

# 2012 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

編號：140037

## 作品名稱

液滴撞擊固體表面時的傳播現象

## 得獎獎項

大會獎：四等獎

儲備作品：儲備作品

作者姓名：吳昱良

就讀學校：臺中市立大雅國民中學

指導教師：鐘文生、張雯堯

關鍵字：液滴、高度、直徑變化

## 作者簡介



我，吳昱良，個性沉穩、做事謹慎，在朋友眼中，是性情隨和的人；在父母眼中，是循規蹈矩的小孩；在老師眼中，是個很有毅力的學生。我喜歡觀察，喜歡傾聽與瞭解別人的想法和意見，平時我也會適時的表達自己的意見。我認為人要培養自己看待事情的態度，認真的對待身邊的事、身邊的人。

在求學的過程中，感染父母親做事的態度，很認真、很努力。在我的觀念中我認為除了天資之外，努力佔了成功的絕大部分。因此除了課堂上老師教的知識之外，許多課本上沒有的生活知識，我也會多方面的學習，自己透過觀察，藉由廣泛的閱讀，吸收新知。因此，在國中三年裡，連續兩年參加科展，在做科展得過程中，我學習去設計實驗，去觀察各種現象與分析結果。在遇到困難時，學習去解決問題，並勇於發問。雖然這樣的過程很累，但我很開心。因為，學習對我來說是一件快樂的事，再累也值得。

看問題的態度，決定成功或失敗，在未來我會接受挑戰，所以我也會盡我所能，盡力把每一件事做好。

## 摘要

在這份報告中，藉由高速攝影機，我們可以更清楚地觀察到液滴在撞擊固體表面瞬間的形變現象。分析以不同的液滴、不同的撞擊表面、不同的瞬間撞擊速率以及不同溫度的金屬表面，並探討在不同的條件下，韋伯常數(Weber Number)與水滴散開之間的關聯。實驗結果顯示，當表面張力與密度比值大，或當液滴速度快時，液滴形變越明顯，但其形變量有一最大值，而其薄水層傳播速度會隨時間增加而減少，但其環狀波在彈回時幾乎是呈等速度的彈回。若是液體表面張力較撞擊面附著力大者，或撞擊面溫度超過攝氏 400 度時，在其薄水層達到最大直徑時，便會向內收縮，形成一顆水珠。

## Abstract

In this report, by means of the high-speed camera, we can clearly observe the phenomenon of a fluid drop deform itself at an instant impact against a solid surface. We try to analyze the inter-relationship between the spreading drop and Weber Number by employing different fluid drops, different surfaces of impact, different speeds of instant impacting ,and the metal surface with different temperatures. The results show that the greater the ratio of the surface tension and the density or the higher the speed of the dropping fluid, the deformation of the droplet will be more remarkable, but within the maximum value of deformation. And as time goes by, the transmitting speed of its thin water level will decrease. However, its thin internal ripples recoils at a constant speed . If the surface tension of the fluid is greater than the adhesion of the impact surface, or when the temperature of the impact surface is higher than 400 degrees Celsius , its thin water level will recoil and blend into the one drop.

# 壹、前言

## 一、研究動機

台灣是個多雨的島嶼，每逢梅雨季節或者颱風，雨量更是驚人。在一次的雨天裡，我們坐在車內無所事事，不經意的向車窗上一看，我發現當雨點撞擊玻璃時，會出現環狀波紋的形狀，但因為發生的時間實在太短暫了，所以我又有點兒不確定。於是我使用攝影機將水滴滴在玻璃上的瞬間撞擊畫面給錄了下來，放慢播放，發現當水滴在撞擊玻璃時會產生一些紋路，我覺得水滴撞擊固體表面時一定有些有趣的現象值得我們來了解。於是，激起我的興致，決定研究水水滴撞擊固體表面時的傳播現象。

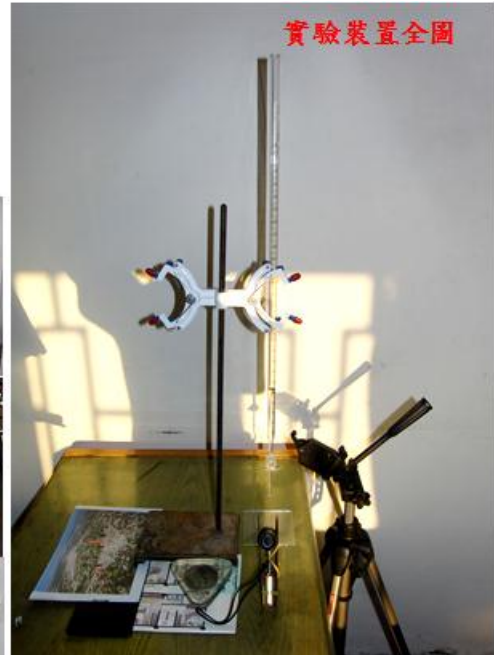
## 二、研究目的

- 1.觀察各種液珠撞擊固體表面時的形變現象
- 2.探討液珠低落高度與撞擊固體表面的形變現象之觀夕
- 3.探討液珠形變與撞擊不同性質表面之關係
- 4.水珠在撞擊固體表面後內部波紋的傳播現象
- 5.了解水珠撞擊不同溫度的金屬表面所造成的影響

## 貳、研究方法與過程

### 一、研究設備與器材

- 1.相機(Casio EX-FH20)
- 2.量筒與滴定管
- 3.滴定管鐵架
- 4.加熱器
- 5.玻璃
- 7.直流手電筒
- 8.軟體：Microsoft Word、



圖一、使用到的實驗儀器。

Microsoft Excel、

Ulead Animator GIF 5

### 二、文獻探討

在本報告中，我們探討水滴撞擊表面時的傳播現象，而該現象會牽涉下列三個常數：Re (Reynolds Number)、We (Weber Number)以及 Oh (Ohnesorge Number)

Reynolds Number 探討的是慣性力與黏滯力的比例，其公式為：

$$\text{Re} = \frac{\text{慣性力}}{\text{黏滯力}} = \frac{\rho v d_0}{\mu}$$

其中  $\rho$  為流體密度， $v$  為平均流速， $d_0$  撞擊前水珠直徑， $\mu$  流體黏度。在此常數中，由於所測試之各種液體之黏滯力均小且接近，而慣性力相對影響較大，因此，慣性力對實驗影響較大，故黏滯力在此並不對實驗結果造成太大的影響。

Weber Number 是在探討慣性力和表面張力對液珠影響效應之比例，其公式如下：

$$\text{We} = \frac{\text{慣性力}}{\text{表面張力}} = \frac{\rho v^2 d_0}{\sigma}$$

其中  $\rho$  為流體密度， $v$  為撞擊時速度， $d_0$  為撞擊前水珠直徑， $\sigma$  為表面張力。當液珠落下時，其增加的動能會在撞擊時轉換為表面能，形成薄水層並向外傳播。在此部分，即受到 Weber Number 的影響。

Ohnesorge Number 表示 Weber Number 和 Reynolds Number 之間的關係，即表面張力與黏滯力之間的關係，其公式如下：

$$\text{Oh} = \frac{\text{黏滯力}}{\text{表面張力}} = \frac{\sqrt{\text{We}}}{\text{Re}} = \frac{\mu}{\sqrt{\rho \sigma d_0}}$$

其中  $\rho$  為流體密度， $d_0$  為撞擊前水珠直徑， $\sigma$  為表面張力， $\mu$  為流體黏度。此常數一是探討薄水層並向外傳播的部分。而此部分的黏滯力影響亦是較小的，對實驗影響不大。

由於我們採用蒸餾水滴，其流體黏度在本實驗中的影響並不大，再加上在探討不同液體時，牽涉到不同的表面張力，故在探討液珠變形時，我們皆採用 Weber Number。

### 三、實驗方法

#### 實驗一、液滴體積測量

(一)操縱變因：採用各種不同的液體，液滴種類採用：蒸餾水、食鹽水及酒精三種。

(二)控制變因：使用相同的滴定管來滴出以上三種液珠。

(三)實驗步驟：

1. 架設鐵架與滴定管，並將量筒放置於滴定管下方
2. 將蒸餾水加入滴定管中並使其滴於量筒中
3. 測量滴定 100 滴蒸餾水的體積並求平均每 1 滴蒸餾水的體積
4. 改分別加入食鹽水及酒精於滴定管中，測量滴定 100 滴食鹽水及酒精的

體積，並求取體積的平均值。

5. 以 Microsoft Excel 2010 彙整資料並算出各種液滴之理想半徑。

## 實驗二、測量液滴掉落的速度

實驗步驟：

1. 架設鐵架、滴定管及尺，並固定滴定管與桌面間的高度為 50cm。
2. 將蒸餾水加入滴定管中並使其滴定。
3. 當蒸餾水滴掉落時，以 Casio EX-FH20(40 張/秒)錄影紀錄。
4. 改加入食鹽水制滴定管中，以 Casio EX-FH20 (40 張/秒)錄影紀錄。
5. 測量水滴每 0.025 秒內移動距離，以 Microsoft Excel 2010 彙整資料，算出液滴掉落時速度的變化，並繪製圖表。

## 實驗三、觀察不同高度時，水滴撞擊固體表面(玻璃)時的傳播現象

(一)操縱變因：改變滴定管和玻璃間的高度為：2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、15cm 與 20cm。

(二)控制變因：使用相同的鐵架、滴定管、尺及玻璃。

(三)實驗步驟：

1. 架設鐵架、滴定管、尺及玻璃，並固定滴定管與玻璃間的高度為 2cm。
2. 將蒸餾水加入滴定管中並使其滴出水滴。
3. 當蒸餾水滴掉落時，以 Casio EX-FH20 (1000 張/秒)錄影紀錄。
4. 改變滴定管與玻璃間的高度(4cm、6cm、8cm、10cm、15cm、20cm)
5. 測量水滴單位時間內水滴形變量(直徑變化)，以 Microsoft Excel 2010 彙整資料，算出水滴掉落時速度的變化，並繪製水滴形變量與速度關係圖。

#### 實驗四、觀察不同液滴撞擊固體表面(玻璃)時的傳播現象

(一)操縱變因：液滴種類採用：蒸餾水、食鹽水、酒精。

(二)控制變因：固定滴定管與玻璃間的距離為 10cm。

(三)實驗步驟：

1. 架設鐵架、滴定管、尺及玻璃，並固定滴定管與玻璃間的距離為 10cm。
2. 將蒸餾水加入滴定管中並使其滴出水滴。
3. 當蒸餾水滴掉落時，以 Casio EX-FH20 (1000 張/秒)錄影紀錄
4. 改加入食鹽水與酒精於滴定管中，以 Casio EX-FH20 (1000 張/秒)錄影紀錄
5. 改加入酒精於滴定管中，以 Casio EX-FH20 (1000 張/秒)錄影紀錄
6. 測量水滴單位時間內水滴形變量(直徑變化)，以 Microsoft Excel 2010 彙整資料，並繪製水滴形變量與時間的關係圖。

#### 實驗五、觀察液滴撞擊不同固體表面時的傳播現象

(一)操縱變因：採用的表面材質為：玻璃、固體蠟油。

(二)控制變因：固定滴定管與玻璃間的距離為 10cm

(三)實驗步驟：

1. 架設鐵架、滴定管、尺及玻璃，並固定滴定管與玻璃間的距離為 10cm。
2. 將蒸餾水加入滴定管中並使其滴在固體表面上。
3. 當蒸餾水滴掉落時，以 Casio EX-FH20 (1000 張/秒)錄影紀錄。
4. 改變滴定表面的材質(玻璃、固體蠟油)
5. 改加入食鹽水至滴定管中，並固定滴定表面的材質為玻璃，以 Casio EX-FH20 (1000 張/秒)錄影紀錄
6. 測量水滴單位時間內水滴形變量(直徑變化)，以 Microsoft Excel 2010 彙整



