酸乙酯液珠直徑 y(mm)和時間 x(s)的關係式依序為：y=-0.0359x+8.5332、y=-0.1331x+10.458、y=-0.22x + 10.5。並且觀察液珠溫度隨時間的變化，發現版溫過高可能會使液珠溫度不合理的問題。

三、探討水珠性質

體積 x(cm^3)和直徑立方 y(mm^3)成正比關係，找到水珠直徑立方和體積關係式：y = 3196.1x。延伸探討水珠隨著時間吸收熱能情況，直徑平方與溫差乘積 x(mm^2・Δ□)和液珠吸收熱能 y(cal)成正比，並得到關係式：y=0.0041x-3.9838。此時的斜率為□×□□÷□□(熱傳導係數*時間差/蒸氣層厚度)，並由圖表中標點的浮動推測出蒸氣層厚度隨時間呈週期性變化的可能性。

四、探討三重萊頓弗羅斯特效應

（一）觀察水珠碰撞，發現在加熱板溫度 190 到 240℃之間，水珠碰撞可能會發生合併、爆裂、彈跳等現象。相較於彈跳，水珠合併的機率較大。且我們發現爆裂後的水珠會較穩定，之後若接著發生彈跳，彈跳的次數會較多。

（二）我們認為，水珠間之所以會彈跳，是因為蒸氣層能夠克服兩水珠的碰撞力道，在中間區隔兩水珠，使兩者不合併，產生彈跳。

（三）水珠的大小（質量）愈大時，恢復係數（彈跳能力）會愈小；碰撞時間愈短，其平均恢復係數量值會愈大。

（四）水珠間的碰撞角度和碰撞時間互有關聯：碰撞參數小的碰撞，其接觸時間會較長；而碰撞參數大的碰撞，會從水珠側緣擦過，有時會產生旋轉。

（五）相同碰撞時間的情況下，隨著彈跳次數漸多（時間愈久），恢復係數的量值會下降。

（六）恢復係數之所以和先前的論述（第 2 點）違背，與時間呈負相關，我們認為和水珠能量隨時間下降有關：溫度下降，導致能夠產生蒸氣層的熱能下降，使水珠周圍的蒸氣層的厚度變薄，故水珠不易彈跳。

（七）初速差會隨時間下降，我們認為和水珠能量隨時間下降有關。大顆水珠會呈現週期性的震盪運動（此大顆水珠的震盪週期約為 1.3s），且震盪幅度隨時間逐漸遞減。而水珠的震盪是為了更有效的散熱，故大顆水珠振盪幅度會因為能量降低而下降。若將小顆與大顆視為一系統，即表示兩水珠的相互震盪會隨時間慢慢減少，使速度差下降。

（八）我們推測，若初速差較小，則兩水珠間的衝撞力道較小，兩者間的蒸氣層較能負荷，而使得最終的恢復係數較大。但時間對恢復係數仍有較高的關聯性。

五、探討水珠大小對三重萊頓弗羅斯特效應的影響

利用質量（0 到 0.05 克）的水珠垂直降落碰撞鋁板，找到水珠與鋁板碰撞恢復係數約為 0.2-0.7，且恢復係數隨著水珠的質量上升而下降，而恢復係數 y 與水珠質量 x(g)的關係式為 y=-13.153x+0.8172（0 到 0.05 克）。

柒、未來展望

一、探討三重萊頓弗羅斯特效應

由於我們未能有效歸納實驗，導致實驗說服力不足，因此決定將結果放於未來展望。以下為水珠間三重效應之數據歸納：

參考文獻中，他們認為不同液體液珠間三重效應，可能是因為沸點差異，故同種液體碰撞在文獻中被歸可能類在直接合併。由此我們推測：水珠間的碰撞和水珠周圍形成的蒸氣層有關，因為在相同板溫下，由於沸點差異，造成液珠間的蒸發速率不同，使液珠周圍的蒸氣層厚度也不同，而且蒸氣層之間或許也會存在溫差，使兩者之間產生萊頓佛羅斯特效應。但我們發現即使機率偏低，同種液體間還是有機會相互彈開。故我們認為，水珠間之所以會彈跳，或許是因為蒸氣層能夠克服兩水珠的碰撞力道，在中間區隔兩水珠，而使兩者不合併，並非因水珠本身的彈性而彈跳出去。為了剖析其真實情況如何，我們針對有相互彈開的情形進行分析。

表十三：樣本一實驗數據

大顆	小顆	大顆直徑比	V1-V2	V2'-V1'	e	碰撞時間
0.01538	0.004947	0.756629114	0.115278018	0.0541990821	0.4701597323	0.1
0.015255	0.0046125	0.7678369196	0.07096970058	0.02895996029	0.4080609056	0.1

表十四、十五：樣本二實驗數據

大顆	小顆	大顆直徑比	V1-V2	V2'-V1'	e	碰撞時間
0.0106215	0.00286	0.7878574343	0.01671103446	0.01020619504	0.6107458557	0.1
0.010613	0.0028555	0.787986784	0.02563294312	0.01427267515	0.5568098477	0.1
0.010543	0.0028355	0.7880554621	0.03415941463	0.02852651407	0.8350996121	0.033
0.01043	0.0027645	0.7904808822	0.04352657014	0.03289660393	0.7557821307	0.066
0.010393	0.0027425	0.7912146473	0.03723726956	0.0198254755	0.5324094847	0.166
0.0103675	0.002687	0.7941705925	0.03576602447	0.02844755611	0.765379317	0.033
0.0102415	0.0026535	0.7942225689	0.02209090016	0.01623463813	0.7349016117	0.066
0.0102365	0.002644	0.7947284655	0.01765404462	0.01003371103	0.5683519693	0.1
0.010235	0.0026235	0.7959715363	0.01297029623	0.00407348670-	0.3140627347	0.2
0.010186	0.0026065	0.7962478014	0.0157932281	0.01078109151	0.6826401448	0.066
0.0101075	0.002578	0.7967758464	0.02402506005	0.01775099246	0.7388531987	0.033

