

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

第一名

最佳創意獎

030110

水滴在高溫鋸齒狀金屬表面上的爬坡現象

學校名稱：臺中縣立大雅國民中學

作者：	指導老師：
國一 陳眉君	鐘文生
國一 黃凡真	
國一 張芳瑤	
國一 王虹雅	

關鍵詞：高溫、鋸齒、向上爬坡

得獎感言



一年前，在老師的鼓勵之下，我們四個人參加了科展，開始了一段漫長的路。

老師曾經對我們說：「科展是你們人生的轉捩點！」他說的沒錯，我確實學到了很多，特別是克服緊張，以前我站在臺上總是會緊張得發抖，但是，現在我能勇敢的站在臺上，一點也不膽怯。

我認為科展最令我難忘的不是第一名的成績，而是辛苦的過程。我們實驗中的金屬面是由鐵片排列而成的，過程中，我們常要反覆的排列鐵片，每次一排就要花上數小時。還有，在驗證「蒸汽壓」的實驗當中，我們還曾經被滾燙的水滴炸傷。

即使實驗有這麼多困難，我還是不斷的告訴自己：努力會終有所成的！果真，我們的實驗得到了評審的肯定。當然，如果沒有老師的指導，我們的實驗過程會更加辛苦，也因為他的支持，我們的才有這麼耀眼的成績，「老師，謝謝您」。

摘要

根據我們的研究，發現水滴可以在鋸齒狀金屬表面上移動，而且會向上爬升，爬坡角度最大為 20 度角。我們拍攝很多水滴的爬坡現象，我們觀察到水滴向高處移動的運動方式，發現水滴的前端會向上、向前凸起，並且會伸長而後縮短，表示有一個力量造成這樣的情形。我們知道水滴與高溫金屬面之間會存在一層蒸氣層，我們認為這層蒸氣層是造成水滴向上爬升的主要原因。我們可藉由改變「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值，來控制水滴的移動方向，鋸齒斜面長所面對的方向，即為水滴的移動方向，可見鋸齒狀金屬面的形狀，是讓水滴向上爬升的另一個原因。我們也發現，水滴的爬升速率會受到鋸齒大小、鋸齒斜面長與鋸齒高的夾角、液滴大小與液滴的表面張力所影響。

壹、研究動機

學期初我們決定參加校內科展競賽，一開始，我們的研究方向為：「水滴的蒸發現象是否與金屬材質或與凹凸不平的表面而有不一樣的狀況？」。研究的過程中，我們購買一般工人使用的鋸子來做為一個凹凸不平的表面，但我們卻發現滴在高溫鋸齒狀鋸子上方的水滴，會停不下來，而且都是往固定的方向滾動，如果我們把鋸子交換 180 度方向，接下來的水滴則往另一個方向滾動。本來以為是長條狀的鋸子沒有水平的關係，所以我們把鋸子的其中一邊架高，讓鋸子成五度的傾斜角，結果水滴會有往上爬升的現象。這個有趣的現象引起了我們的注意，我們查遍歷屆全國科展的所有作品，找到在全國第 48 屆科展比賽中，有一篇作品可以使水滴向上爬升【1】，但不同的是，作者是利用板子震動的方式來使水滴向上爬升，我們並沒有發現全國科展中有人使用加熱的方式來使水滴向上移動。於是我們決定改變研究題目為：「水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬坡現象」，期望能知道水滴向上爬升的原因。

貳、研究目的

實驗一：了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與**金屬表面溫度**的關係。

實驗二：了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與**鋸齒大小**的關係。

實驗三：了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與**液滴大小**的關係。

實驗四：了解液滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與**液滴表面張力**的關係。

實驗五：了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與**爬升角度**的關係。


實驗六：了解「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值對**水滴的滾動方向**是否有決定性的影響？


實驗七：了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯方式及原因。

參、研究設備與器材

1、瓦斯爐：用來加熱鐵片。

2、有鋸齒狀的鋸子數個：數個疊在一起，形成一個較寬廣的爬升坡道，使得水滴往上爬升。

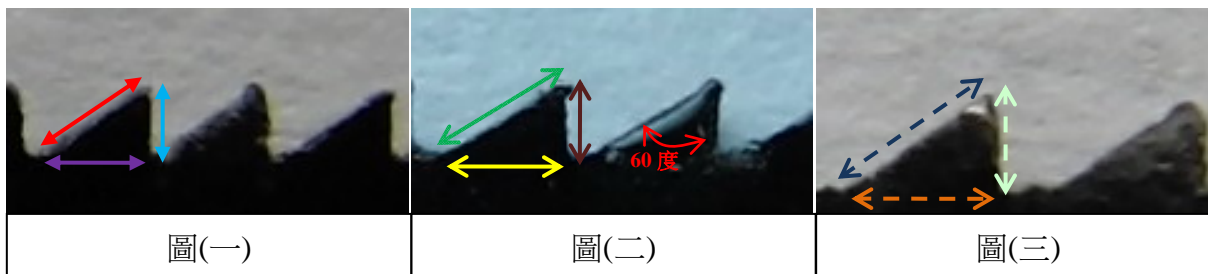
A 鐵片：鋸齒間距：1.09mm(標示箭頭為的長度)、

鋸齒斜面長：1.27mm(標示箭頭為的長度)、

鋸齒高：0.64mm(標示箭頭為的長度)，如下頁圖(一)。

B 鐵片：鋸齒間距：1.43mm(標示箭頭為 \longleftrightarrow 的長度)、
鋸齒斜面長：1.68mm(標示箭頭為 \longleftrightarrow 的長度)、
鋸齒高：0.84mm(標示箭頭為 \longleftrightarrow 的長度)，如圖(二)。

C 鐵片：鋸齒間距：1.75mm(標示箭頭為 \longleftrightarrow 的長度)、
鋸齒斜面長：2.00mm(標示箭頭為 \longleftrightarrow 的長度)、
鋸齒高：1.00mm(標示箭頭為 \longleftrightarrow 的長度)，如圖(三)。



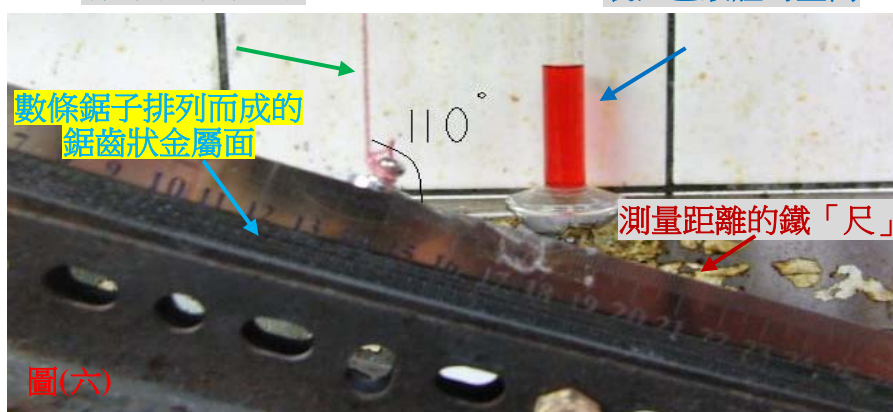
3、角鐵數個、螺絲、螺帽來固定鐵片。

4、照相機：使用每秒拍照 60 張照片的模式來拍照。如圖(四)。

5、溫度計：測量金屬表面的溫度。如圖(五)。實驗全圖如下圖(六)

綁有砝碼的繩子

裝紅色液體的量筒



圖(四)

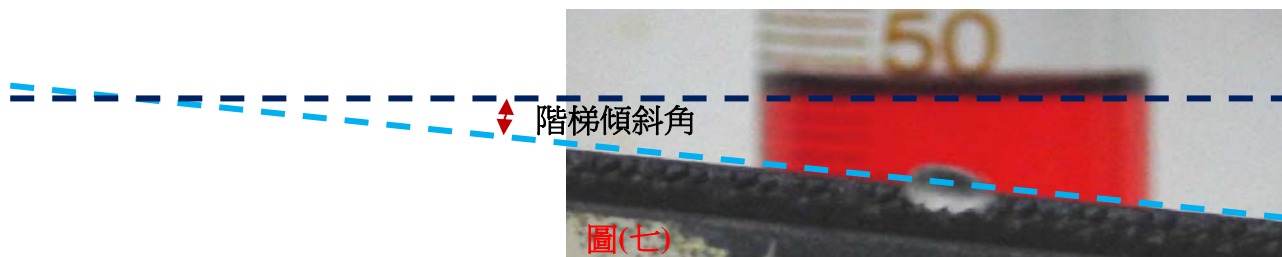


圖(五)

肆、研究過程與方法

說明一：計算水滴在鋸齒狀金屬上的爬升角度之方式：

- 1、我們在鋸齒狀金屬後方放一個量筒，內裝有紅色液體。紅色液體水面即為一個水平基準線。
- 2、架好器材後，拍攝實驗器材的照片中，紅色液體的水面和鋸齒狀金屬形成一個夾角，如圖(七)，把圖片放大印出後再測量。如圖中夾角即為水滴在鋸齒狀金屬上的爬升角度



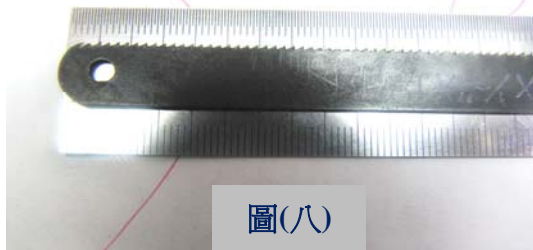
說明二：計算水滴爬升速率的方法：

- 1、使用照相機，我們設定拍照模式為 1 秒照 60 張照片。我們會在鋸齒狀金屬後方架設一個“尺”，來測量水滴爬升的距離。

- 2、拍照完畢後在電腦上放大測量。我們取的照片範圍共 15 張，時間間隔為 14/60 秒，計算水滴跑得距離，然後根據速率公式： $\text{速率} = \text{距離} \div \text{時間} = \text{距離} \div 14/60$
- 3、我們考慮到水滴剛接觸鋸齒狀金屬時，水滴正處於加速過程，我們忽略不計，所以我們取的照片範圍是從水滴接觸鋸齒狀金屬後的第 6 張圖片開始算起，一直取到第 20 張照片，取的照片範圍共 15 張，時間間隔為 14/60 秒