資料，並繪製水滴形變量與時間的關係圖。

### 實驗六、觀察水滴內部波紋的變化現象

(一)操縱變因：改變滴定管和玻璃間的高度為：2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、15cm 與 20cm。

(二)控制變因：使用相同的鐵架、滴定管、尺及玻璃。

(三)實驗步驟：

1. 架設鐵架、滴定管、尺及玻璃，並固定滴定管與玻璃間的高度為 2cm。
2. 將蒸餾水加入滴定管中並使其滴出水滴。
3. 當蒸餾水滴掉落時，以 Casio EX-FH20 (1000 張/秒)錄影紀錄。
4. 改變滴定管與玻璃間的高度(4cm、6cm、8cm、10cm、15cm、20cm)
5. 測量水滴單位時間內環狀波傳播速率，以 Microsoft Excel 2010 彙整資料，算出水滴掉落時速度的變化，並繪製水滴形變量與速度關係圖。

### 實驗七、觀察水滴撞擊不同溫度的金屬表面的傳播現象

(一)操縱變因：改變滴定管和玻璃間的高度為：2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、15cm 與 20cm。

(二)控制變因：使用相同的鐵架、滴定管、尺及玻璃。

(三)實驗步驟：

1. 架設鐵架、滴定管、尺及玻璃，並固定滴定管與玻璃間的高度為 2cm。
2. 將蒸餾水加入滴定管中並使其滴出水滴。
3. 當蒸餾水滴掉落時，以 Casio EX-FH20 (1000 張/秒)錄影紀錄。
4. 改變滴定管與玻璃間的高度(4cm、6cm、8cm、10cm、15cm、20cm)
5. 測量水滴內部波紋的傳播速率，以 Microsoft Excel 2010 彙整資料，繪製水滴形變的直徑變化及波紋傳播速率與水滴落下高度的關係。

## 參、研究結果與討論

### 實驗一、液滴體積測量

蒸餾水	第一次	第二次	第三次	第四次	平均
100 滴水體積(ml)	5.75	6.00	6.50	5.75	6.00
理想半徑(cm)	0.239	0.243	0.249	0.239	0.243
食鹽水	第一次	第二次	第三次	第四次	平均
100 滴水體積(ml)	5.50	6.00	5.50	5.75	5.69
理想半徑(cm)	0.236	0.243	0.236	0.239	0.239
變性酒精	第一次	第二次	第三次	第四次	平均
100 滴水體積(ml)	5.00	5.00	5.25	5.00	5.06
理想半徑(cm)	0.229	0.229	0.232	0.229	0.230

#### 討論：

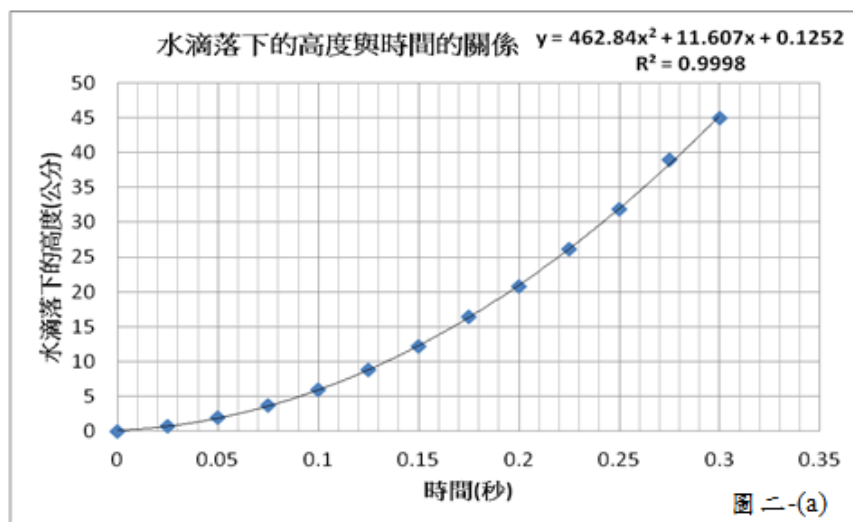
由實驗一我們可以看到：蒸餾水、飽和食鹽水與酒精三種液滴之體積，並沒有十分大的差距，原因是我們改變滴定管出口的大小，以產生相近的液珠大小，以方便我們實驗觀察。並且，我們將以測得的液滴體積，驗證實驗三中，水滴之直徑大小，檢驗實驗準確性，當作之後以 Weber Number 之依據。

## 實驗二、測量液滴掉落的速度

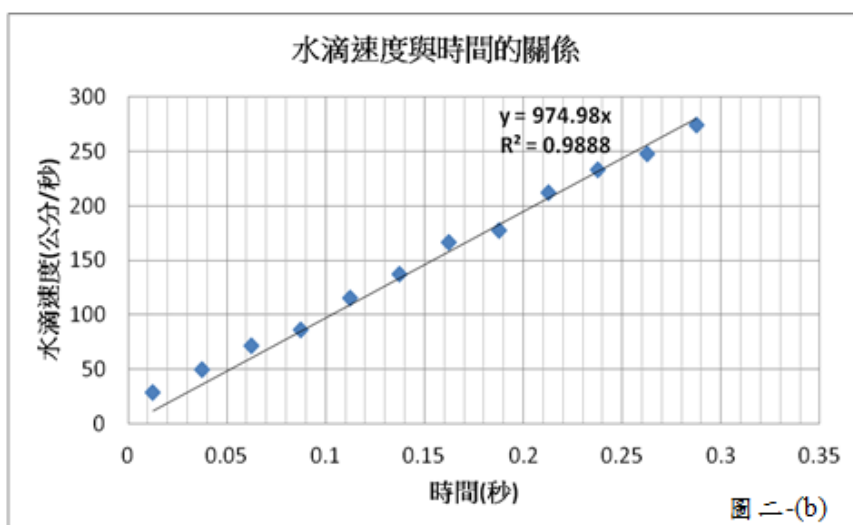
### 一、實驗數據表

時間 (秒)	0	1/40	2/40	3/40	4/40	5/40	6/40	7/40	8/40	9/40	10/40	11/40	12/40
位置 (公分)	0	0.73	1.97	3.75	5.90	8.78	12.20	16.35	20.78	26.08	31.90	38.10	44.95
距離 (公分)		0.73	1.24	1.78	2.15	2.88	3.42	4.15	4.43	5.30	5.82	6.2	6.85
速度 (公分/秒)		29.2	49.6	71.2	86.0	115.2	136.8	166.0	177.2	212.0	232.8	248.0	274.0

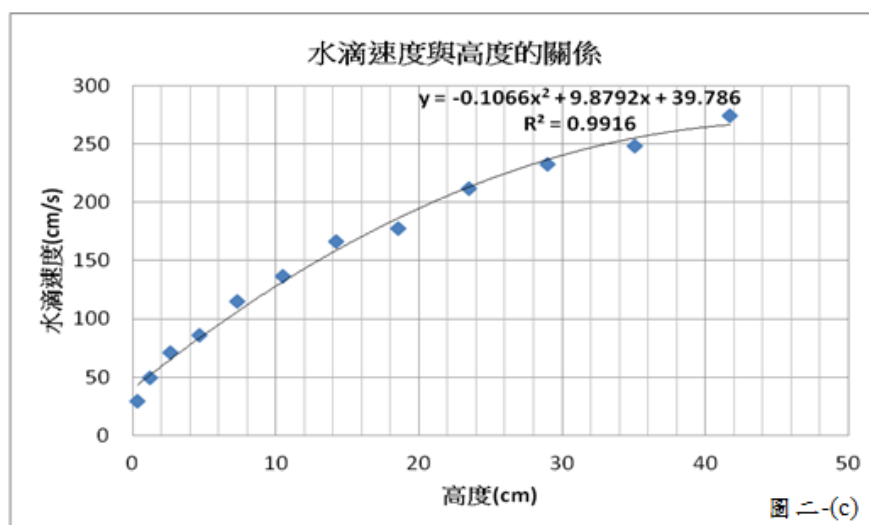
### 二、水滴落下的高度與時間的關係圖



### 三、水滴速度與時間的關係圖



#### 四、水滴速度與高度的關係圖



#### 五、討論：

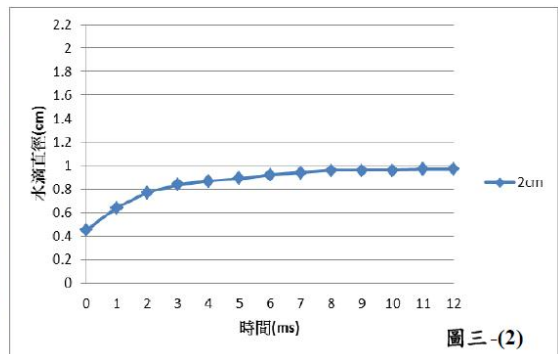
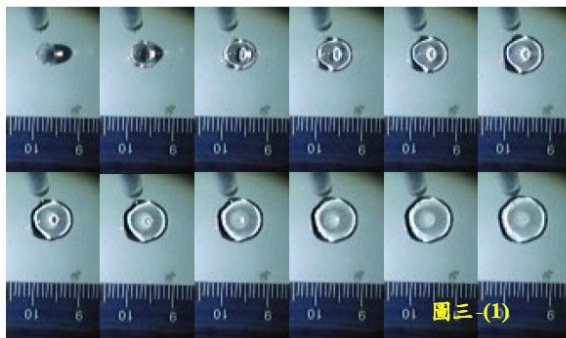
因為撞擊固體表面的瞬間速率會影響水滴形變的關係，所以必須知道水滴狀及固體表面時的瞬間速率。因此，藉由實驗二，我們將水滴掉落時的時間及速度，以 Microsoft Excel 2010 繪製成圖表，並將其函數列出，以便於後面 Weber Number 的探討。在此實驗中，測得水滴落下的加速度  $974.9\text{cm/s}^2$  與實際自由落體加速度為  $980\text{cm/s}^2$  的誤差為 0.51%，其誤差應來自於空氣阻力之影響。由於此細部詳細內容與實驗關聯性不大，故不做深入探討。另外，當水滴由高度越高落下時，其速度與高度關係圖及其時間與落下高度關係圖皆呈曲線，在此以測量及算出其函數之對應關係，並以此結果作為後面探討 Weber Number 時之最終速度依據。例如：水滴滴落高度為 10cm 時，可算出其撞擊固體表面的瞬間速率為  $127.918\text{cm/s}$ 。

### 實驗三、觀察不同高度時，液滴撞擊固體表面(玻璃)時的傳播現象

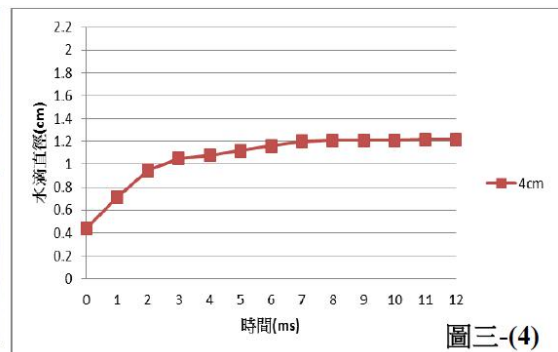
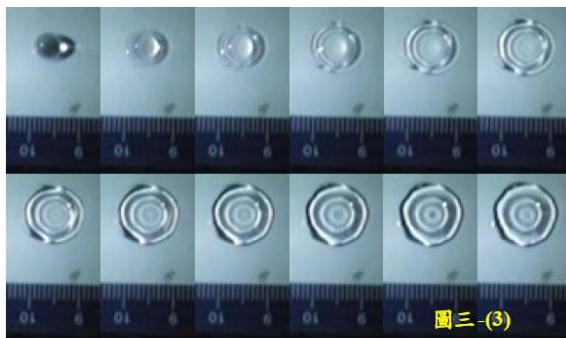
#### 一、實驗數據：