0.066			0.033			0.1		
t	e	V1-V2	t	e	V1-V2	t	e	V1-V2
48.248	0.755782	0.043527	48.148	0.8351	0.034159	47.08	0.610746	0.016711
50.284	0.734902	0.022091	49.65	0.795379	0.035766	47.281	0.55681	0.025633
51.652	0.68264	0.015793	52.252	0.738853	0.024025	50.751	0.568352	0.017654
0.0166			0.2					
t	e	V1-V2	t	e	V1-V2			
48.882	0.532409	0.037237	51.051	0.314063	0.01297			

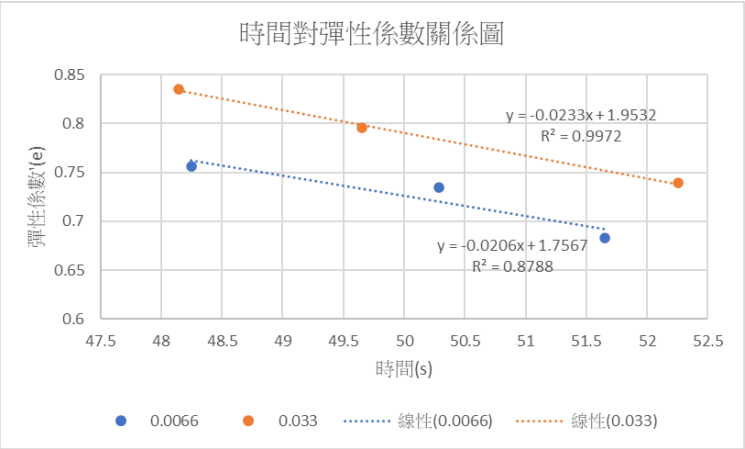
我們以恢復係數來量化水珠間的彈跳情形。上表分別為兩個有發生碰撞的樣本。樣本一共彈了 3 次，樣本二則有 25 次（有些不穩定數值已刪去）。由於樣本二中，大顆水珠在發生第一次彈跳之前有發生噴發爆裂，故我們推測：噴發完的水珠表面會維持穩定，形成足夠的蒸氣層，來隔絕兩水珠以促成更持久的碰撞（穩定即可持久）。

比較樣本一和二，我們發現樣本一的大小水珠的直徑（質量）比樣本二的大，而最終樣本一的恢復係數量值比樣本二的小。故我們猜想水珠的大小（質量）愈大時，恢復係數會愈小。（以實驗五進行探討）

觀察樣本二，我們發現恢復係數和碰撞時間存在一定的關係：碰撞時間愈短，其平均恢復係數量值會愈大。且在整理數據時，我們發現水珠間的碰撞角度和碰撞時間互有關聯：時間長的(≥0.1s)碰撞，通常是兩兩以近乎平行反向的速度相撞；而時間

短的，通常是小顆往大顆水珠的側緣擦過或是在邊邊角角的地發相撞，有時水珠會產生旋轉。由於水珠由側緣擦過所造成的衝擊力比直接相撞來的小，故此可能是碰撞時間愈短，其平均彈性係數量質會愈大的原因。

除此之外，我們發現不論是樣本一或二，在相同碰撞時間的情況下，隨著彈跳次數漸多(時間愈久)，彈性係數的量值會下降。觀察圖二十五，以數據 0.066S 和 0.033S 為例（因為製作圖表時，我們發現初速差似乎也會對彈性係數造成影響，故排除初速差較不穩的 0.1S 數據，放置下段說明），觀察下表。可以發現彈性係數量值會和時間呈負相關，兩者趨勢線幾乎平行，斜率分別為-0.0206 及-0.0233。



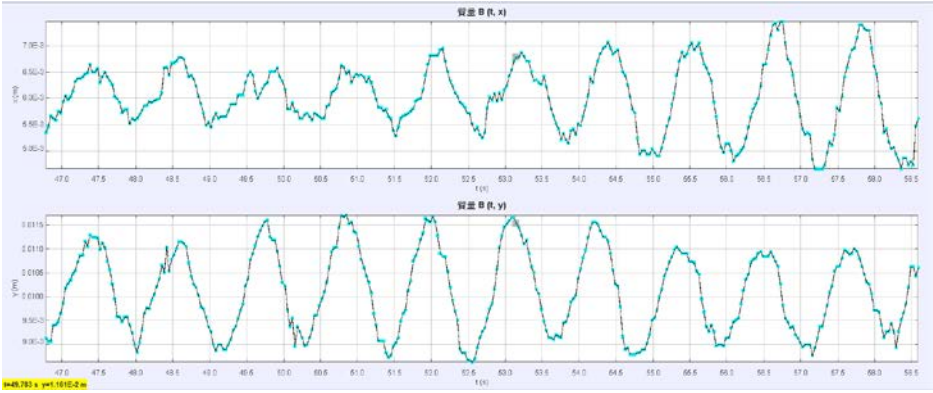
圖二十六、0.033s、0.0066s，液體彈性係數對時間關係圖

我們得到 0.033s、0.0066s 時，恢復係數與時間成負相關，且恢復係數 y(e)和時間(s)關係式依序為：y = -0.0206x + 1.7567，R^2 = 0.8788、y = -0.0233x + 1.9532，R^2 = 0.9972。