說明三：鋸齒狀金屬面的製造方法：

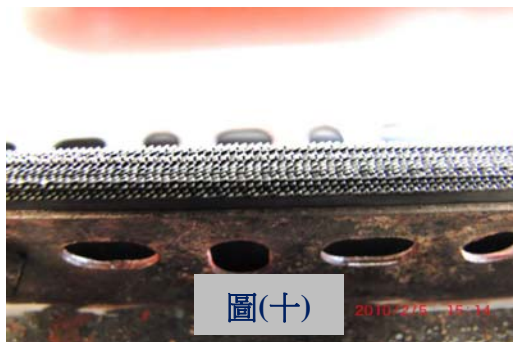
- 1、至五金行購買數條鋸子，如圖(八)。
- 2、把約 15 條鋸子並排，形成一個水滴可以滾動的面積，如圖(九)。
- 3、使用兩支角鐵把已排好的數條鋸子給固定住，如圖(十)。
- 4、放在瓦斯爐上加熱，整個實驗裝置如圖(十一)



圖(八)



圖(九)



圖(十)



圖(十一)

實驗一的實驗步驟

一、變因：

- 1、操縱變因：金屬表面溫度。
- 2、控制變因：水滴為 0.04c.c.，鋸齒傾斜 5 度角，使用蒸餾水，鋸齒使用 A 鐵片。

二、研究步驟：

- 1、將鋸齒狀金屬面固定傾斜 5 度角。
- 2、先將鋸齒狀金屬鐵片加熱至 200℃，然後滴下水滴，觀察水滴是否能沿鋸齒狀金屬階梯而向上爬升，若可以向上爬升，則計算水滴的爬升速率。
- 3、逐次增加金屬鐵片溫度至 400℃、500℃，觀察水滴是否能沿鋸齒狀金屬階梯而向上爬升。

實驗二的實驗步驟

一、變因：

- 1、操縱變因：鋸齒大小。(A、B、C 鐵片)

2、控制變因：水滴大小為 0.04 cc、水溶液為蒸餾水、鋸齒傾斜 5 度角。金屬表面溫度 400°C。

二、研究步驟：

- 1、將鋸齒鐵片放在瓦斯爐上加熱。
- 2、達到約 400°C 的溫度後，在 A、B、C 鐵片上方滴下水滴。
- 3、計算水滴在不同鋸齒的爬升速率，比較水滴爬升速率和鋸齒大小的關係。

實驗三的實驗步驟

- 一、變因：
- 1、操縱變因：改變水滴大小分別為：0.02 cc 與 0.04 cc 兩種
 - 2、控制變因：使用 A 鐵片、使用蒸餾水、鋸齒傾斜角度為 5 度角、溫度：約 400°C。

二、實驗步驟

- 1、將 A 鐵片放在瓦斯爐上加熱，等到一定的溫度後，在鐵片上滴不同大小水滴。
- 2、計算不同大小的水滴在鋸齒上的爬升速率。比較水滴的爬升速率和水滴大小的關係。

實驗四的實驗步驟

一、變因：

- 1、操縱變因：水溶液(水、鹽水、紅墨水)
- 2、控制變因：
 - 第一組實驗：水滴大小為 0.02 cc、鋸齒形狀使用 A 鐵片、鋸齒傾斜角度為 5 度角、溫度：約 400°C。
 - 第二組實驗：水滴大小為 0.04 cc、鋸齒形狀使用 A 鐵片、鋸齒傾斜角度為 12 度角、溫度：約 400°C。

二、實驗步驟：

- 1、將鋸齒鐵片放在瓦斯爐上加熱，等到一定的溫度後，在鐵片上滴不同的水溶液。
- 2、計算不同水溶液在鋸齒上的爬升速率，比較水滴的爬升速率和其成份的關係。

實驗五的實驗步驟

一、變因：

1、操縱變因：改變鋸齒傾斜角度，分別為：5、7.5、12、20 度等四種。

2、控制變因：

- 第一組實驗：水滴大小為 0.04 cc、使用蒸餾水、鋸齒形狀使用 A 鐵片。
- 第二組實驗：水滴大小為 0.02 cc、使用蒸餾水、鋸齒形狀使用 A 鐵片。

二、實驗步驟：

- 1、將鋸齒鐵片傾斜 5 度並放於瓦斯爐上加熱。
- 2、等到一定的溫度後，在鐵片上滴水滴。逐次增加鐵片角度至 7.5、12、20 度。
- 3、計算水滴在不同角度的爬升速率。比較水滴爬升速率和角度的關係。

實驗六的實驗步驟

一、變因：

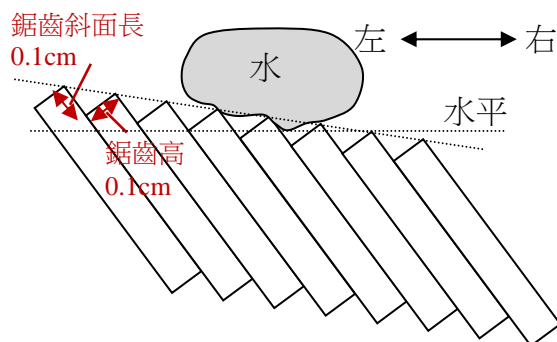
1. 操縱變因：改變「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值為 1、1.5 與 2 等三種。
2. 控制變因：使用蒸餾水，塑膠滴管滴出水滴(0.04c.c.)。

二、研究步驟：

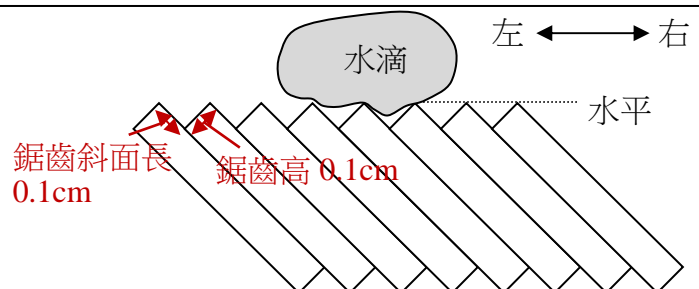
- 1、我們以厚度為 0.1 cm 的鋁片疊成階梯狀，共 3 種，如圖(十二、十三、十四)
- 2、將疊好的「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值為「1」的鋁片，放置在瓦斯爐上，如圖(十二)，先讓階梯面呈水平，如圖(十二-1)，接下來，加熱鋁片達水滴可以滾動的溫度，水滴滴在階梯表面上，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 3、承 2，讓階梯面向右傾斜向下(左高)，如圖(十二-2)，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 4、承 2，讓階梯面向左傾斜向下(右高)，如圖(十二-3)，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 5、將疊好的「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值為「1.5」的鋁片，放置在瓦斯爐上，如圖(十三)，先讓階梯面呈水平，如圖(十三-1)，接下來，加熱鋁片達水滴可以滾動的溫度，水滴滴在階梯表面上，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 6、承 5，讓階梯面向右傾斜向下(左高)，如圖(十三-2)，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 7、承 5，讓階梯面向左傾斜向下(右高)，如圖(十三-3)，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 8、將疊好的「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值為「2」的鋁片，放置在瓦斯爐上，如圖(十四)，先讓階梯面呈水平，如圖(十四-1)，接下來，加熱鋁片達水滴可以滾動的溫度，水滴滴在階梯表面上，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 9、承 8，讓階梯面向右傾斜向下(左高)，如圖(十四-2)，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 10、承 8，讓階梯面向左傾斜向下(右高)，如圖(十四-3)，統計水滴會往哪一個方向滾動？
- 11、分析結果。



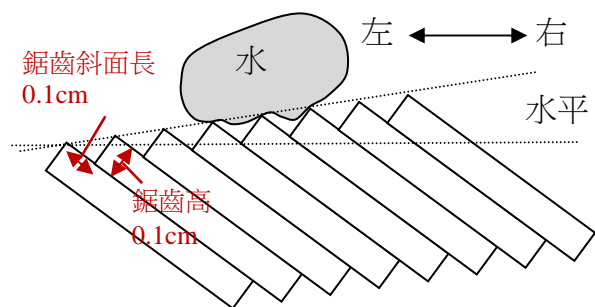
圖(十二)、實際圖



圖(十二-2)：階梯面左邊高，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 1



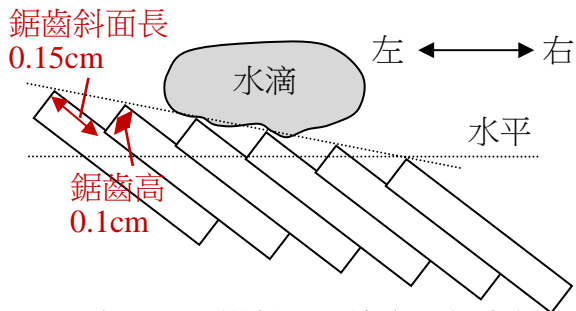
圖(十二-1)：階梯面呈水平，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 1



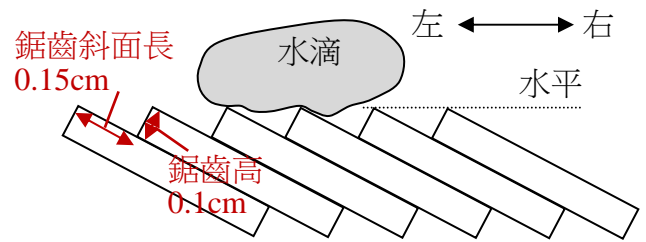
圖(十二-3)：階梯面右邊高，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 1



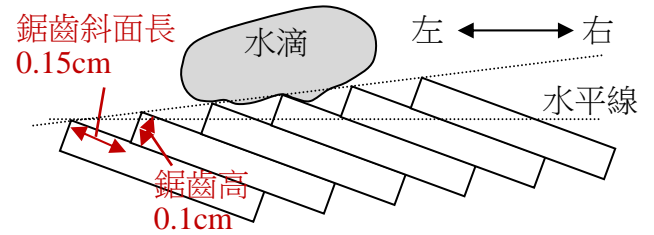
圖(十三)實際圖



圖(十三-2)：階梯面左邊高，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 1.5



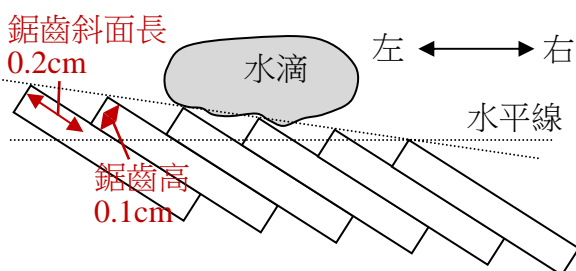
圖(十三-1)：階梯面呈水平，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 1.5



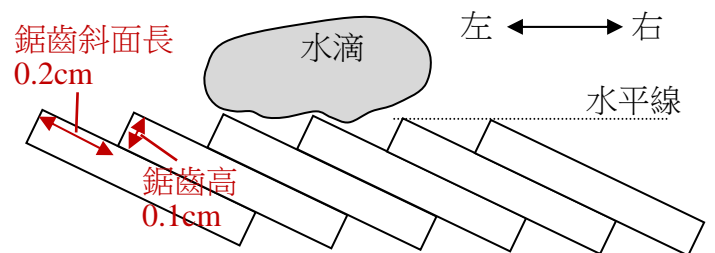
圖(十三-3)：階梯面右邊高，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 1.5