單位：公分							
t(ms)	2cm 高	4cm 高	6cm 高	8cm 高	10cm 高	15cm 高	20cm 高
0	0.45	0.44	0.45	0.47	0.48	0.48	0.49
1	0.64	0.71	0.81	0.88	1.11	1.20	1.48
2	0.77	0.95	1.03	1.16	1.25	1.50	1.63
3	0.84	1.05	1.18	1.25	1.40	1.67	1.80
4	0.87	1.08	1.29	1.40	1.56	1.82	1.88
5	0.89	1.12	1.35	1.53	1.64	1.93	1.95
6	0.92	1.16	1.38	1.64	1.72	1.95	2.02
7	0.94	1.20	1.40	1.65	1.80	2.01	2.10
8	0.96	1.21	1.40	1.71	1.84	2.01	2.10
9	0.96	1.21	1.40	1.71	1.84	2.01	2.10
10	0.96	1.21	1.41	1.71	1.84	2.01	2.10
11	0.97	1.22	1.41	1.71	1.84	2.01	2.10
12	0.97	1.22	1.41	1.71	1.84	2.01	2.10
直徑變化量(cm)	0.52	0.78	0.96	1.24	1.36	1.53	1.61
最終速率(cm/s)	59.118	77.5972	95.2236	111.9972	127.918	163.989	194.73
Weber Number	21.85247	36.81233	55.43581	81.91448	102.3115	179.3573	258.1727

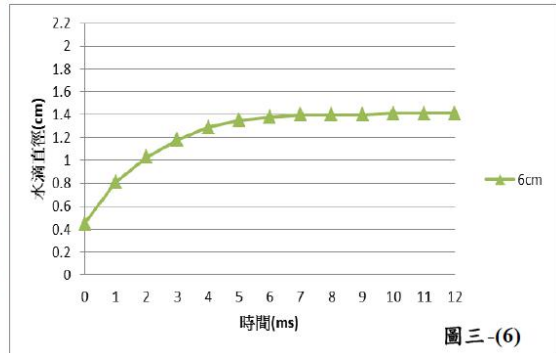
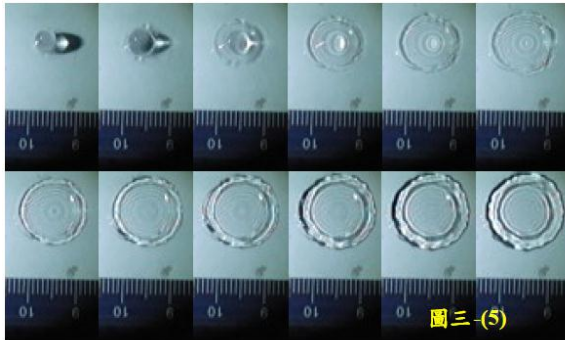
#### 二、滴定管出口和玻璃之間的高度為 2cm：



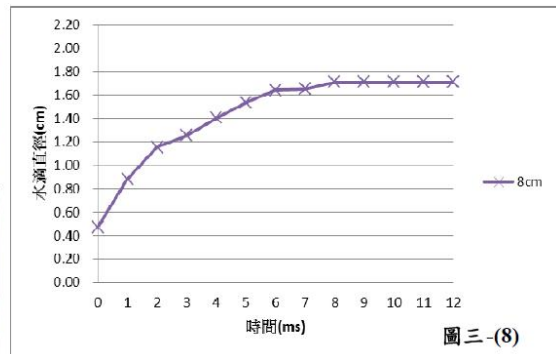
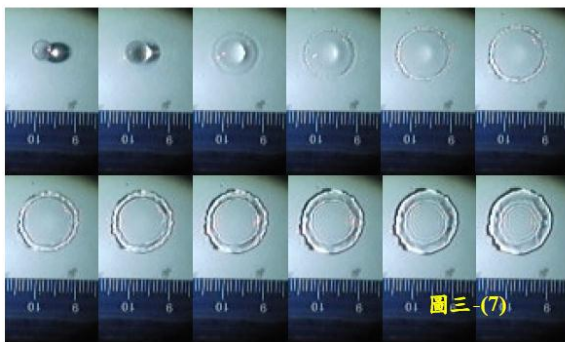
#### 三、滴定管出口和玻璃之間的高度為 4cm：



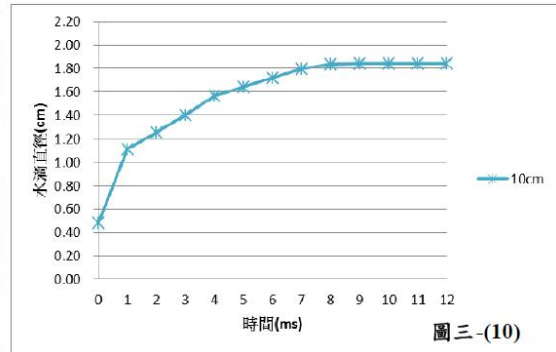
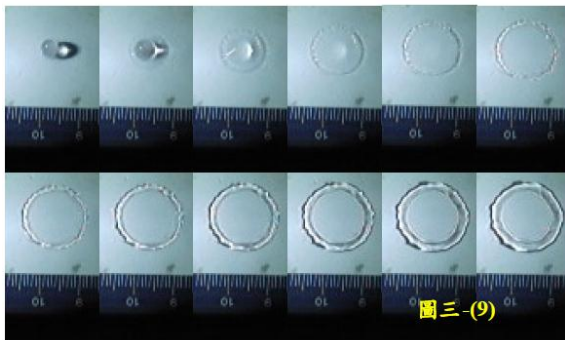
四、滴定管出口和玻璃之間的高度為 6cm：



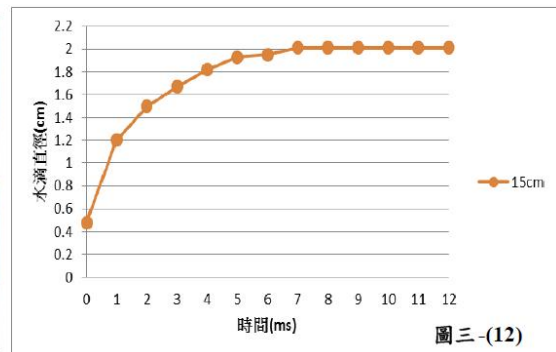
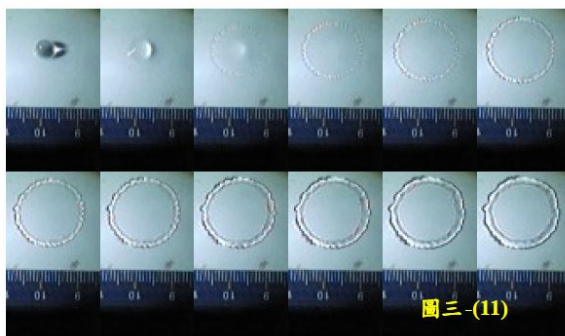
五、滴定管出口和玻璃之間的高度為 8cm：



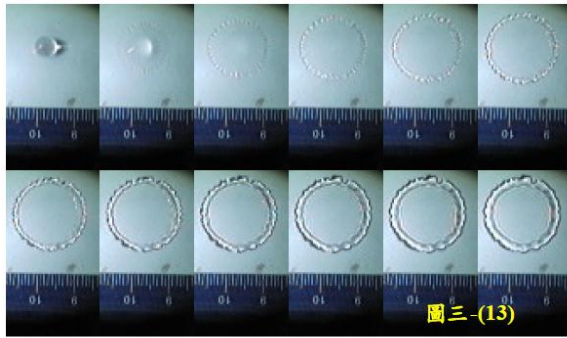
六、滴定管出口和玻璃之間的高度為 10cm：



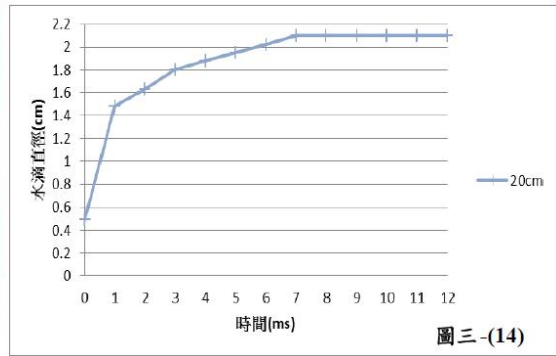
七、滴定管出口和玻璃之間的高度為 15cm：



八、滴定管出口和玻璃之間的高度為 20cm：



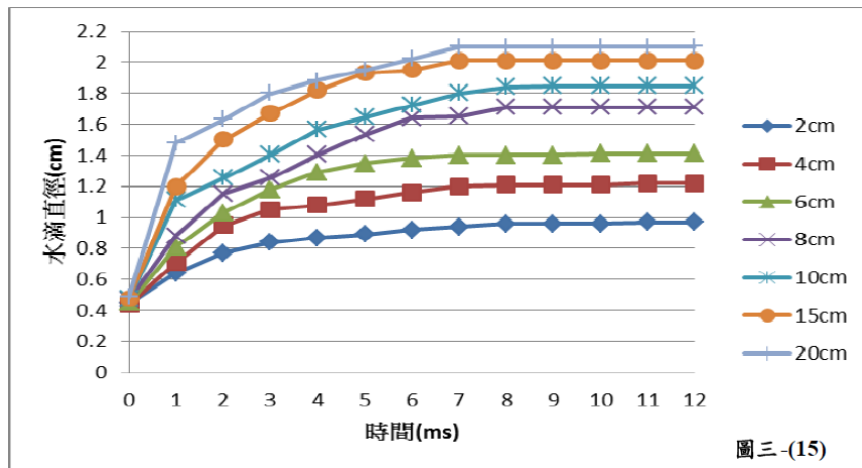
圖三-(13)



圖三-(14)