而恢復係數之所以和先前的論述違背（水珠質量愈大時，恢復係數會愈小），與時間呈負相關，我們認為是和蒸氣層的厚度，以及水珠本身的能量有關。在實驗二中，我們得知水珠的溫度會隨時間下降，而溫度下降會導致能夠產生蒸氣層的熱能下降，使水珠周圍的蒸氣層的厚度變薄。故我們可推得：隨著時間增加蒸氣層的厚度會變薄，而使彈跳能力下降。

水珠能量隨時間下降這點，我們亦可說明（同一碰撞時間的）初速差為何會隨時間下降。觀察圖二十五，可以發現大顆水珠呈現週期性的震盪運動（此大顆水珠的震盪週期約為 1.3s），且震盪幅度隨時間逐漸遞減。而水珠的震盪是為了更有效的散

熱，故大顆水珠振盪幅度會因為能量降低而下降。若將小顆與大顆視為一系統，即表示兩水珠的相互震盪會隨時間慢慢減少，使速度差下降。而這也可說明為何最終兩水珠會相互合併，而非一直彈跳直到完全蒸發。（由於小顆水珠的軌跡較易受碰撞而改變，故不探討其震盪頻率）



圖二十七、大顆水珠 x-t 及 y-t 圖

(x 範圍: 0.005~0.007m；y 範圍: 0.0115~0.009m)

針對初速差是否影響恢復係數的問題，我們可以觀察樣本二的 0.1s 數據。根據表十四，在 0.1s 數據中，第二次和第三次的恢復係數不降反升，違背我們上段的結論（時間和恢復係數呈負相關)。不過我們發現第三次彈跳的初速差(相對速度)較第二次的小，故我們推測，若初速差較小，則兩水珠間的衝撞力道較小，兩者間的蒸氣層較能負荷，而使得最終的恢復係數較大。但時間對恢復係數仍有較高的關聯性，此推測可在其他組數據中觀察出來。

以下為我們認為尚須改進的地方：

1、實驗缺乏準確性：實驗中有太多無法控制的變因，例如水珠碰撞的方向、水珠確切的大小、水珠間撞擊的力道等，使我們只能加以推測，減少了實驗結果的說服力。

2、實驗規畫不力：我們希望未來能夠增進實驗規劃的方法和設備，讓實驗能以更嚴謹的方式進行。

我們期許之後可以得到以下問題的答案：

1、水珠彈跳的原因為何？

2、在甚麼條件下會發生彈跳？

3、確切影響彈跳的因素為何？

捌、參考文獻資料

一、F. Pacheco-Vázquez, R. Ledesma-Alonso, J. L. Palacio-Rangel, and F. Moreau(2021).Triple Leidenfrost Effect: Preventing Coalescence of Drops on a Hot Plate.Phys. Rev. Lett. 127, 204501,Retrieved March 8, 2023, from https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.127.204501

二、Jearl walker. (n.d.). BOILING AND THE LEIDENFROST EFFECT. Retrieved March 8, 2023, from https://www.reed.edu/physics/courses/Physics332.s18/pdf/Leidenfrost.pdf

三、Leidenfrost, J. G. (1756). A Tract About Some Qualities of Common Water. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/276354792_A_Tract_About_Some_Qualities_of_Common_Water_English_translation_of_Johann_Gottlob_Leidenfrost_De_Aquae_Communis_Nonnullis_Qualitatibus_Tractatus_Duisburg_on_Rhine_1756_Carolyn_S_E_Wares_translator

四、李威果, 胡耀傑, &彭胤傑. (2013). *好聽的鐵板燒 -低溫液體撞擊高溫金屬板之聲音研究探討*. Retrieved March 8, 2023, from https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/53/pdf/040105.pdf

五、林子怡, 葉亮辰, &李命曜. (2021). *熱鍋上的舞者 - 聚丙烯酸鈉的 Leidenfrost 效應分析*. Retrieved March 8, 2023, from https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-2/2021/pdf/160016.pdf

六、翁億豪, 吳宜駿, 李秉恒, &粘錦祥. (2019). *Leidenfrost 氣層對液滴衝擊之動態擴張因子提升*.Retrieved March 8, 2023, from https://mech.nuu.edu.tw/var/file/67/1067/img/865/332144528.pdf

七、水珠漫舞－表面張力與溫度變化共舞. (n.d.). Retrieved March 8, 2023, from https://www.mxeduc.org.tw/scienceaward/history/projectDoc/3rd/doc/SA3-064.pdf

八、張峻豪, 張承宗, &羅子捷. (2012). 水「升」火熱——探討水珠在高溫下彈性與移動狀態. Retrieved March 8, 2023, from https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/52/pdf/030106.pdf

【評語】051814

本作品探討 Leidenfrost 現象，以自製的鋁板加熱，觀察不同條件下水珠的萊頓佛羅斯特效應。實驗結果找到了水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓佛羅斯特點之溫度。萊頓佛羅斯特效應是一個老問題，本作品在實驗設計、分析上能顯現所要看的現象，美中不足的是三重萊頓佛羅斯特效應並未做出來，但作品後續發展極具潛力。