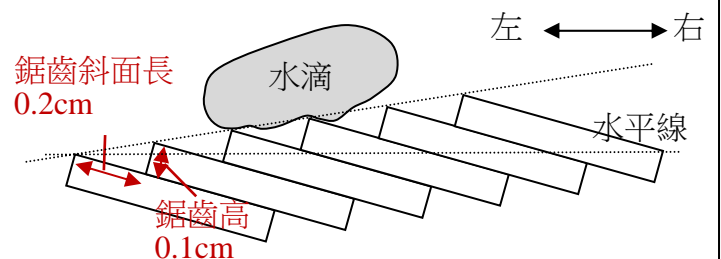
圖(十四)、實際圖



圖(十四-2)：階梯面左邊高，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 2



圖(十四-1)：階梯面呈水平，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 2



圖(十四-3)：階梯面右邊高，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值為 2

實驗七的實驗步驟

- 1、拍攝水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象。
- 2、將照片放大進行分析。

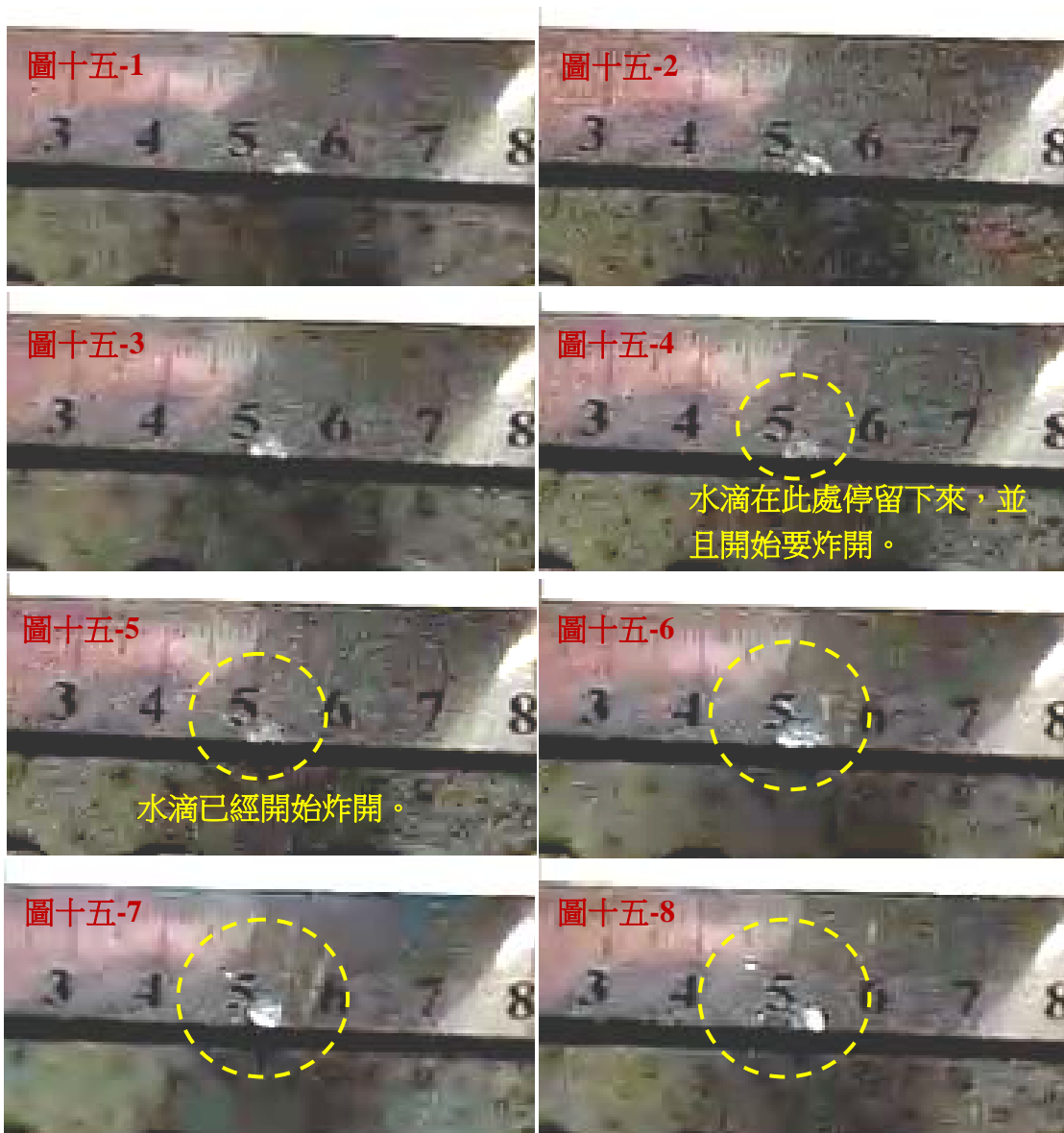
伍、研究結果

實驗一的實驗結果

了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與金屬表面溫度的關係。

一、實驗結果：

- 1、水滴在鋸齒狀金屬表面中要達到 400 度能結成珠狀，不會馬上蒸發，會向上滾動。
- 2、鋸齒狀金屬溫度不夠時(低於 400℃)，會造成液滴產生炸開的現象。如圖十五。
- 3、我們用數個鋸子所排列而成的鋸齒狀金屬表面，非常難以加熱。我們放在瓦斯上用大火燒 30 分鐘才能達到約 400℃ 的表面溫度，即使連續燒 2 個小時，溫度頂多也只有約 480℃，可見鋸子的導熱性很差。
- 4、後來的實驗，我們皆是用大火燒 30 分鐘，製造約 400℃ 的表面溫度，再把水滴滴在鋸齒狀金屬表面上，觀察水滴的爬升情形。





實驗二的實驗結果

了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與鋸齒大小的關係。

此實驗的控制變因：水滴大小為 0.04 cc(塑膠滴管滴出)、使用蒸餾水、鋸齒傾斜角為 5 度角

一、水滴在 A 鐵片上的爬升速率：

次數	1	2	3	4	5	平均
距離(cm)	1.2	1.3	1.0	1.2	1.5	
時間(秒)	14/60	14/60	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	5.1	5.6	4.3	5.1	6.4	5.3

二、水滴在 B 鐵片上的爬升速率：

次數	1	2	3	平均
距離(cm)	1.4	2.6	2.2	
時間(秒)	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	6	11.1	9.4	8.8

三、水滴在 C 鐵片上的爬升速率：

次數	1	2	3	4	平均
距離(cm)	1.5	2.3	1.5	2.1	
時間(秒)	14/60	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	6.4	9.9	6.4	9	7.9

四、總結：

A、B、C 三種鐵片中，以 A 鐵片的鋸齒最小，C 鐵片的鋸齒最大，如圖(一)~(三)。在固定水滴大小的條件下，**鋸齒階梯的大小會影響水滴的爬升速率，其中以水滴在 B 鐵片上的爬升速率最快。**

實驗三的實驗結果

了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與水滴大小的關係。

此實驗的控制變因：蒸餾水、使用 A 鐵片、鋸齒傾斜角度為 5 度角

一、0.02 cc 水滴(針筒滴出)的爬升速率：

次數	1	2	3	平均
距離(cm)	3	2.7	2.8	
時間(秒)	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	12.9	11.6	12	12.2

二、0.04 cc 水滴的爬升速率：

實驗結果參考：<實驗二> 一、水滴在 A 鐵片上的爬升速率。

速率平均為 5.3 cm/s。

三、總結：

使用一樣的蒸餾水、A 鐵片、鋸齒傾斜角度為 5 度角的情形下，我們發現較大顆的水滴爬升的速率較慢。

實驗四的實驗結果

了解液滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與液滴成分的關係。

<第一組實驗>：此實驗的控制變因：使用 A 鐵片、鋸齒傾斜角度為 5 度角、液滴約為 0.02c.c.

一、蒸餾水滴的爬升速率：

實驗結果為 12.2cm/s，

參考：<實驗三> 一、0.02c.c.水滴(針筒滴出)的爬升速率。

二、鹽水液滴的爬升速率：

次數	1	2	3	4	5	平均
距離(cm)	4.4	4.3	5.25	4.8	5.05	
時間(秒)	14/60	14/60	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	18.9	18.4	22.5	20.6	21.6	20.4

三、紅墨水液滴的爬升速率：

次數	1	2	3	4	平均
距離(cm)	2.4	2.0	2.95	2.35	
時間(s)	14/60	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	10.3	8.6	12.6	10.1	10.4

四、總結：爬升速率大小依序為：食鹽水>蒸餾水>紅墨水。

<第二組實驗>：此實驗的控制變因：使用 A 鐵片、鋸齒傾斜角度為 12 度角、液滴約為 0.04c.c.

五、蒸餾水滴的爬升速率：

	1	2	3	4	平均
距離(cm)	2.6	2.6	2.7	2.9	
時間(s)	14/60	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	11.1	11.1	11.6	12.4	11.6

六、食鹽水滴的爬升速率：

次數	1	2	3	4	平均
距離(cm)	3.8	3.4	3.0	3.1	
時間(s)	14/60	14/60	14/60	14/60	
速率 (cm/s)	16.3	14.6	12.9	13.3	14.3

七、總結：爬升速率大小依序為：食鹽水>蒸餾水>紅墨水。

實驗五的實驗結果

了解水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與爬升角度的關係。

<第一組實驗>此實驗的控制變因：使用 A 鐵片、使用蒸餾水、液滴約為 0.04c.c.

一、水滴在 5 度角的鋸齒狀金屬中的爬升情形：

水滴移動速率：實驗結果參考<實驗二>：一、水滴在 A 鐵片上的爬升速率。
速率為 5.3 cm/s。

二、水滴在 7.5 度角的鋸齒狀金屬中的爬升情形：

(一)水滴移動速率：

	1	2	3	平均
距離(cm)	1.7	2.1	2.2	
時間(s)	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	7.3	9	9.4	8.6

(二)水滴移動照片圖：實驗結果參考圖十七<實驗七>-二。

三、水滴在 **12 度角** 的鋸齒狀金屬中的爬升情形：

水滴移動速率：

實驗結果參考<實驗四>、第二組實驗：五、蒸餾水滴的爬升速率。
速率為 **11.6cm/s**。

四、總結第一組實驗：

使用 A 鐵片、使用蒸餾水、液滴約為 0.04c.c.，在鋸齒面傾斜 12 度角內時，**水滴的爬升速率隨著角度變大而變快。**

<第二組實驗>此實驗的控制變因：使用 A 鐵片、使用蒸餾水、液滴約為 0.02c.c.