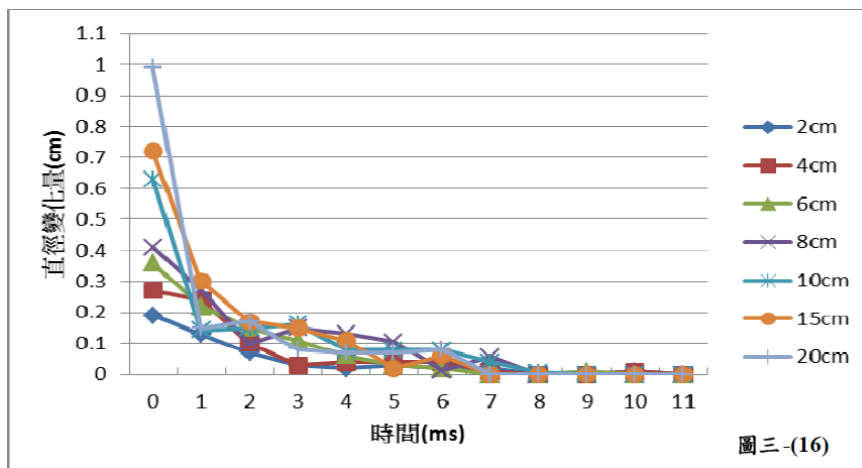
九、討論與分析：

(一)水滴形變量(直徑變化)與各種高度的關係圖：



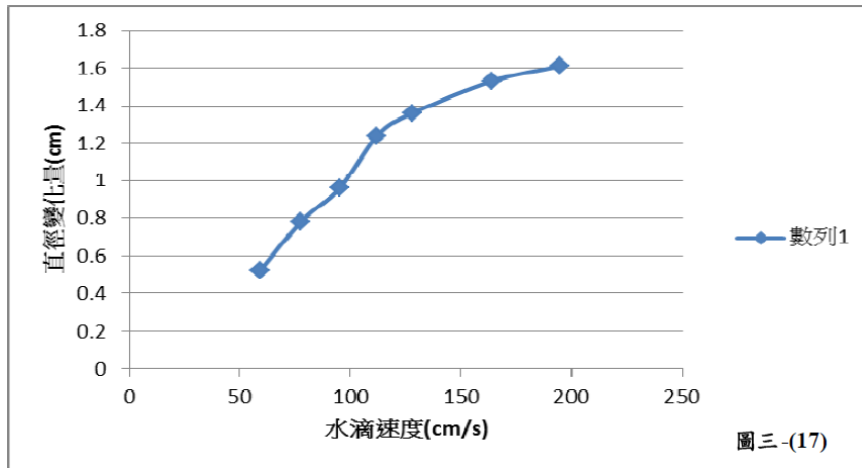
圖三-(15)

(二) 水滴向外傳播速率變化的關係圖：

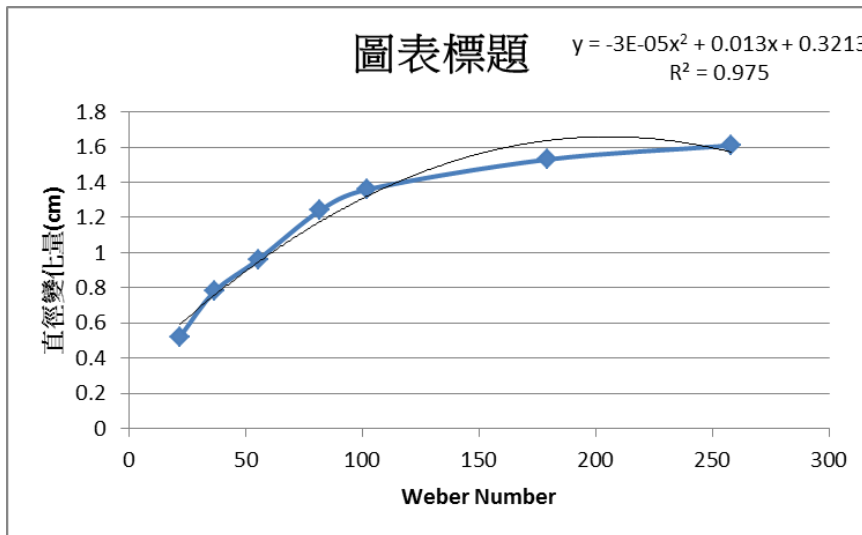


圖三-(16)

(三) 水滴接觸表面瞬間速率大小與水滴直徑變化量的關係圖：



(四) Weber Number 與水滴直徑變化量之關係圖

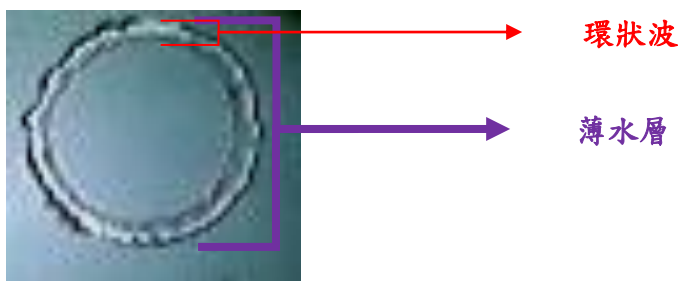


此實驗中，我們所擷取之第一毫秒照片，為水滴直徑明顯改變之前一張，此張照片雖未明顯變形，但極有可能已撞擊玻璃表面。這是根據第二、第三毫秒照片可得知水滴撞擊玻璃表面之初，上半部的水滴仍維持球形。故我們取第一張照片當作其水滴落下時之直徑大小。而從第二毫秒開始，水滴即由中心點，以圓盤狀的薄水層向外傳播。自水滴撞擊玻璃大約六至八毫秒薄水層即可到達最大變形量。在傳播的過程中，隨著落下水滴逐漸轉變成薄水層，而使薄水層之直徑逐漸擴大，圓盤狀的薄水層由於受到落下水滴由內部向外擠壓，在外圍部分形成了環狀波。也就是說，水珠落下時會將其位能轉為動能，撞擊玻璃表面時，又將其動能再轉為薄水層向外傳播的能量與以部分熱能散失。



在圖三-16 中，我們可以明顯的看出：薄水層傳播速率均是越來越慢。尤其是出現在第零至第二毫秒之間，向外傳播的速率驟減，並且在八毫秒內薄水層達到最大直徑。可見從不同高度落下的水珠，雖然速度不同，但薄水層達到最大直徑之時間卻差異不大。而在此圖中，我們亦可觀察到水珠向外傳播的速率是隨著時間的增加而減少，這個部分則是受到其附著力之影響。當薄水層在向外傳播時，其除了受到由水珠撞擊玻璃，而薄水層向外擠壓之力外，還受到了附著力的影響，因此，才會出現此現象

圖三-17 及圖三-18 中，我們探討的是慣性力對液珠形變的影響，因此我們列出其 Weber Number、速度與其直徑變化量。在關係圖三中，我們已經可以發現：速度對水珠會有一定的影響，但並不清楚其影響為何，只知道速度越大時，其形變量也越大。因此，我們更進一步以 Weber Number 來探討。其中  $\rho$ 、 $d_0$  及  $\sigma$  在此實驗中為定值。也就是說我們在此只討論  $v^2$  對此實驗的影響。可看到圖四中，隨著  $v^2$  的增加，其曲線趨於平緩，於是我們推測，當液珠撞擊玻璃表面時，當速度不斷增加，水珠的形變量愈來愈大，但到達一定速度後，其形變量會達到一最大值，也就是說，其薄水層的直徑，有一最大值。



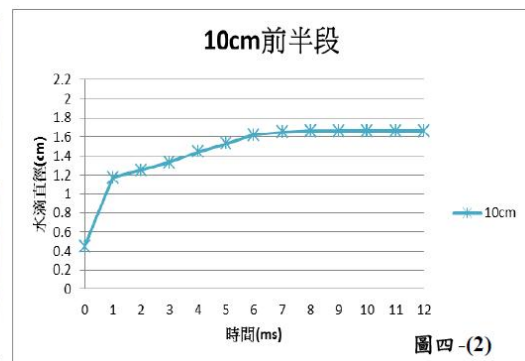
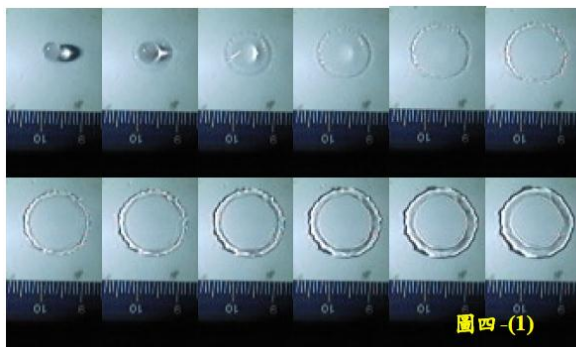
圖三-(19)、水滴在撞擊金屬表面之後的輪廓放大圖。

## 實驗四、觀察不同液滴撞擊固體表面(玻璃)時的傳播現象

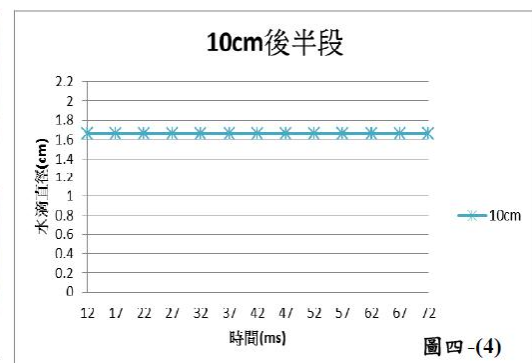
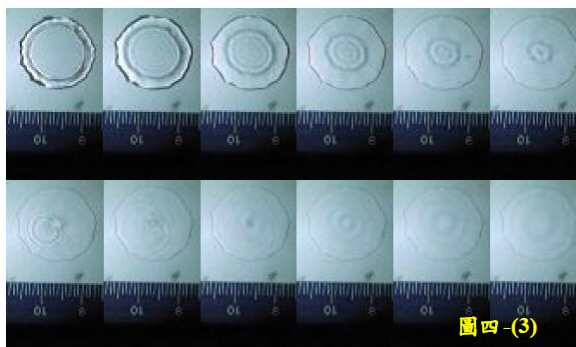
### 一、蒸餾水撞擊玻璃時的傳播現象

單位：公分			
t(ms)	蒸餾水	飽和食鹽水	酒精
0	0.48	0.46	0.49
1	1.11	0.89	1.13
2	1.25	1.05	1.38
3	1.40	1.24	1.51
4	1.56	1.35	1.68
5	1.64	1.42	1.75
6	1.72	1.46	1.86
7	1.80	1.48	1.91
8	1.84	1.49	1.97
9	1.84	1.49	2.00
10	1.84	1.49	2.04
11	1.84	1.49	2.04
12	1.84	1.49	2.04
直徑變化量(cm)	1.36	1.53	1.55
最終速率(cm/s)	127.918	127.918	127.918

#### (一)撞擊後的前半段部分(1 毫秒/張)

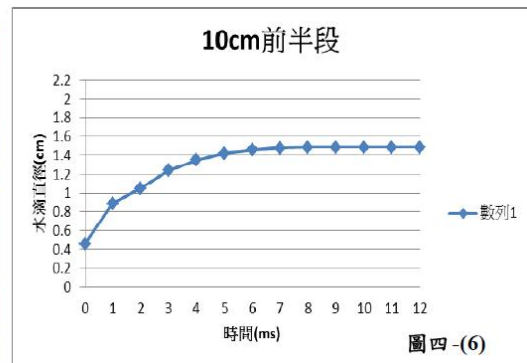
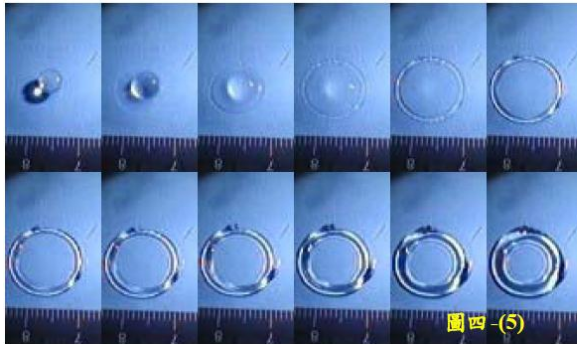