作品海報

大珠小珠落鋁盤——

探討三重萊頓佛羅斯特效應之液珠碰撞

摘要

本實驗利用自製的鋁板加熱，觀察不同條件下（液珠體積、液珠質量、鋁板溫度），水珠的萊頓佛羅斯特效應。我們找到了水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓佛羅斯特點，依序為200℃、125℃、120℃。並且發現水珠體積和直徑立方成正比關係、直徑平方與溫差乘積與液珠吸收熱能成正比關係、恢復係數和水珠質量成負相關。

壹、前言

研究動機

對文獻上的三重效應感到好奇

影響因素說法不一：沸點、表面張力、互溶與否...等

發現現象並非完全如文獻所說的

文獻說相同水珠不會發生彈跳，但我們發現儘管機率很小，仍有機會發生

研究目的

一、探討水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓弗羅斯特點
二、探討水、乙醇、乙酸乙酯液珠隨時間的直徑及溫度變化
三、探討水珠性質
四、探討三重萊頓弗羅斯特效應
五、探討水珠質量對三重萊頓弗羅斯特效應的影響

貳、研究設備

實驗原理

（一）萊頓佛羅斯特效應
（二）恢復係數

$$C_r = \frac{v_f}{v_i}$$

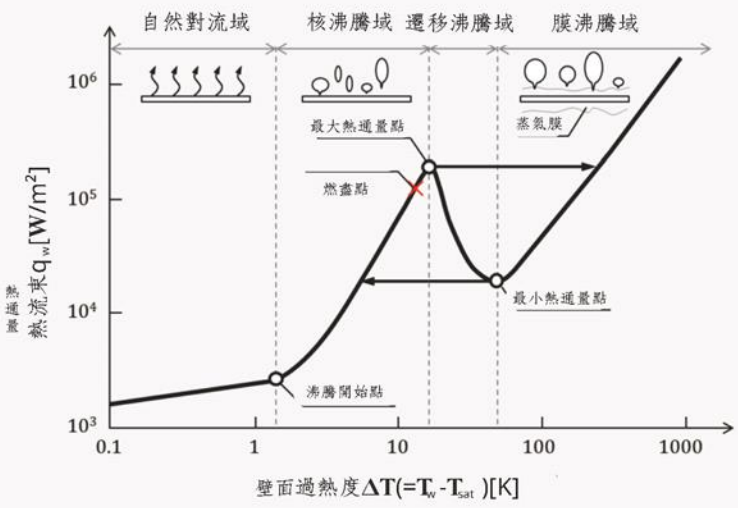