五、水滴在 **5 度角** 的鋸齒狀金屬中的爬升情形：

水滴移動速率：實驗結果為：12.2cm/s，參考<實驗四>第一組：一、的實驗結果。

六、水滴在 **7.5 度角** 的鋸齒狀金屬中的爬升情形：

(一)水滴移動速率：

	1	2	3	平均
距離(cm)	3.55	3.1	4.1	
時間(s)	14/60	14/60	14/60	
速率(cm/s)	15.2	13.3	17.6	15.4

(二)水滴移動照片圖：

實驗結果參考圖十八<實驗七>-三、A 鐵片、蒸餾水、液滴為 0.02c.c.、
鋸齒階梯傾斜 **7.5 度角**。

七、水滴在 **20 度角** 的鋸齒狀金屬中的爬升情形：

(一)水滴移動速率：

速率為 **5.6 cm/s**。

(二)水滴移動照片圖：

實驗結果參考圖十九<實驗七>-四、A 鐵片、液滴大小為 0.02c.c.、鋸齒階梯傾斜 **20 度角**。

八、總結第二組實驗：

使用 A 鐵片、使用蒸餾水、液滴約為 0.02c.c.，水滴在鋸齒面為傾斜 7.5 度角時的爬升速率，較傾斜 5 度角時來的大，此時**水滴的爬升速率有隨著角度變大而變快。**但是，傾斜 20 度角時的爬升速率又再變小。

實驗六的實驗結果

了解「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」對水滴的滾動方向是否有決定性的影響？

一、實驗數據：

鋸齒斜面長與鋸齒高的比值 階梯面傾斜情形	1	1.5	2
階梯面呈 水平 ，統計滴在上方的水滴會向左及向右滾動的機率	編號： <u>水平-1</u> 向右：50 % 向左：50 % (如圖十二-1)	編號： <u>水平-1.5</u> 向右：100% 向左： 0% (如圖十三-1)	編號： <u>水平-2</u> 向右：100% 向左： 0 % (如圖十四-1)
階梯面 向右傾斜向下(即左邊高、右邊低) ，統計滴在上方的水滴會向左及向右滾動的機率	編號： <u>左高右低-1</u> 向右：100 % 向左： 0 % (如圖十二-2)	編號： <u>左高右低-1.5</u> 向右：100% 向左： 0% (如圖十三-2)	編號： <u>左高右低-2</u> 向右：100% 向左： 0% (如圖十四-2)
階梯面 向左傾斜向下(即左邊低、右邊高) ，統計滴在上方的水滴會向左及向右滾動的機率	編號： <u>左低右高-1</u> 向右： 0% 向左：100% (如圖十二-3)	編號： <u>左低右高-1.5</u> 向右：90% 向左：10% (如圖十三-3)	編號： <u>左低右高-2</u> 向右：97 % 向左： 3 % (如圖十四-3)

二、總結：

- 1、根據實驗數據編號：左高右低-1、左高右低-1.5、左高右低-2 等三個實驗結果，水滴皆是向右移動，可以很容易理解的是，水滴一定會順著金屬階梯面向下的坡度而向下滾下去，即水會往低處流。但是，編號：左低右高-1.5 與左低右高-2 等兩個實驗數據，明明水滴應該向左的方向(往低處的方向)滾下去，但卻朝右方向(向高處的方向)滾上去，而編號：左低右高-1 卻沒有這樣的現象。
- 2、當階梯面呈現水平狀態時，照理說向左、向右滾動的機率應該各半，但實驗數據編號：水平-1.5、水平-2 兩個實驗結果，卻極為明顯的呈現向南方滾動的趨勢。
- 3、因此，我們認為水滴滾動的方向會受到階梯面形狀的影響，鋸齒斜面長與鋸齒高的比值若大於 1，也就是接觸到水滴的左右兩方的其中一方較大(此處是：鋸齒斜面長>鋸齒高)，水滴就會固定沿著一個方向滾動。若左方接觸面較大，則會向右滾動；若右方接觸面較大，則會向左滾動。我們判斷水滴的移動方向是看「鋸齒斜面長」所面向的方向來判斷，如果「鋸齒斜面長」面向”右上方”，則水滴會向南方滾動。

實驗七的實驗結果

拍攝水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象，放大進行分析。

一、B 鐵片、蒸餾水、液滴大小為 0.04c.c.、鋸齒階梯傾斜 5 度角。

圖十六-1 ， 0 秒



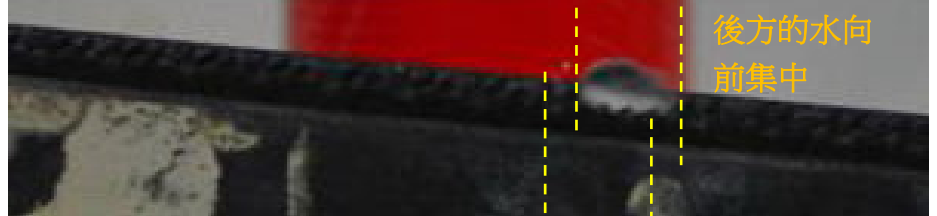
圖十六-2 ， 1/60 秒



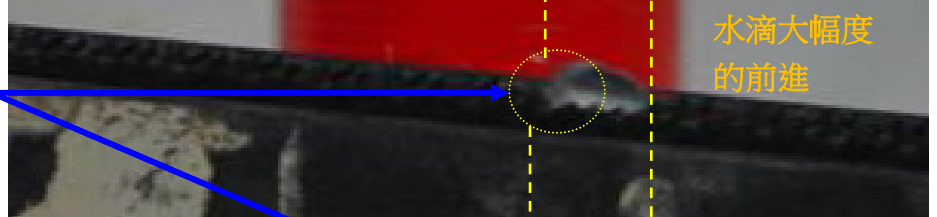
圖十六-3 ， 2/60 秒



圖十六-4 ， 3/60 秒



圖十六-5 ， 4/60 秒



圖十六-6 ， 5/60 秒



水滴前端受到激烈的加熱，水滴的形狀受到扭曲。緊接著水滴大幅度的前進，水滴整個被拉長。

這個過程，我們認為水滴因為往前移動的瞬間與金屬面接觸，受到高溫金屬面的加熱而產生大量的水蒸氣，而此水蒸氣的噴發對水滴產生一個力道，造成水滴激烈的震動。我們認為此水蒸氣的產生，可提供水滴一個向左方前進的動力，造成水滴向上移動。