#### (二)撞擊後的後半段部分(5 毫秒/張)

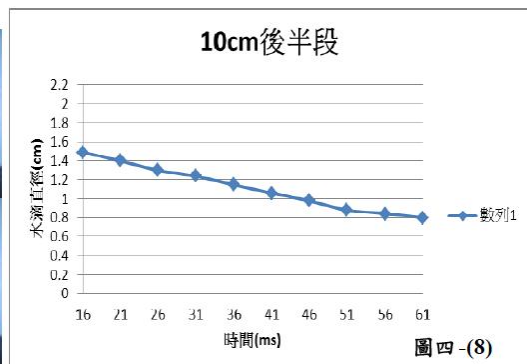
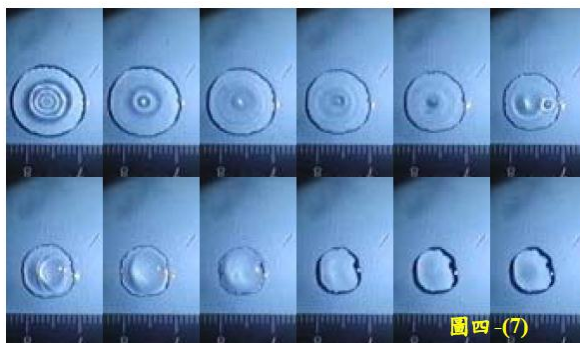


## 二、食鹽水撞擊玻璃時的傳播現象

### (一)撞擊後的前半段部分(1 毫秒/張)

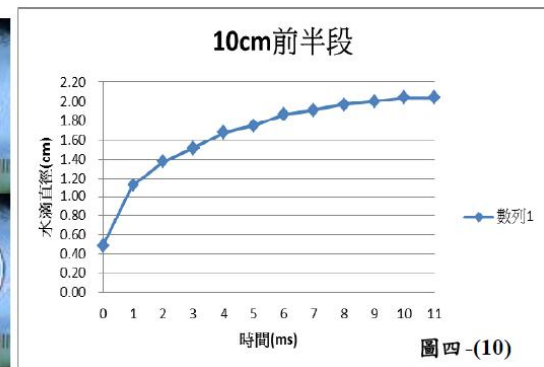
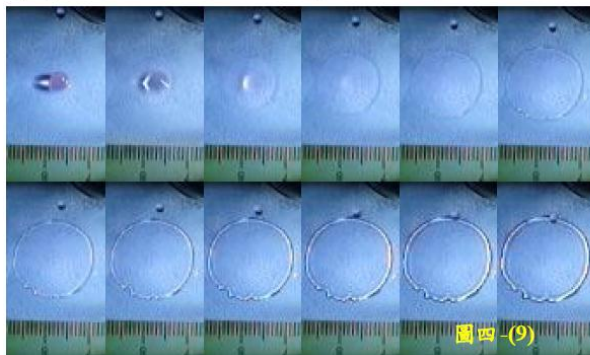


### (二)撞擊後的後半段部分(5 毫秒/張)

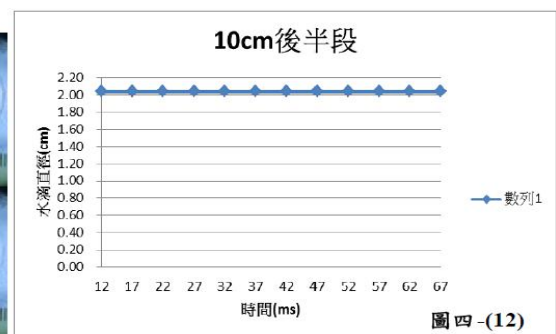
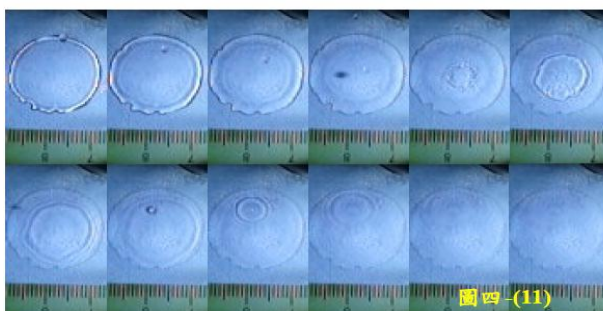


## 三、酒精撞擊玻璃時的傳播現象

### (一)撞擊後的前半段部分(1 毫秒/張)

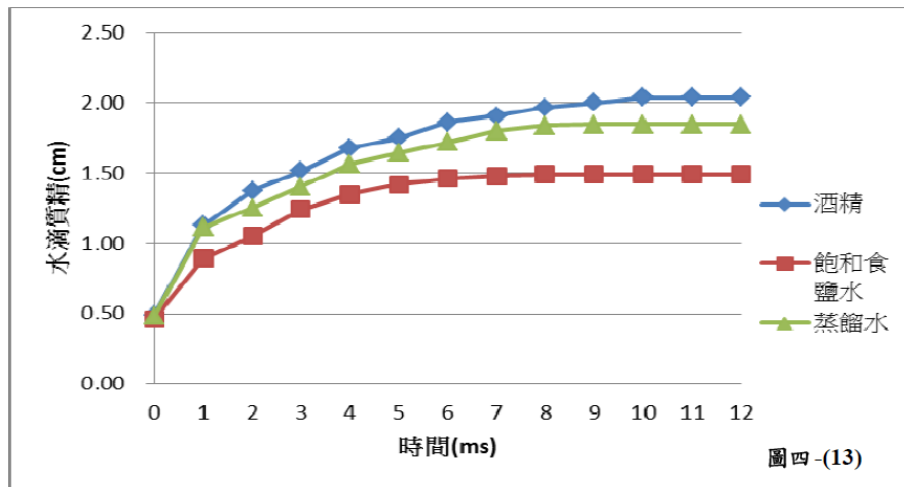


### (二)撞擊後的後半段部分(5 毫秒/張)



#### 四、討論與分析：

##### (一)蒸餾水、酒精及飽和食鹽水形變量(直徑變化)與時間關係圖：



##### (二)總結：

在此實驗中，我們除探討直徑變化量之外，我們還探討一個十分奇特的現象，那便是在食鹽水環狀波彈回的過程。

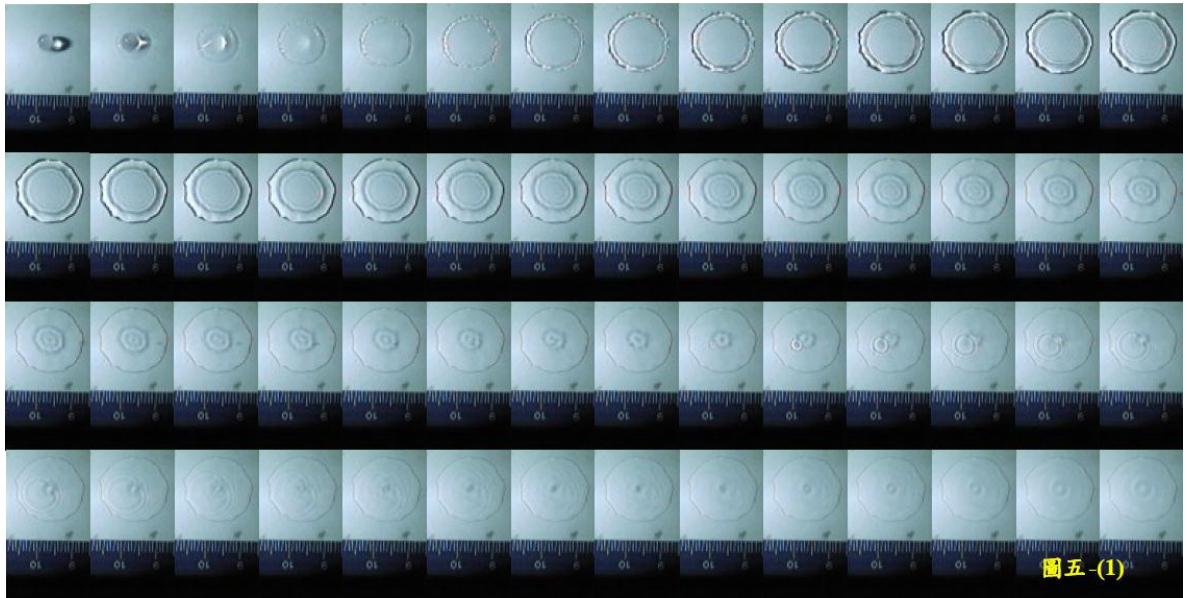
首先，我們可以看到，在這三種液體間，其液珠形變量由酒精最大，飽和食鹽水次之，蒸餾水最小。此部份我們亦可用 Weber Number 來探討。在此實驗中， $d_0$  及  $v^2$  為定值。所以我們在此只討論  $\rho$  與  $\sigma$  之比值。而在這三者之中，酒精之表面張力與密度之比值最大，蒸餾水次之，而飽和食鹽水最小。而我們從關係圖一中可以發現，飽和食鹽水之形變量最小，酒精之形變量最大，也就是說，當不同液體時，Weber Number 越大，其形變量越大。

在食鹽水的環狀波彈回部分，主要的關鍵就是其表面張力。當液珠撞擊玻璃表面，其薄水層會不斷向外傳播，而傳播過程中，其薄水層向外傳播的能量，受到附著力之影響，會逐漸減少。當薄水層達到最大直徑時，其向外傳播能量為 0。在此時，若是表面張力較附著力大者，便會使薄水層向內收縮。

## 實驗五、觀察液滴撞擊不同固體表面時的傳播現象

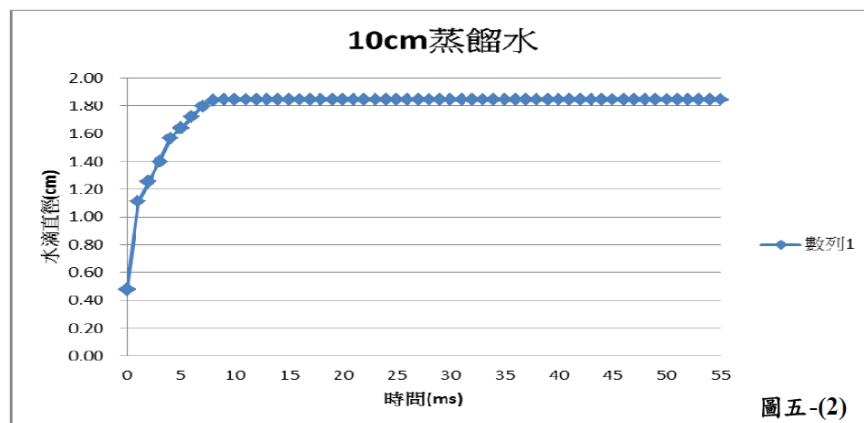
### 一、蒸餾水撞擊玻璃表面時的傳播現象

(一) 水滴撞擊玻璃表面之後的形變照片：每張照片間隔 1 毫秒



(二) 水滴撞擊玻璃表面之後的直徑變化：

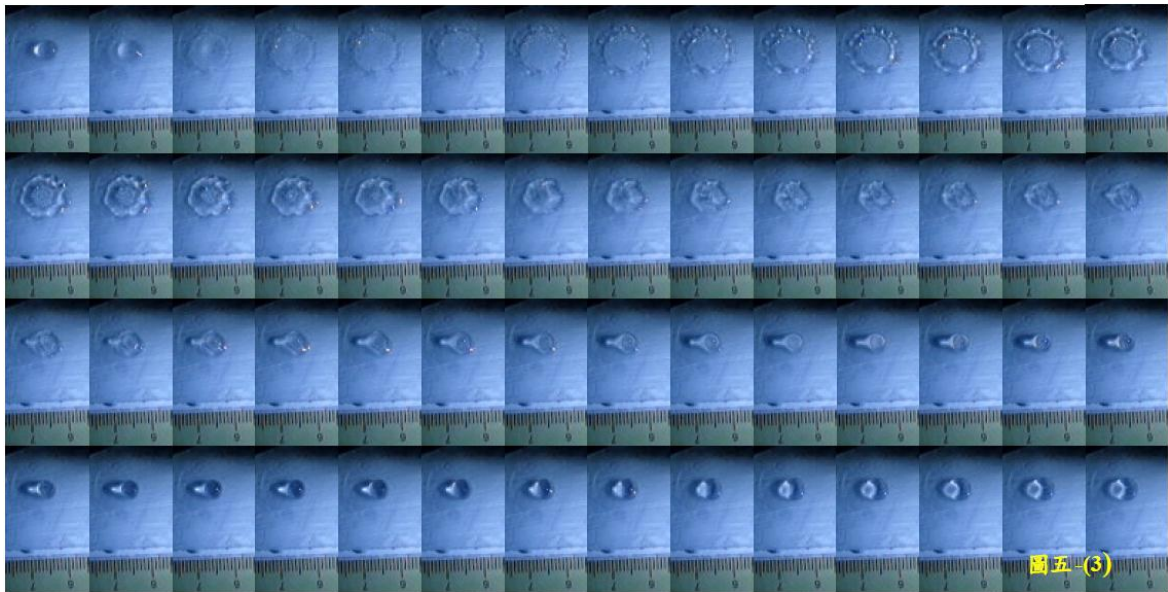
時間(毫秒)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
直徑(公分)	0.45	1.17	1.25	1.33	1.44	1.53	1.62	1.65	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
時間(毫秒)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
直徑(公分)	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
時間(毫秒)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
直徑(公分)	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
時間(毫秒)	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
直徑(公分)	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66