v_f 分離速度
v_i 接近速度

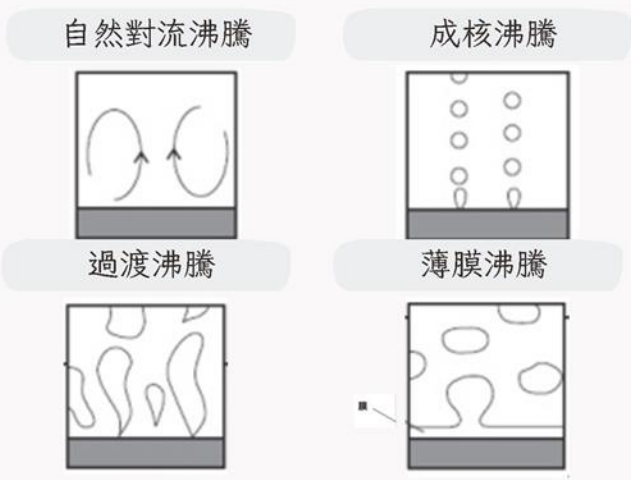
實驗設備、軟體

加熱板、溫度計、鋁板
高速攝影機、tracker

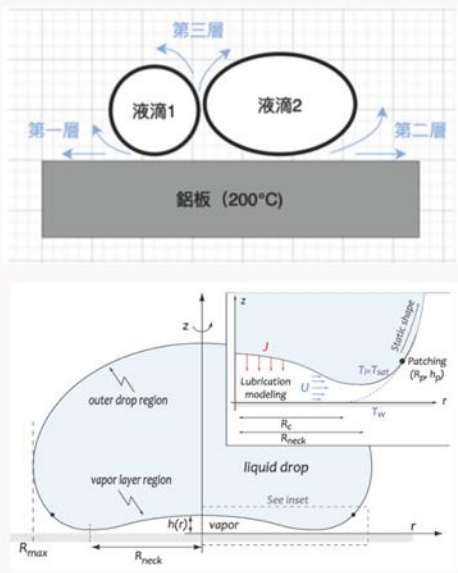
實驗裝置圖

水沸騰的種類

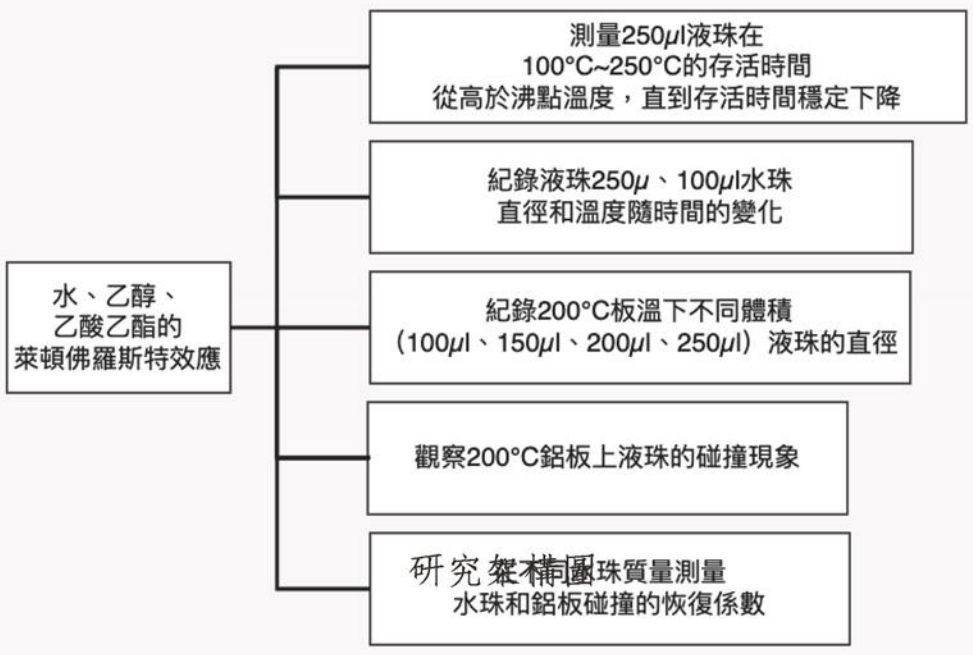




效應示意圖

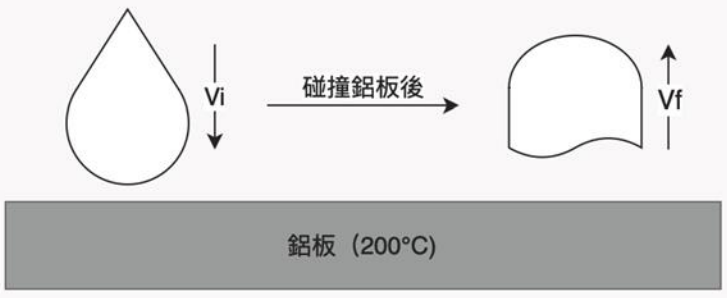


參、研究過程與方法



研究架構圖

（一）存活時間：
從液體接觸到鋁板開始計時，直到液珠完全消失在鋁板上為止。
（二）萊頓佛羅斯特點：
該液體在發生萊頓佛羅斯特效應穩定（存活最久）的溫度。

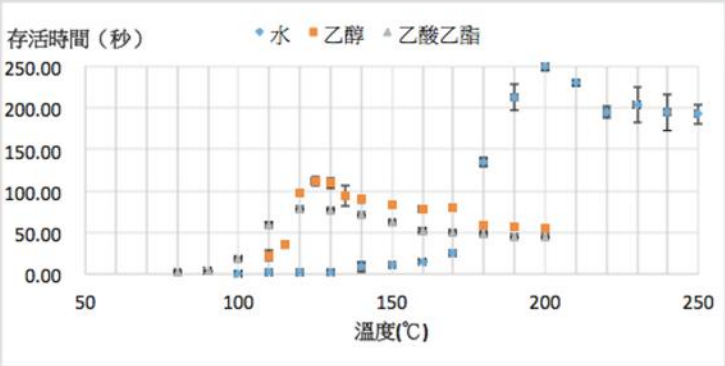


不同水珠質量對水珠恢復係數計算

肆、研究結果

一、探討水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓弗羅斯特點

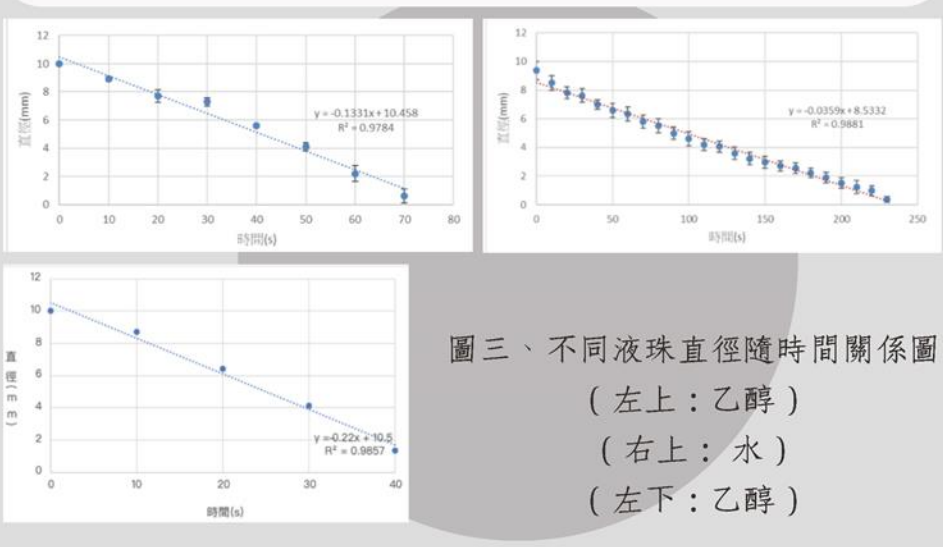
水、乙醇、乙酸乙酯的萊頓佛羅斯特點依序為：
200°C、125°C、120°C，而存活時間呈先升後降