我們發現水滴在前進的過程中，會依循：拉長、縮短、再拉長、再縮短等方式前進，我們稱為毛毛蟲運動。

水滴前端受到激烈的加熱，水滴的形狀受到扭曲。緊接著水滴大幅度的前進，水滴整個被拉長。

圖十六-7 ， 6/60 秒

水滴大幅度的前進，而且縮短本身自己的長度

圖十六-8 ， 7/60 秒

水滴大幅度的前進，且水滴拉長

圖十六-9 ， 8/60 秒

水滴大幅度的前進，而且縮短本身自己的長度

圖十六-10 ， 9/60 秒

水滴大幅度的前進，水滴向前集中

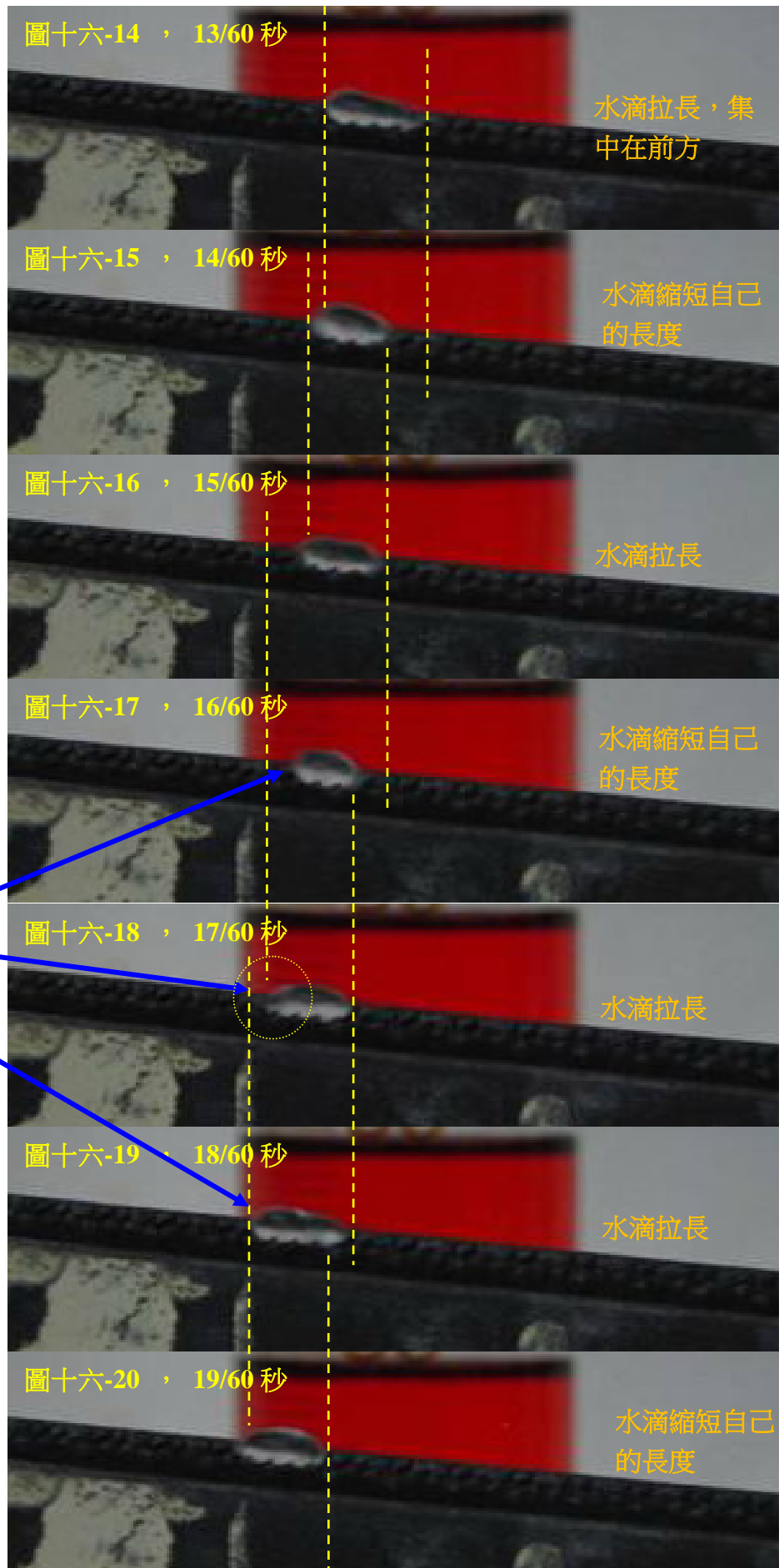
圖十六-11 ， 10/60 秒

圖十六-12 ， 11/60 秒

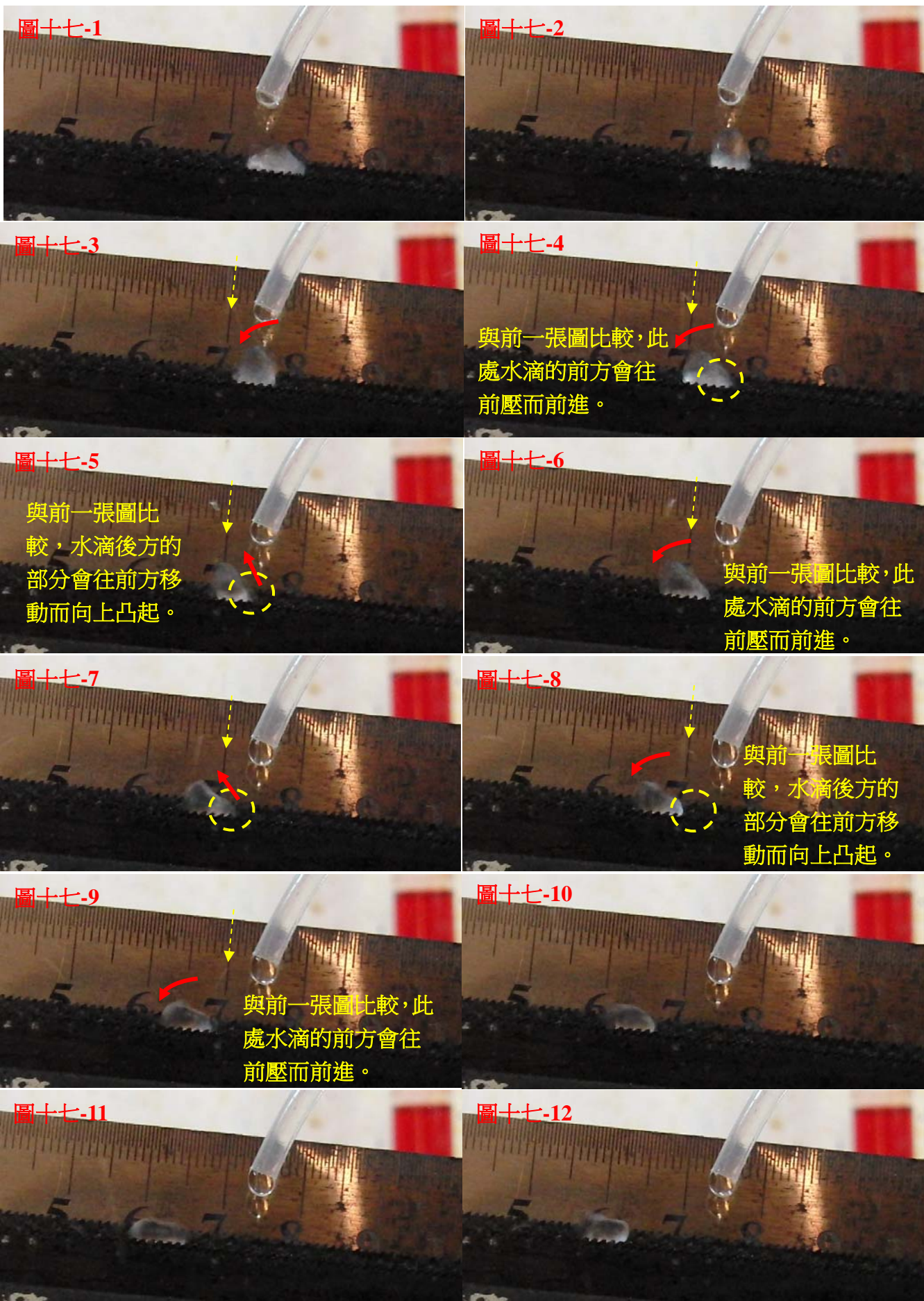
水滴縮短自己的長度

圖十六-13 ， 12/60 秒

水滴大幅度的前進，且水滴拉長



二、A 鐵片、蒸餾水、液滴大小為 0.04c.c.、鋸齒階梯傾斜 7.5 度角。

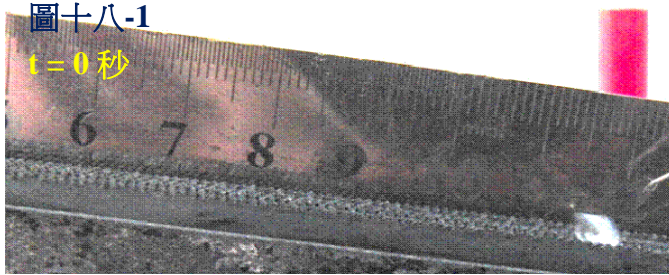


圖十七、我們發現水滴在前進的過程中，水滴的前端會向上、向前凸起。

三、A 鐵片、蒸餾水、液滴大小為 0.02c.c.、鋸齒階梯傾斜 7.5 度角。

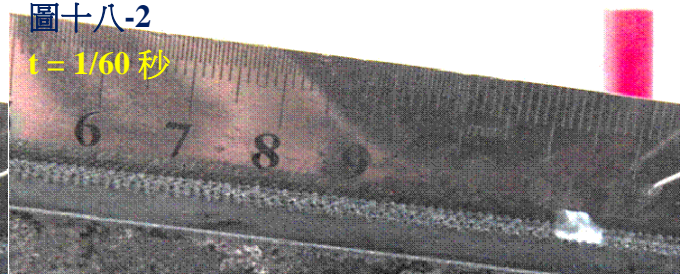
圖十八-1

t = 0 秒



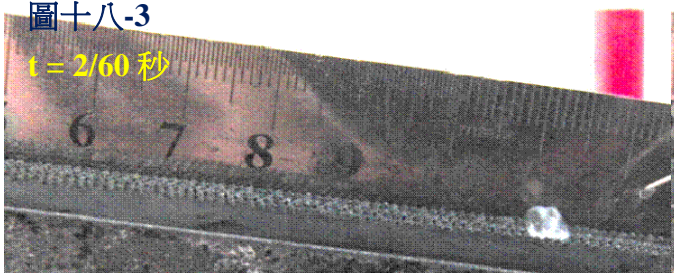
圖十八-2

t = 1/60 秒



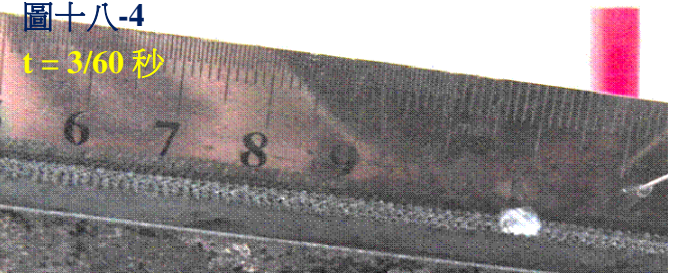
圖十八-3

t = 2/60 秒



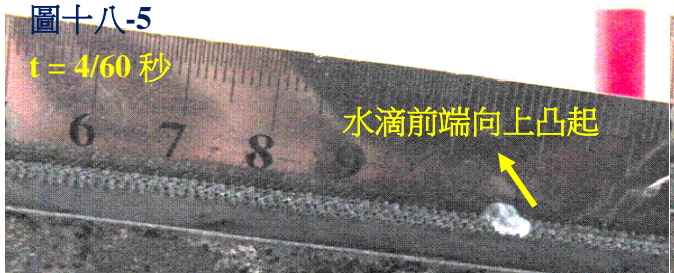
圖十八-4

t = 3/60 秒



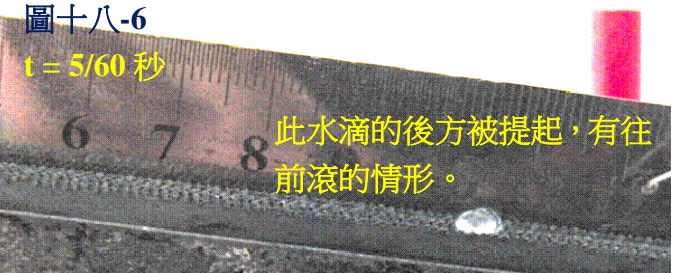
圖十八-5

t = 4/60 秒



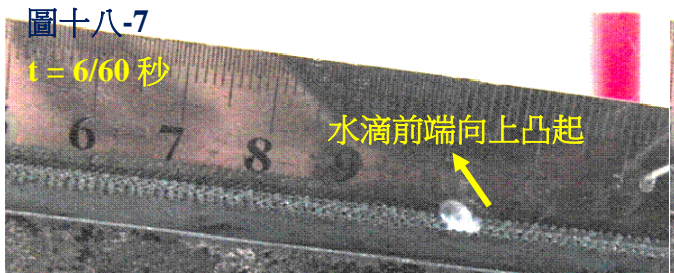