圖五-(2)

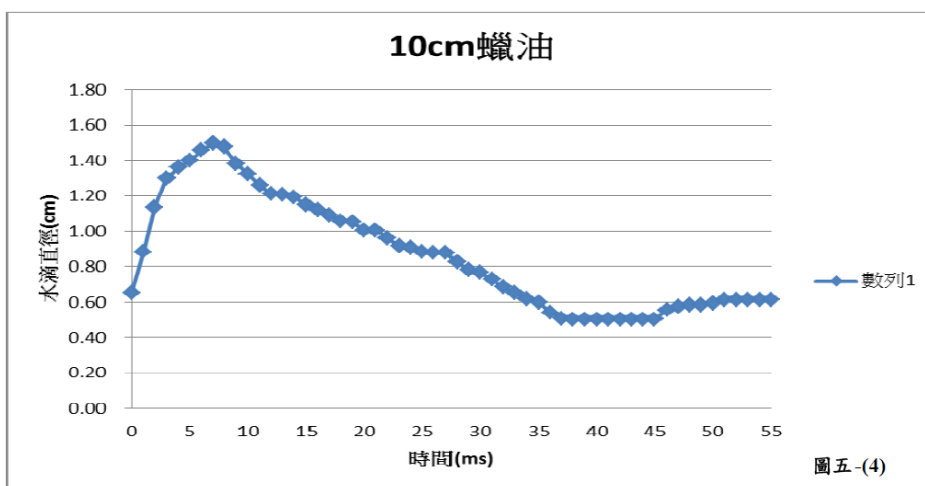
## 二、蒸餾水撞擊固體蠟油表面時的傳播現象

(一) 水滴撞擊固體蠟油表面之後的形變照片：每張照片間隔 1 毫秒



(二) 水滴撞擊固體蠟油表面之後的直徑變化：

時間 (毫秒)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
直徑 (公分)	0.65	0.88	1.14	1.30	1.36	1.40	1.46	1.50	1.48	1.38	1.32	1.26	1.21	1.21
時間 (毫秒)	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
直徑 (公分)	1.19	1.15	1.12	1.09	1.06	1.05	1.01	1.01	0.96	0.92	0.91	0.88	0.88	0.88
時間 (毫秒)	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
直徑 (公分)	0.83	0.78	0.77	0.73	0.68	0.65	0.62	0.60	0.54	0.51	0.50	0.50	0.50	0.50
時間 (毫秒)	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
直徑 (公分)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.55	0.57	0.59	0.59	0.59	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61



圖五-(4)

### 三、討論與分析

此實驗中，我們可以看到抹了蠟油的表面，有收縮的現象，這是因為其附著力變小的緣故。當液珠撞擊一般玻璃表面時，薄水層在擴散的過程中，由於其附著力較大，且大於其表面張力，因此，其薄水層在傳播過程中的合力與撞擊面夾角較小，直徑變化量較大。且當薄水層達到最到大直徑時，薄水層得以維持其直徑。但當液珠撞擊玻璃+蠟油表面時，由於其附著力較小，液珠撞擊其表面時，產生的合力方向，與撞擊面之夾角較大，薄水層直徑變化量較小，其達到最大直徑時也較難以維持其形狀，因此在第七毫秒時發生直徑開始逐漸縮小的情形。而由於表面的附著力較小，表面張力的影響變較大，於是形成了接近球形的狀態。

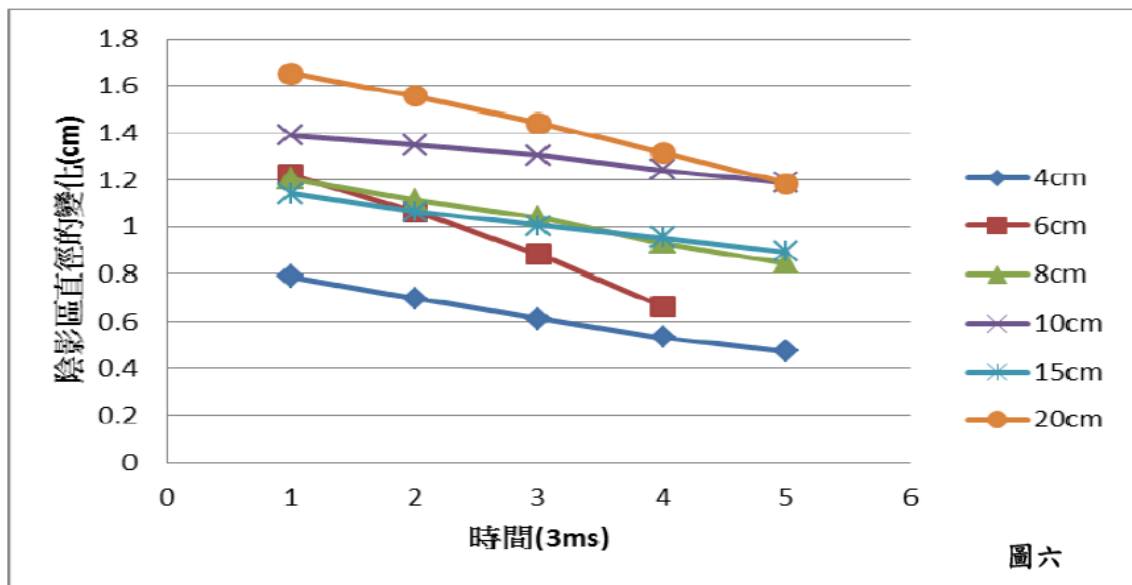
從表二中我們可以看出第零毫秒至第七毫秒間，薄水層主要呈現向外傳播的情形，此時主要受到慣性力的影響，而到了第八毫秒時，薄水層開始向內收縮，此時則是受到波彈回時的力量，到了第五十一毫秒時，直徑又些微的增加，此時是受到受到傳至薄水層中心的環狀波再度反彈，造成些微的直徑些微的改變。

## 實驗六、觀察水滴內部波紋的變化現象

### 一、最外圈陰影直徑變化

	4cm	6cm	8cm	10cm	15cm	20cm
0ms	0.79	1.22	1.20	1.39	1.14	1.65
3ms	0.70	1.07	1.12	1.35	1.07	1.56
6ms	0.61	0.88	1.04	1.31	1.01	1.44
9ms	0.53	0.67	0.93	1.24	0.95	1.32
12ms	0.47	無法辨識	0.84	1.19	0.89	1.19

### 二、討論與分析：

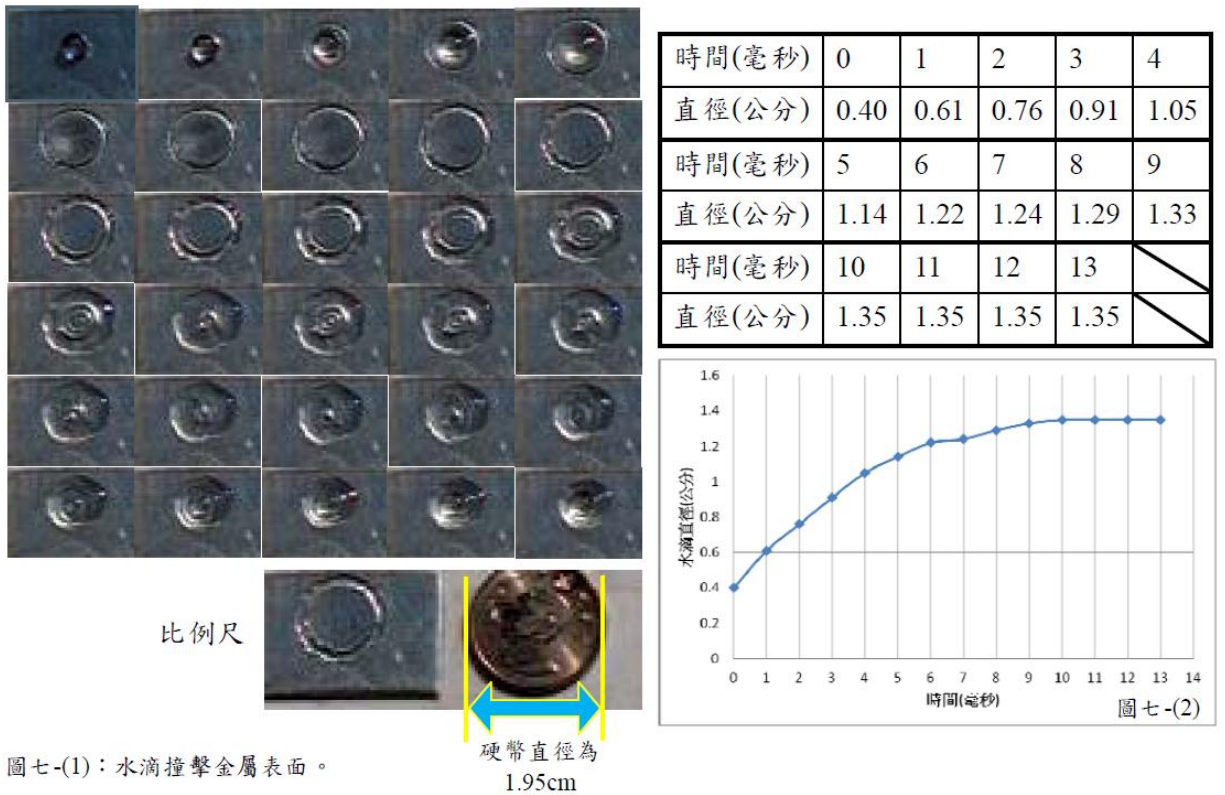


在實驗六中，我們省略了高度為 2cm 這項，這是因為在高度為 2cm 時，波紋難以辨識。而在其他的高度中，雖然撞擊玻璃時的速度不相同，但他的環狀波在彈回時幾乎是呈等速率的彈回。