圖一、水、乙醇、乙酸乙酯存活時間對鋁板溫度關係圖

二、探討水、乙醇、乙酸乙酯液珠隨時間的直徑變化

水、乙醇、乙酸乙酯的液珠直徑隨時間呈下降的趨勢



圖三、不同液珠直徑隨時間關係圖
（左上：乙醇）
（右上：水）
（左下：乙醇）

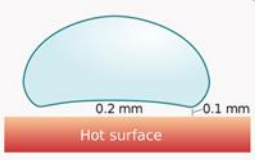
（二）水珠吸收熱能

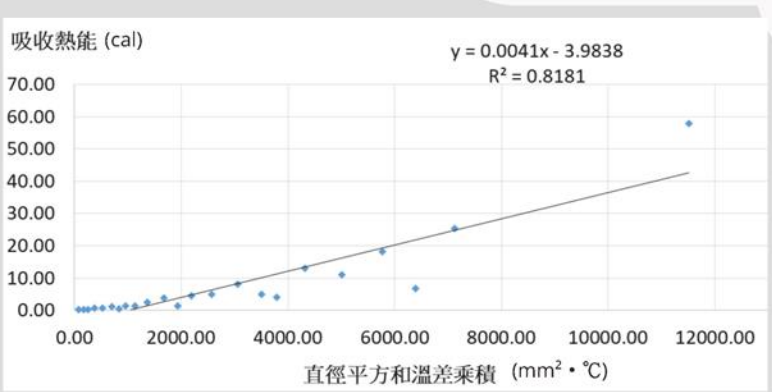
求出為$\frac{k\Delta t}{\Delta x}$ 0.0041

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA\frac{\Delta T}{\Delta x}$$

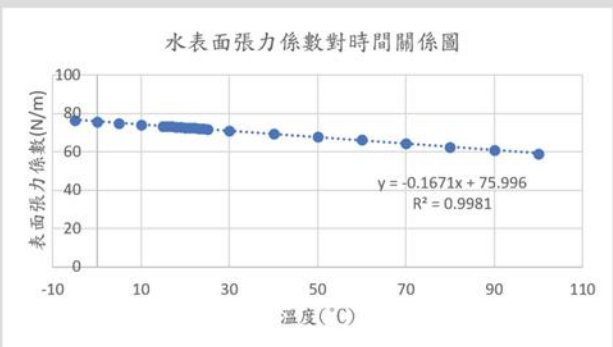
熱傳導方程式

A：直徑平方（截面積為蒸氣層之面積）
ΔT：水珠溫度與鋁板(200℃)溫度差
Δx：蒸氣層厚度（假設唯一定值）
k：鋁板與蒸氣層對液滴的熱傳導係數
Δt：時間差
ΔQ：吸收的熱能
P：熱傳導功率