圖十八-6

t = 5/60 秒



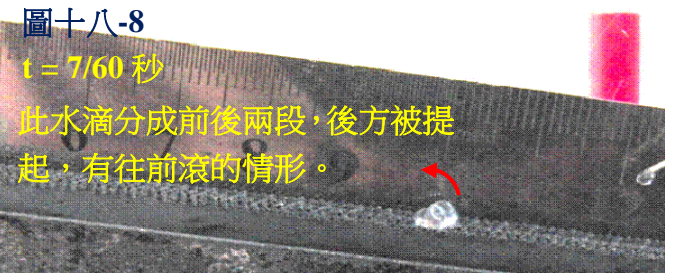
圖十八-7

t = 6/60 秒



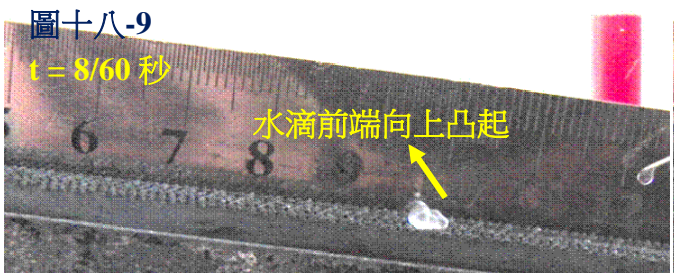
圖十八-8

t = 7/60 秒



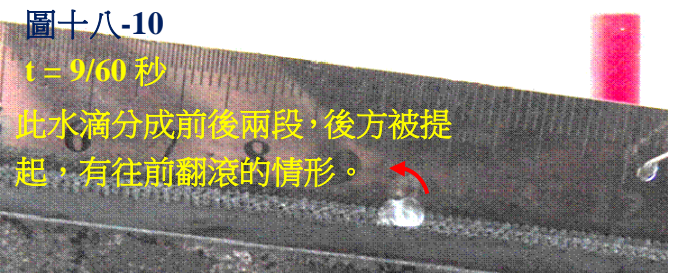
圖十八-9

t = 8/60 秒



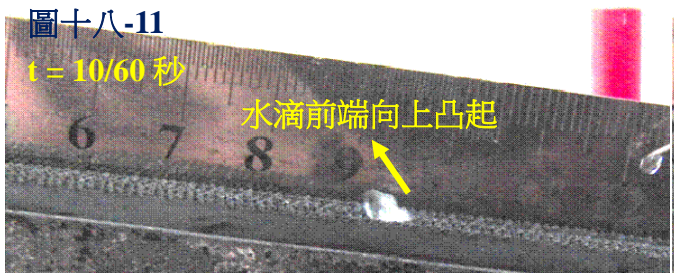
圖十八-10

t = 9/60 秒



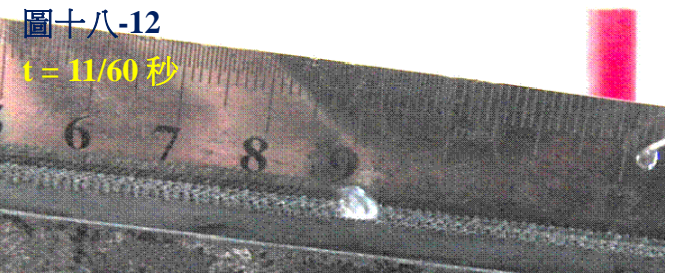
圖十八-11

t = 10/60 秒

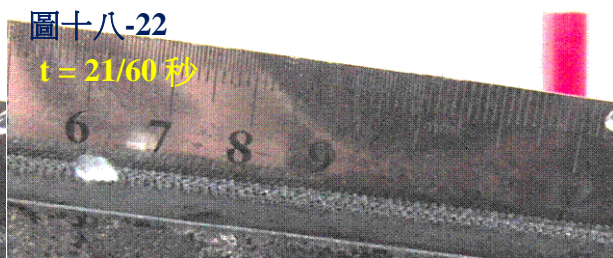
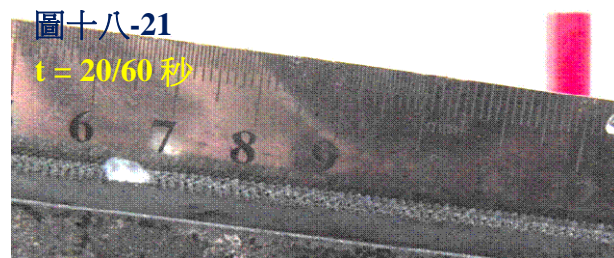
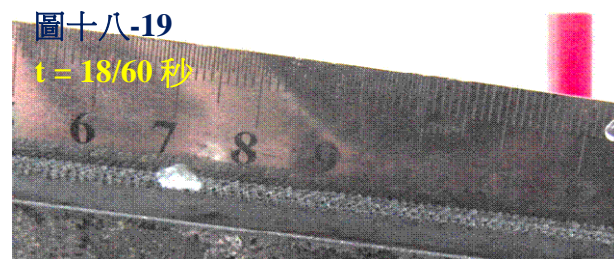
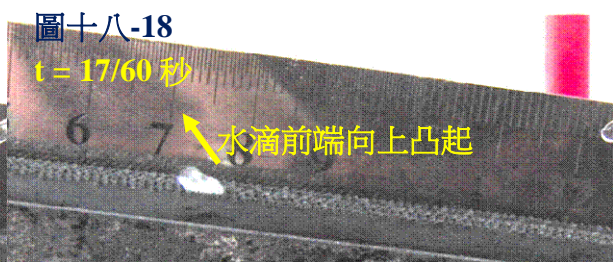
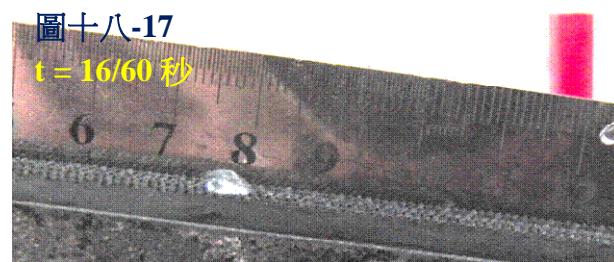
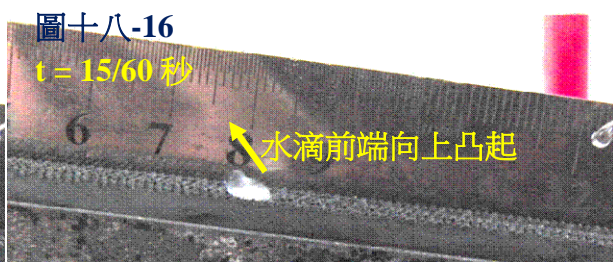
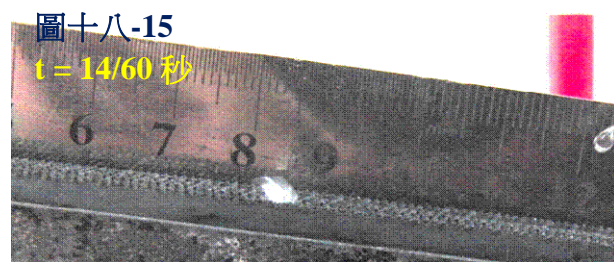
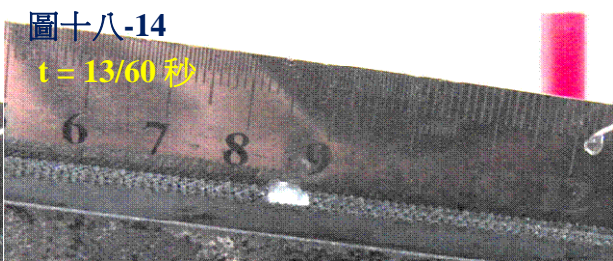
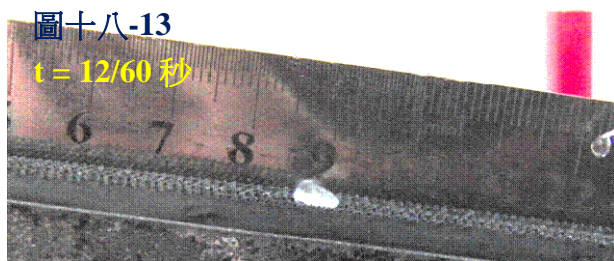


圖十八-12

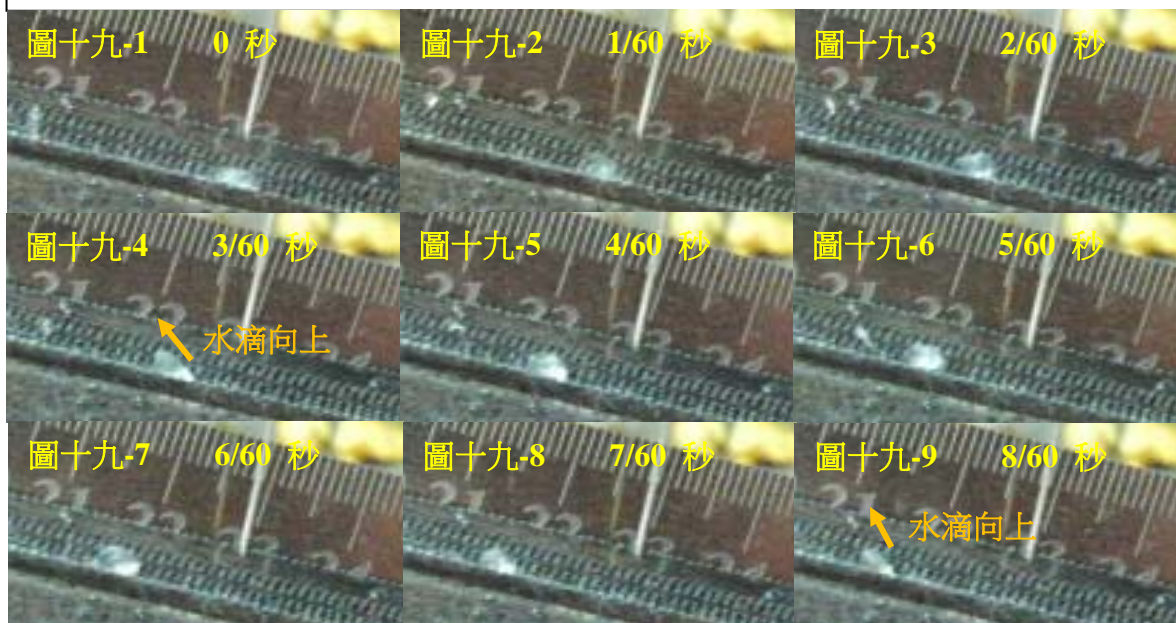
t = 11/60 秒



圖十八中顯示，水滴前端都會向上突起，表示有一個力量讓水滴如此。因為水滴接觸高溫金屬面往前移動的過程，水滴與金屬面之間只有可能存在蒸氣層，這個蒸氣層一定是造成水滴前端突起的原因，且依據水滴凸起的部分，可知蒸氣施在水滴身上的力量是往左上方的。