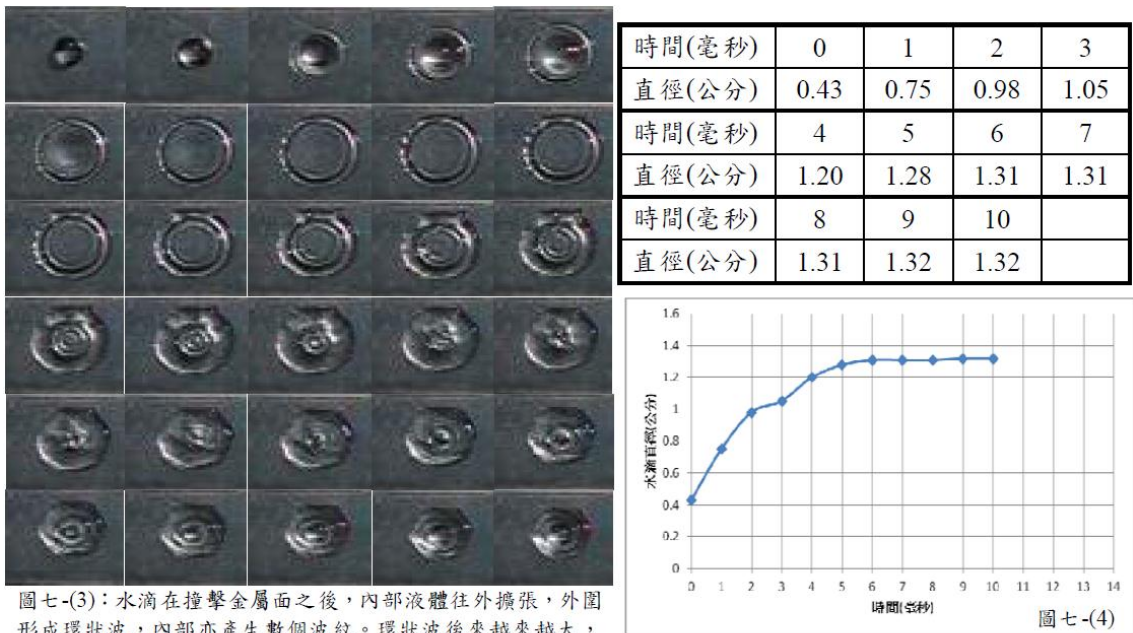
## 實驗七、觀察水滴撞擊不同溫度的金屬表面的傳播現象

一、水滴由 5cm 高的地方自由落下，金屬表面的溫度為 20°C。



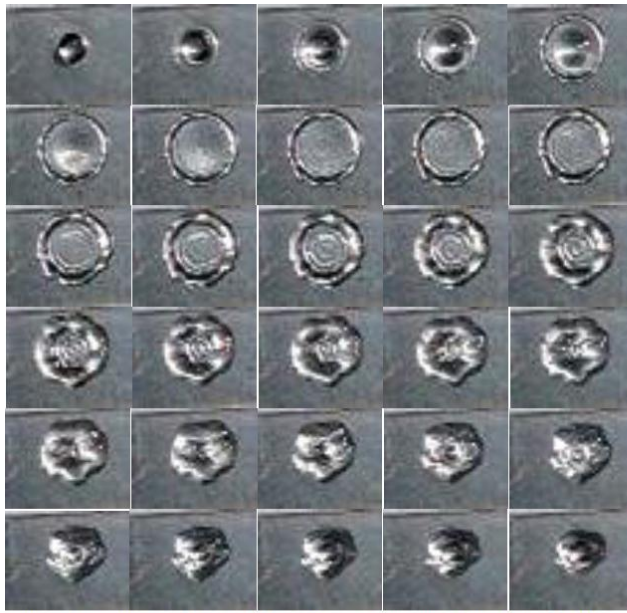
圖七-(1)：水滴撞擊金屬表面。

二、水滴由 5cm 高的地方自由落下，金屬表面的溫度為 50°C。

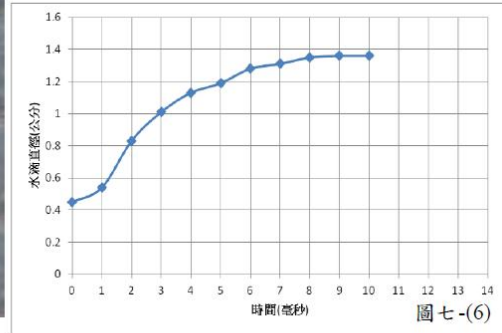


圖七-(3)：水滴在撞擊金屬面之後，內部液體往外擴張，外圍形成環狀波，內部亦產生數個波紋。環狀波後來越來越大，這是因為水滴被加熱的結果。

三、水滴由 5cm 高的地方自由落下，金屬表面的溫度為 100°C。

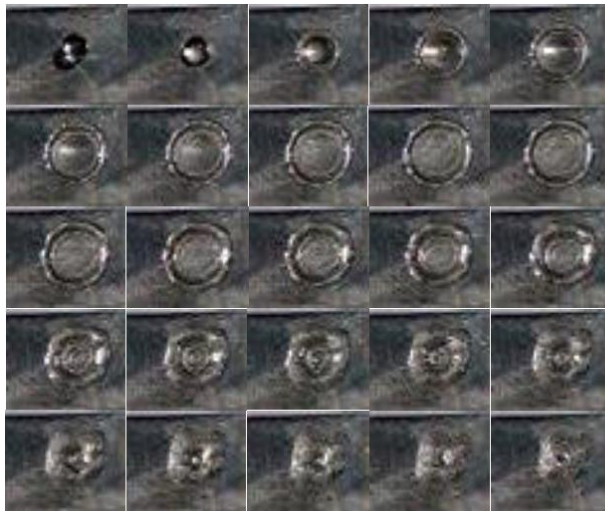


時間(毫秒)	0	1	2	3
直徑(公分)	0.45	0.54	0.83	1.01
時間(毫秒)	4	5	6	7
直徑(公分)	1.13	1.19	1.28	1.31
時間(毫秒)	8	9	10	
直徑(公分)	1.35	1.36	1.36	

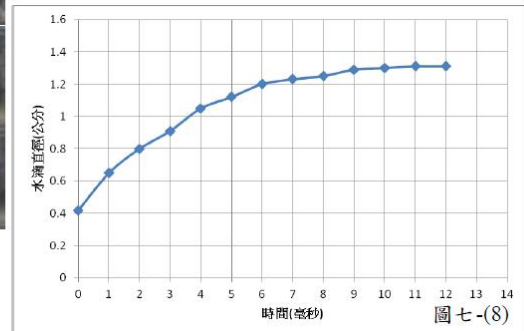


圖七-(5)：水滴在撞擊金屬面之後，內部液體往外擴張，外圍形成環狀波，內部亦產生數個波紋。環狀波後來越來越大，這是因為水滴被加熱的結果。

四、水滴由 5cm 高的地方自由落下，金屬表面的溫度為 150°C。

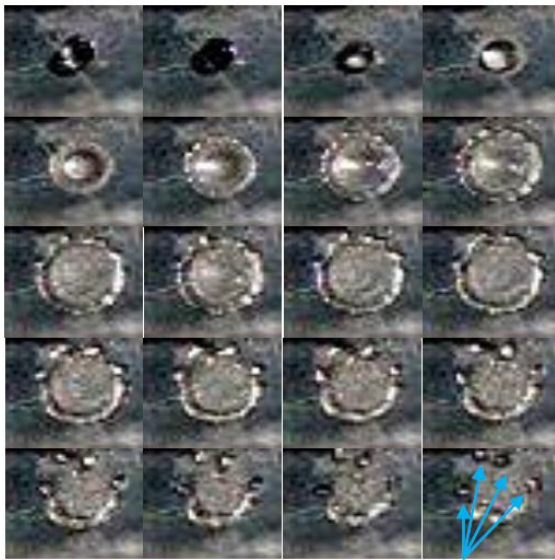


時間(毫秒)	0	1	2	3	4
直徑(公分)	0.42	0.65	0.80	0.91	1.05
時間(毫秒)	5	6	7	8	9
直徑(公分)	1.12	1.20	1.23	1.25	1.29
時間(毫秒)	10	11	12		
直徑(公分)	1.30	1.31	1.31		



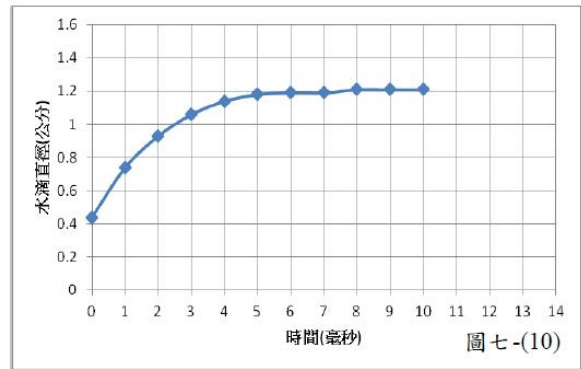
圖七-(7)：水滴在撞擊 150°C 金屬面之後的擴張情形。

五、水滴由 5cm 高的地方自由落下，金屬表面的溫度為 200°C。



圖七-(9)：水滴在撞擊 200°C 金屬面之後的擴張情形。水珠最後形成數顆小水滴而沒有縮合回去，如圖箭頭處。

時間(毫秒)	0	1	2	3
直徑(公分)	0.44	0.74	0.93	1.06
時間(毫秒)	4	5	6	7
直徑(公分)	1.14	1.18	1.19	1.19
時間(毫秒)	8	9	10	
直徑(公分)	1.21	1.21	1.21	

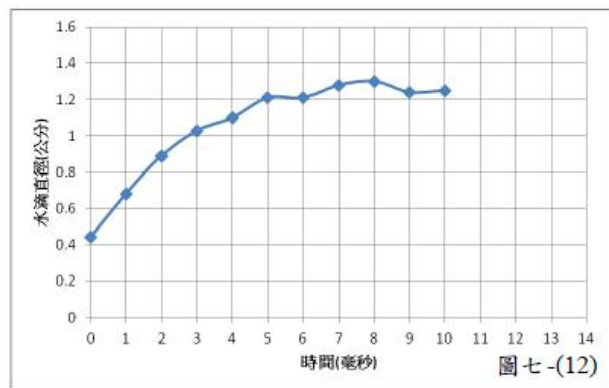


六、水滴由 5cm 高的地方自由落下，金屬表面的溫度為 400°C。

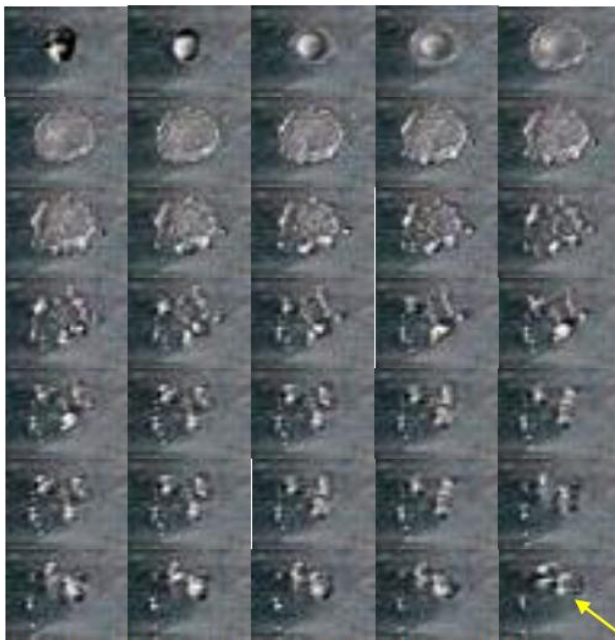


圖七-(11)：水滴在撞擊 400°C 金屬面之後的擴張情形。水珠最後形成數顆小水滴而沒有縮合回去，如圖箭頭處。

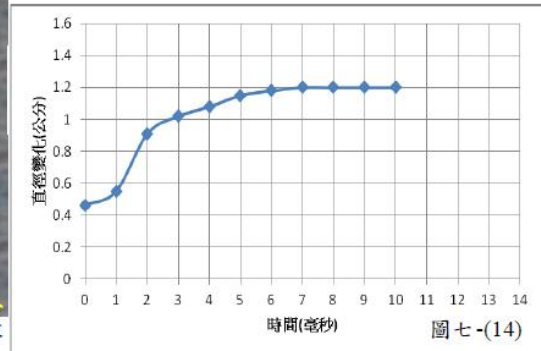
時間(毫秒)	0	1	2	3
直徑(公分)	0.41	0.68	0.89	1.03
時間(毫秒)	4	5	6	7
直徑(公分)	1.10	1.21	1.21	1.28
時間(毫秒)	8	9	10	
直徑(公分)	1.30	1.24	1.25	