圖五、液珠吸收熱能對直徑平方和溫差乘積關係圖



$$We = \frac{\rho v^2 l}{\sigma}$$

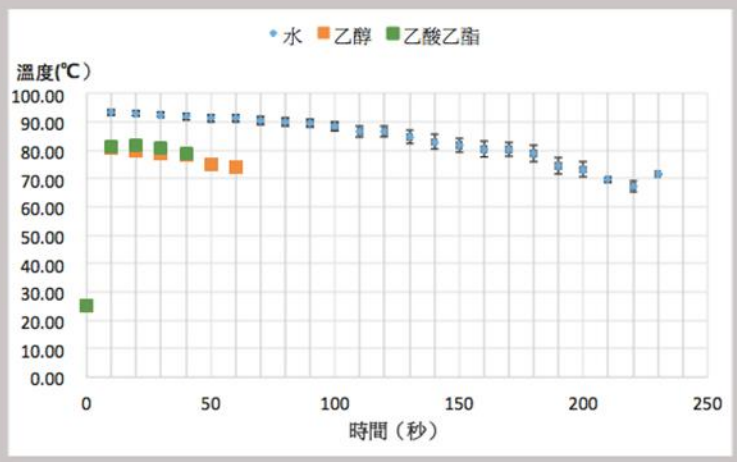
韋伯數公式

ρ：流體之質量密度
v：流體運動之代表速度
l：特性長度
σ：流體之表面張力係數

ρV^2：單位體積流體之慣性力
σ/L：單位體積流體之表面張力

二、探討水、乙醇、乙酸乙酯液珠隨時間的溫度變化

水、乙醇、乙酸乙酯的液珠溫度隨時間呈下降的趨勢

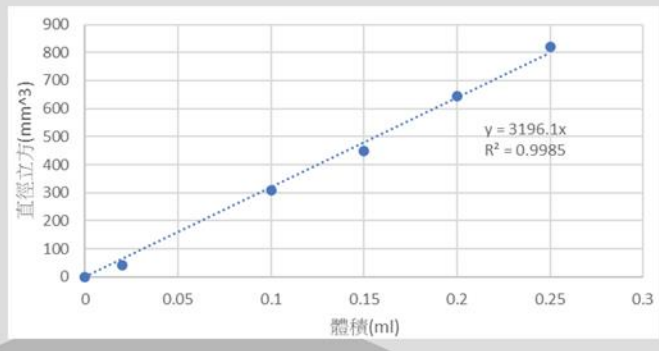


圖二、水、乙醇、乙酸乙酯液珠溫度對時間關係圖

三、探討水珠性質

（一）水珠的直徑和體積關係

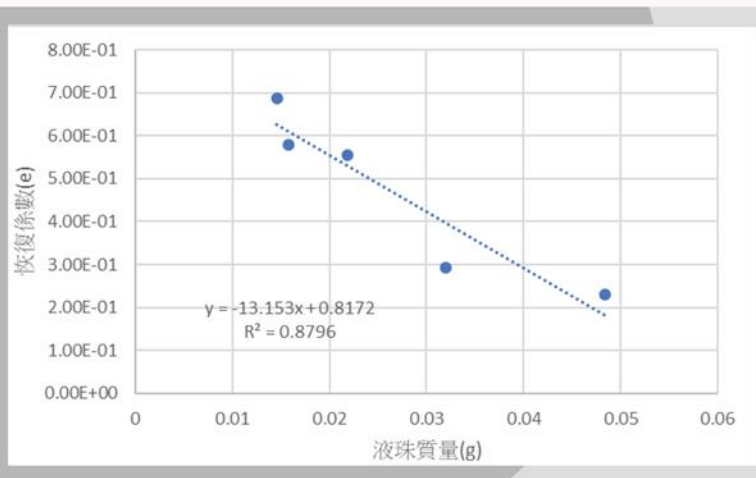
水珠的體積和直徑立方成正比
水珠的直徑立方隨體積的上升而呈上升趨勢



圖四、水珠直徑立方對水珠體積關係圖

五、探討水珠質量對三重萊頓弗羅斯特效應的影響

水珠恢復係數與液珠質量成負相關
水珠恢復係數隨液珠質量上升而下降

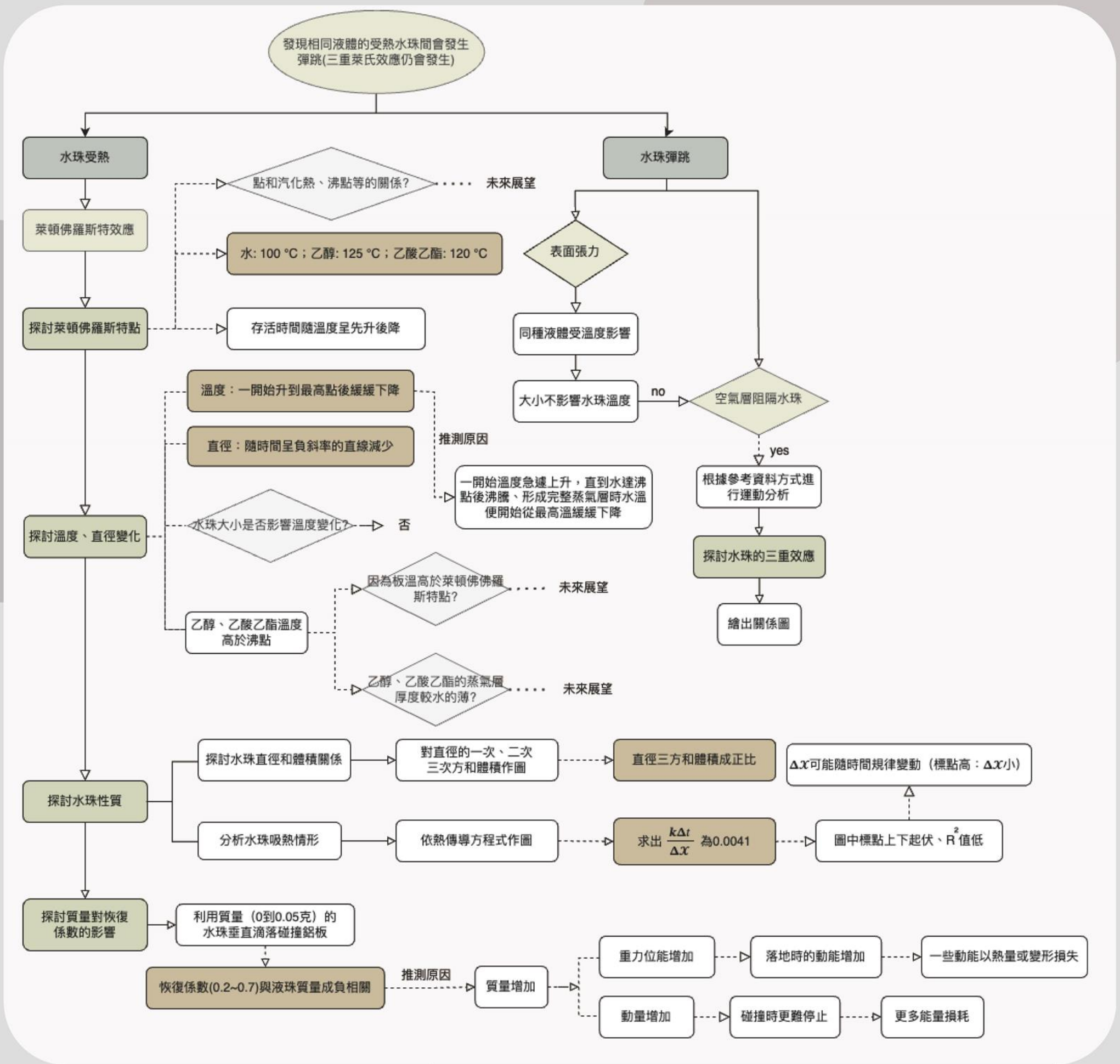


圖六、水珠恢復係數對水珠質量關係圖

可能要素

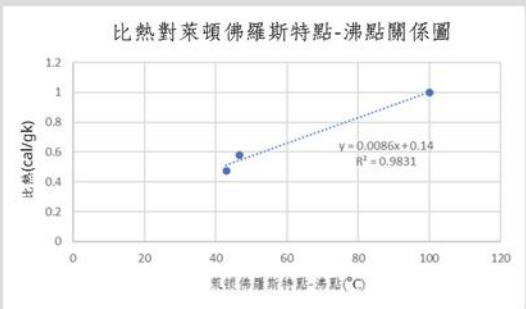
	水	乙醇	乙酸乙酯
比重(g/cm³)	1.000	0.789	0.907
比熱(cal/gk)	1.00	0.58	476.00
液珠最高溫(°C)	93.2	80.8	81.9
液珠最低溫(°C)	67.2	74.0	78.8
最高溫-最低溫(°C)	26.0	6.8	3.1
最長存活時間(s)	230	60	40
萊頓佛羅斯特點(°C)	200	125	120