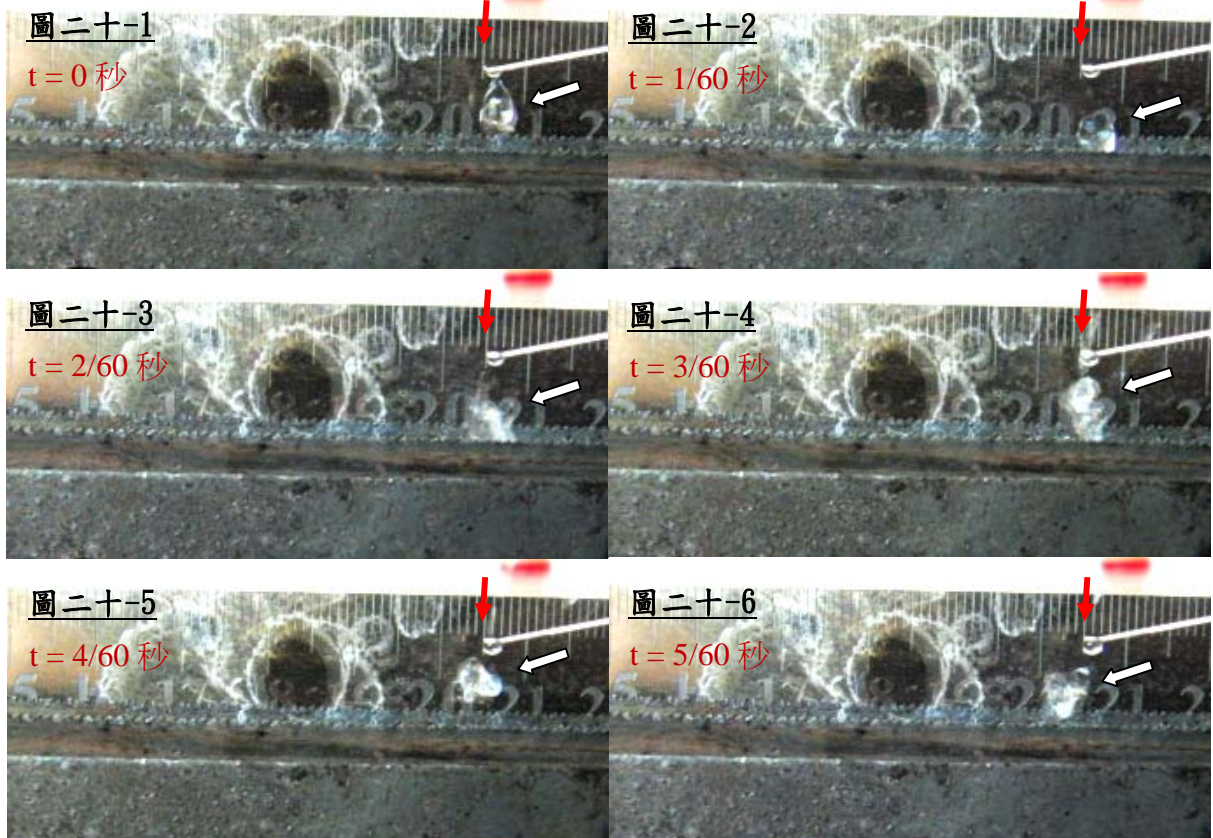


四、A 鐵片、液滴大小為 0.02c.c.、鋸齒階梯傾斜 20 度角



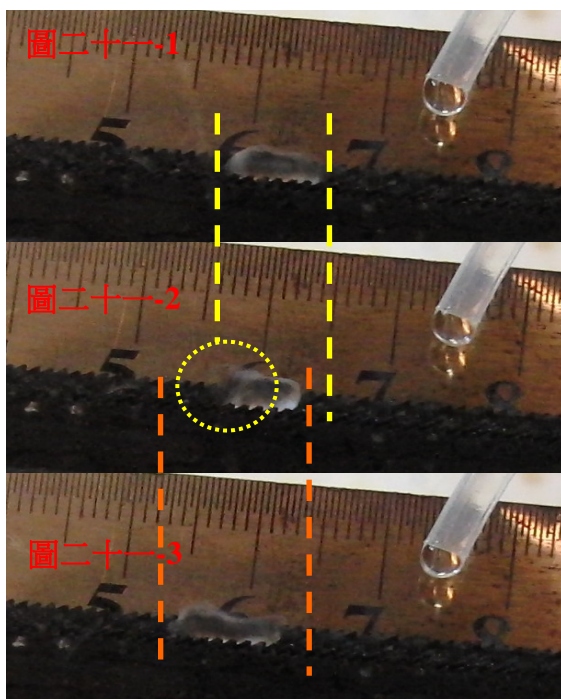
水滴大小為 0.02c.c.時，鋸齒傾斜 20 度角時，水滴仍會向上爬升。移動的過程中，水滴會產生向上突起的形狀。水滴若為 0.04 c.c.時，則不會有爬升的效果。

五、A 鐵片、液滴大小為 0.02c.c.、鋸齒階梯傾斜 5 度角，連續加熱 4 小時。



圖二十、3~6 的圖中，我們一直對鐵片加熱 4 小時，接著滴下水滴進行拍攝，看到水滴彈跳了起來，甚至向前(圖的左方)彈跳了 0.3 公分。表示水滴在接觸高溫金屬之後，產生了一個力量，這個力量造成水滴向上、向前移動。接觸的瞬間，水滴與金屬表面之間會立即產生一層蒸氣層，我們認為水滴瞬間產生這層蒸氣層才是造成水滴會往上、往前的原因，我們也認為以上原因是造成水滴會往上爬升的一個原因，這個現象讓我們想到是**水蒸氣壓**讓水滴往上彈跳的，且依照水滴彈跳的方向，可知蒸氣壓造成的力量是往左上方的。

六、A 鐵片、蒸餾水、液滴大小為 0.04c.c.、鋸齒階梯傾斜 7.5 度角。



水滴前進之後，因為瞬間蒸發的緣故，導致水滴激烈震動，以至於我們拍攝到水滴前方的形狀模糊，如圖二十一-2。水滴的形狀模糊之後，整個水滴被拉長，又往前邁進，如圖二十一-3。可見前進的力量來自於水滴的蒸發。這個結果與前面實驗七-一(圖十六)所拍攝到的結果相同。

陸、實驗討論

一、水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯狀態是否受到金屬表面溫度的影響？

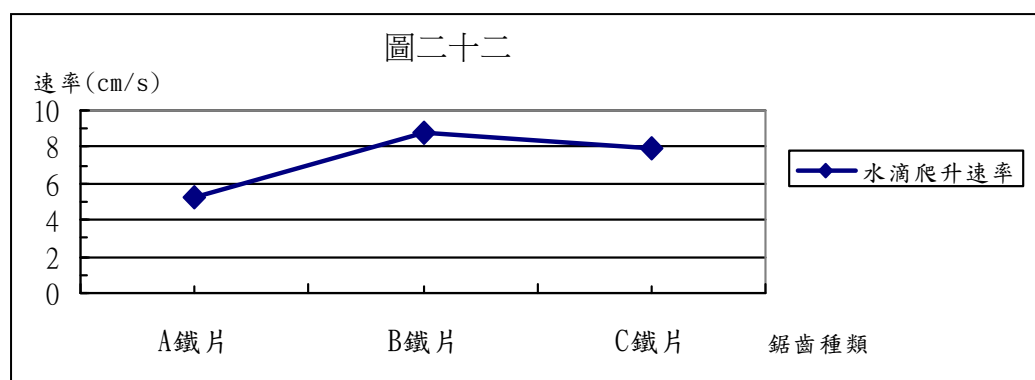
在實驗一中，我們發現鋸齒只要達到 400°C 的高溫狀態，水滴便會結成「珠狀」，不會馬上蒸發，除此之外，它還會順著同一方向滾動。當低於這個溫度時，水滴不僅不會前進，還會在金屬表面上被炸開，如圖十五。

我們本來想要嘗試製造更多的金屬表面溫度，但是因為鋸齒狀金屬表面是由約 15 條鋸子所排列而成，導熱不易，所以想要製造高於 500°C 的溫度就必須用大火燒 4 個小時以上，有時也頂多 480°C 而已，在技術上沒辦法製造多種溫度，所以我們的實驗溫度都是約 400°C ，需用大火燒 30 分鐘。

我們後來有製作整塊的銅，表面製造成階梯狀，如圖二十五、圖二十六。我們想要改進圖中的階梯成為鋸齒狀表面，可以像圖(一)~(三)的鋸齒表面，而且如果是實心的金屬更好，那麼從事加熱與實驗觀察一定更容易，但我們一直無法取得這樣實心鋸齒狀的表面金屬。

二、水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯狀況如何受到鋸齒大小的影響？

從實驗二中我們知道，一樣的水滴、一樣的鋸齒傾斜角度，但水滴在 A、B、C 三種不同的鋸齒狀金屬階梯表面上的爬升速率不同，如下圖二十二。可見，階梯的大小對水滴的爬升速率有所影響。一個水滴容不容易向上爬升，要考慮到水滴接觸到階梯表面的階梯數多寡，基本上水滴下方涵蓋的階梯數越多，水滴會較容易爬升，但是也要考慮到水滴大小的問題，如實驗討論-四。

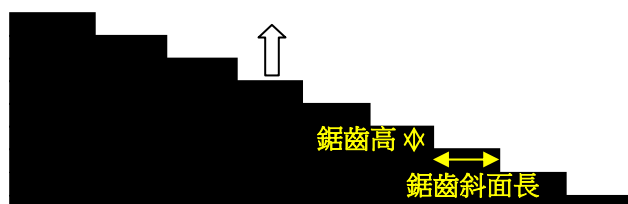


我們去測量我們所使用的鋸齒形狀，發現「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」兩者的夾角約為 60° 度角，如圖(一)、(二)、(三)。我們想說，如果我們可以製造兩個金屬階梯面，其「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」兩者的夾角為 90° 度角，觀察水滴是否會往上爬升，如下圖二十三~二十六。

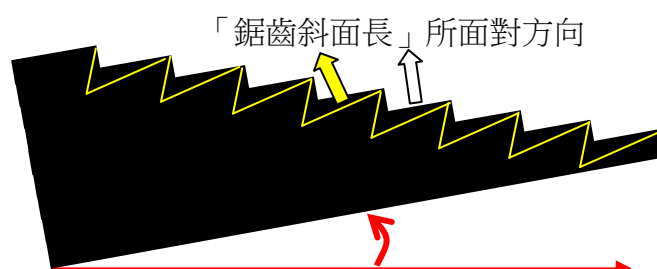
金屬階梯使用如圖二十三與圖二十四的兩者擺放方式，水滴根本都不會向上爬升，但若將階梯面擺放水平時，如圖二十七的狀況，則水滴會向左方滾動，此結果與實驗六相同。所以向上爬升的效果，夾角 60° 度角的階梯明顯優於夾角 90° 度角的階梯。

我們所使用的鋸齒狀金屬表面較像圖二十四的黃色線部分，這樣的鋸齒構造造成「鋸齒斜面長」的長度較大，而且向左方的傾斜角度變大，如圖二十四的黃色箭頭。以上兩個不同，

應該是使得液滴在鋸齒狀金屬表面上會較容易向”左方”「向上爬升」的原因。



圖二十三、「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」兩者的夾角為 90 度角的示意圖。階梯斜面長採用水平放置，也就是面對方向垂直向上。



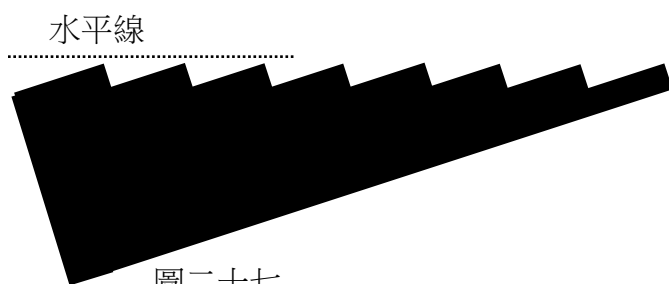
圖二十四、「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」兩者的夾角為 90 度角的示意圖。將金屬階梯的右方抬高，如圖所示。