七、水滴由 5cm 高的地方自由落下，金屬表面的溫度為 500°C。

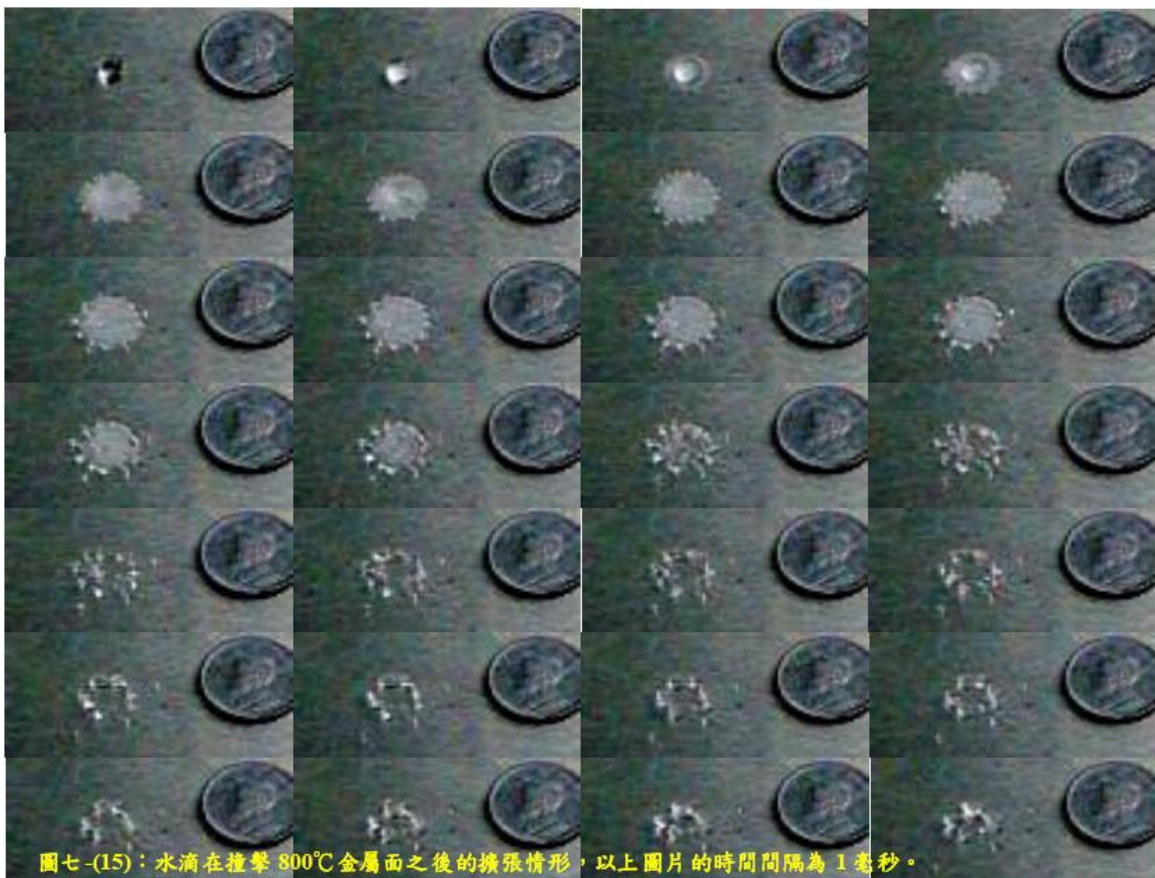


時間(毫秒)	0	1	2	3
直徑(公分)	0.46	0.55	0.91	1.02
時間(毫秒)	4	5	6	7
直徑(公分)	1.08	1.15	1.18	1.20
時間(毫秒)	8	9	10	
直徑(公分)	1.20	1.20	1.20	



圖七-(13)：水滴在撞擊 500°C 金屬面之後的擴張情形。水珠最後形成一顆較大的水滴，如箭頭處。

八、水滴由 5cm 高的地方自由落下，金屬表面的溫度為 800°C。

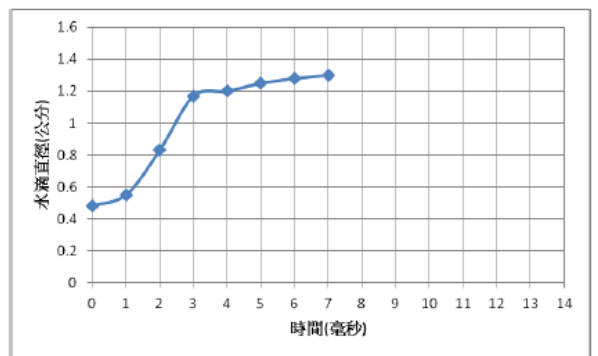


圖七-(15)：水滴在撞擊 800°C 金屬面之後的擴張情形，以上圖片的時間間隔為 1 毫秒。



圖七-(16)：水滴在撞擊 800°C 金屬面之後的擴張情形，以下圖片的時間間隔 4 毫秒。我們發現水滴最後聚集起來形成一顆水滴。

時間(毫秒)	0	1	2	3
直徑(公分)	0.48	0.55	0.83	1.17
時間(毫秒)	4	5	6	7
直徑(公分)	1.20	1.25	1.28	1.30



### 九、討論與分析：

從實驗七中我們可以看到：20°C、50°C、100°C 及 150°C 薄水層地的直徑並沒有甚麼太大的改變，只是在最後的部分有彈回的現象。而到達 200°C 時，薄水層開始出現碎裂的情形。而當溫度 400°C、500°C 時，碎裂的情形更佳的明顯。而到達 800°C 時，薄水層碎裂後，碎裂部分竟然又合而為一，形成一顆較大的水珠。

首先我們探討其彈回的現象，當液珠撞擊金屬表面時，若溫度不高，在液珠底部因加熱而形成的蒸氣層對水珠並沒有這麼大的影響，因此，在此情況下，薄水層仍呈現圓形。但隨著溫度的升高，蒸氣層影響較明顯，減少了液滴與金屬表面間的摩擦力與附著力，且在薄水層傳播的過程中，液體之內聚力提供了薄水層收縮的力量。因此，當溫度越來越高時，雖然在此實驗中內聚力之值相等，但其附著力及摩擦力均減少，相較之下內聚力影響便較大，使水珠收縮之力量較強。而此時由於水珠收到高溫的影響，開始出現明顯的蒸發情形，因此，水珠在此出現碎裂情形。但由於內聚力的影響，即使薄水層碎裂，其碎裂而在空中彈跳部分亦受到內聚力之影響，會向中彈回，甚至再度合而為一。

## 肆、結論與應用

### 實驗一、液滴體積測量

1. 實驗一中，我們測得蒸餾水、飽和食鹽水及酒精之密度皆相近，且液珠之半徑皆相差不大。

### 實驗二、測量液滴掉落的速度

1. 水滴落下的加速度  $974.9\text{cm/s}^2$  與實際自由落體加速度為  $980\text{cm/s}^2$  的誤差為 0.51%，其誤差主要來自空氣阻力。
2. 其速度與高度關係圖及其時間與落下高度關係圖皆呈曲線，其函數圖形協助我們做為 Weber Number 中速度之依據。

### 實驗三、觀察不同高度時，水滴撞擊固體表面(玻璃)時的傳播現象

1. 水滴直徑明顯改變之，極有可能已撞擊玻璃表面。
2. 水滴撞擊玻璃大約六至八毫秒薄水層即可到達最大變形量。
3. 在傳播的過程中，在外圍部分形成了環狀波。
4. 薄水層傳播速率會隨時間增加而減少，尤其是出現在第零至第二毫秒之間。
5. 若以 Weber Number 來探討，速度越大時，水珠其形變量也越大，水珠撞擊表面時，隨著高度增加，其直徑變化量亦增加，但期關係圖區現趨於平緩，於是我們推測，當液珠撞擊玻璃表面時，到達一定速度後，其形變量會達到一最大值，也就是說，其薄水層的直徑，有一最大值。

### 實驗四、觀察不同液滴撞擊固體表面(玻璃)時的傳播現象

1. 若以 Weber Number 來探討，表面張力與密度之比值最大者，水珠直徑變化量越大。
2. 液體若是表面張力較撞擊面附著力大者，在其薄水層達到最大直徑時，便會向內收縮。

### **實驗五、觀察液滴撞擊不同固體表面時的傳播現象**

1. 若液珠撞擊表面之附着力較小，其薄水層在傳播過程中的合力與撞擊面夾角較大，直徑變化量較小。當薄水層達到最大直徑時，薄水層難以維持其直徑，使其產生收縮現象。並在最後形成一球形。而此時傳至薄水層中心的環狀波再度反彈，造成些微的直徑些微的改變。

### **實驗六、觀察水滴內部波紋的變化現象**

1. 雖然水珠撞擊玻璃時的速度不相同，但他的環狀波在彈回時幾乎是呈等速率的彈回。

### **實驗七、觀察水滴撞擊不同溫度的金屬表面的傳播現象**

1. 當水珠撞擊 20°C、50°C、100°C 及 150°C 的表面時，其蒸氣層對此過程之結果影響並不大，只是在最後的部分有彈回的現象。
2. 當撞擊面溫度達到 200°C 時，薄水層開始出現碎裂的情形。而隨著溫度的升高，蒸氣層影響較大，減少水珠與金屬表面之摩擦力及附着力，若同時，薄水層產生收縮現象，其碎裂部分又合會而為一，形成一顆較大的水珠。

## 伍、參考文獻

1. 水珠滴落到固液表面之擴散探討，第四十七屆中小學科學展覽會 高中組物理科
2. The influence of surface tension gradients on drop coalescence , PHYSICS OF FLUIDS 21, 072107 2009 , François Blanchette,Laura Messio, and John W. M. Bush
3. Between Bouncing And Splashing Water Drops On A Solid Surface , Bojan Durickovic,Kathleen Varland
4. 流體的性質，細說高中物理(二) ，建弘出版社



## 評語

1. 本展品以高速影像方法來研究液滴在撞擊固體表面時所產生的流力現象，這是目前在國際上大家都感興趣的題目，作者所使用的方法十分不錯，能把這個現象十分清楚的呈現，但可惜的是，本作品的創意不大，所描述的現象大多都能在網路上找到。
2. 作者可考慮以不同的複合液體來進行量化實驗，以比較不同流力特性之液體在撞擊時所產生的現象。這種研究目前還不多見。