距200°C溫差(°C)	0	75	80
沸點(°C)	100.0	78.3	77.0
汽化熱(J/g)	2260.0	855.0	366.5
沸點-最高溫(°C)	6.8	-2.5	-4.9
萊頓佛羅斯特點-沸點(°C)	100.0	46.7	43.0
每秒水珠放熱(cal/s)	0.028260	0.012966	0.008365
每秒水珠放熱/汽化熱(s⁻¹)	5.30E-05	6.37E-05	9.59E-05
總蒸氣產量(g)	0.012080	0.003822	0.003834
汽化熱(cal/g)	538.09500	203.57140	87.26191

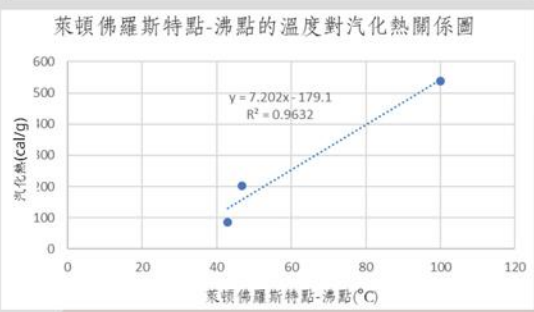
伍、討論與結論

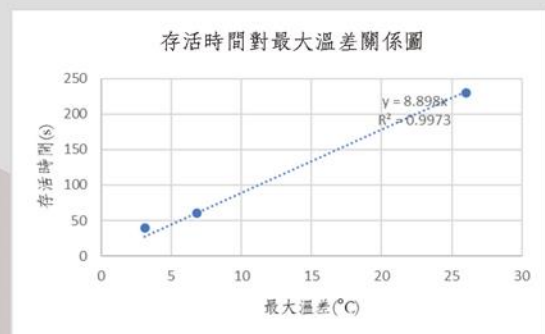


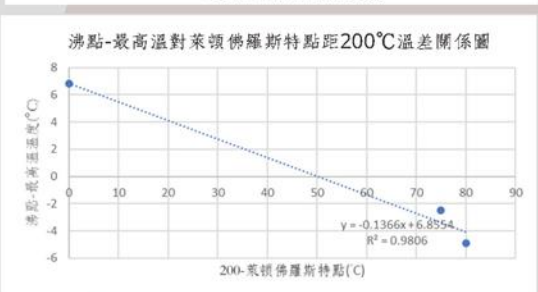
陸、未來展望

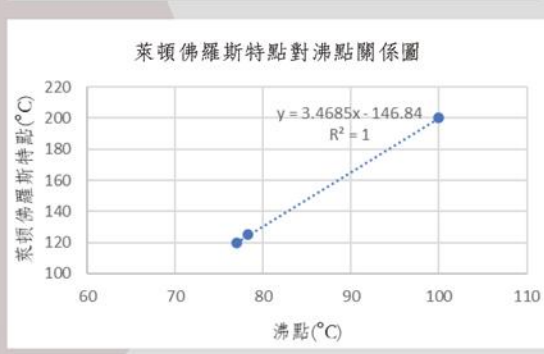
一、列出覺得可能有關的要素繪圖：

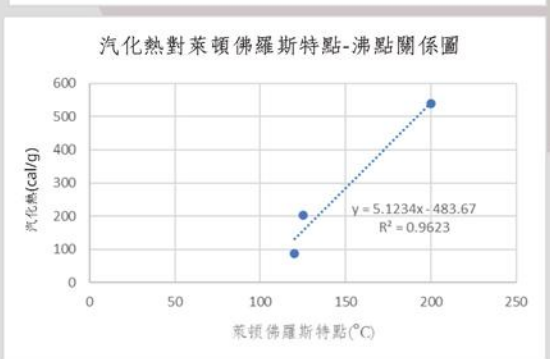


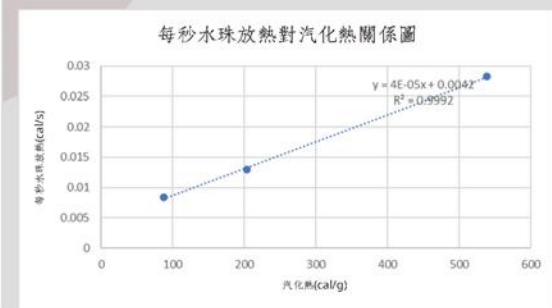












二、乙醇、乙酸乙酯溫度過熱的原因

1.分別在個別的萊頓佛羅斯特點進行實驗
2. 找尋測量蒸氣層厚度的方法
(之後也可以做不同大小的蒸氣層厚度比較)

三、圖五標點上下起伏

找到測量蒸氣層厚度的方法後，測量蒸氣層厚度隨時間的變化

四、三重效應

希望能再更進一步研究
(例如: 不同大小的水珠能分別克服多少相對速度的撞擊(彈跳發生)...以及側面蒸氣層的厚度大約為多少)，並更完整的建模