圖二十五、階梯斜面長 1.5 mm，階梯高 0.3 mm



圖二十六、階梯斜面長 1.5 mm，階梯高 0.7 mm

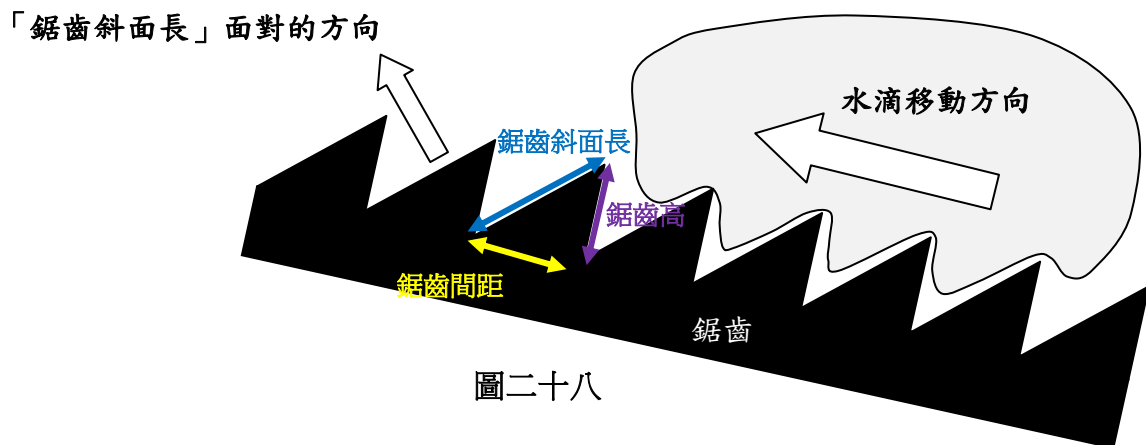


圖二十七

三、「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值對水滴的滾動方向為何有決定性的影響？

從實驗六中，我們可以推論：鋸齒斜面長與鋸齒高的比值若大於 1，水滴就會往同一個方向滾動。水滴滾動的方向為何？我們發現「鋸齒斜面長」的面向方向為右上方，則水滴會往右方前進；「鋸齒斜面長」的面向方向為左上方，則水滴會往左方前進，如圖二十八。

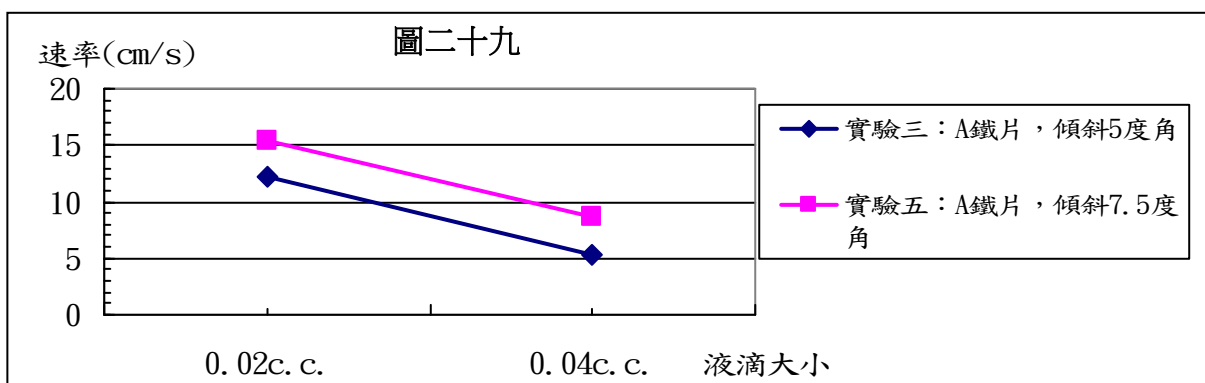
因此，我們所使用的鋸齒狀階梯面皆為如下圖二十八的形狀，其「鋸齒斜面長」的面向方向皆朝左上方，所以我們實驗的水滴都會往左方滾動，這也造成水滴會向上滾動的原因。



圖二十八

四、水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯速率與水滴大小的關係為何？

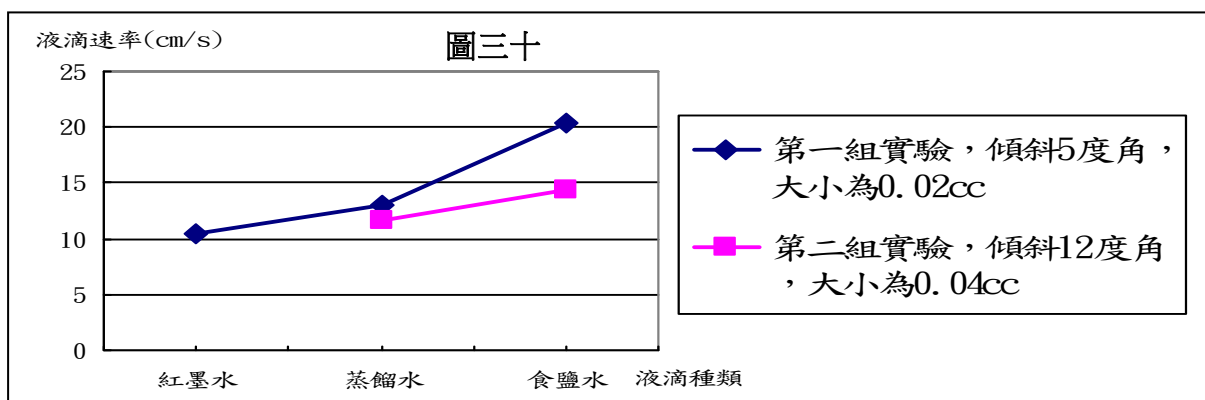
根據實驗三，使用 A 鐵片，鋸齒狀階梯傾斜 5 度角，液滴分為 0.02cc 與 0.04cc 兩種大小，實驗數據結果如下圖二十九的藍色曲線。根據實驗五，使用 A 鐵片，鋸齒狀階梯傾斜 7.5 度角，液滴分為 0.02cc 與 0.04cc 兩種大小，數據結果如下圖二十九的粉紅色曲線。



當水滴變大滴時，改變的有：1、水滴涵蓋的鋸齒數會較多。2、水滴重量比較重。依照鋸齒給水滴的力量來說，大水滴涵蓋的鋸齒數較多，照理說應該爬得比較快。但是，考量水滴的重量因素，地球引力給大水滴的阻力比較大，使它不容易爬升。

五、水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯速率是否會受到水滴表面張力的影響？

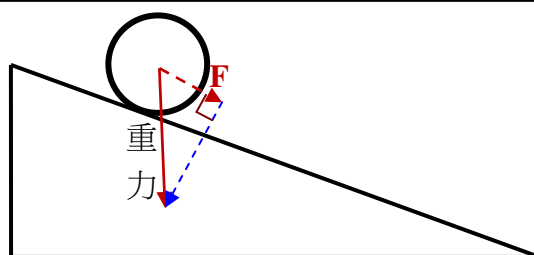
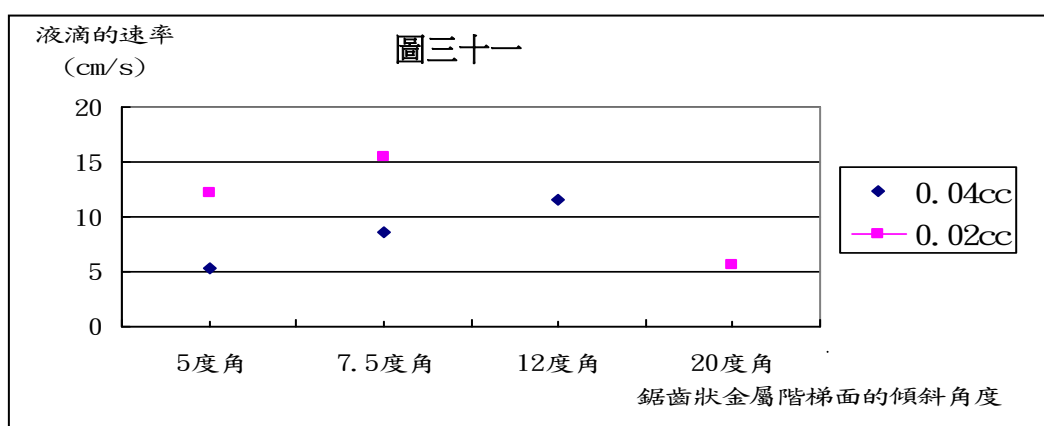
我們根據實驗四可得如下圖三十的結果。我們知道液體的表面張力大小依序：食鹽水 > 蒸餾水 > 紅墨水，從此圖知道，表面張力越大的液滴，其爬升的速率越快。我們認為這是因為水滴在向上爬升的過程中，會有拉長、縮短的運動情形，如實驗七。水滴會被拉長，一定是蒸氣層所造成的，但為何水滴會縮短呢？這是由於表面張力的緣故，而表面張力較大的，水滴伸長與縮短的力道較大，其運動時的伸長、縮短的時間差較小，故造成爬升速率會較快，所以液滴的爬升速率會受到表面張力的影響。



六、水滴在高溫鋸齒狀金屬中的爬樓梯現象與爬升角度的關係為何？

根據實驗五，可得如圖三十一的結果。照理來說，水滴停留在越傾斜的鋸齒上，會因為斜面上向下的分力 F 較大的緣故，如圖三十二，而使得水滴爬的較慢，甚至不會爬升。但根據我們的實驗，當鋸齒傾斜 12 度角以內，水滴的爬升速率會隨著角度越大而越快。而這樣的研究結果，我們認為和水滴在移動過程中的「拉長長度」有關。在實驗七中我們觀察到，當鋸子傾斜五度角時，水滴有很明顯的拉長現象；而角度在 7.5 度角以上水滴則有上方凸起的現象，拉長長度相對變短，可見蒸氣層對水滴所施力的方向，也會隨著傾斜角度變大而改變朝向更垂直的上方。而水滴被拉長較多，一定利於水滴爬升嗎？其實不一定，我們認為鋸子傾斜 12 度時，蒸氣對水滴的施力方向會使水滴達到一個較「適當」的拉長長度，對運動的影響剛剛好，造成水滴向上凸起的形狀，有利於水滴的向上移動。這也是水滴在傾斜 12 度角的鋸子上爬升最好的原因。

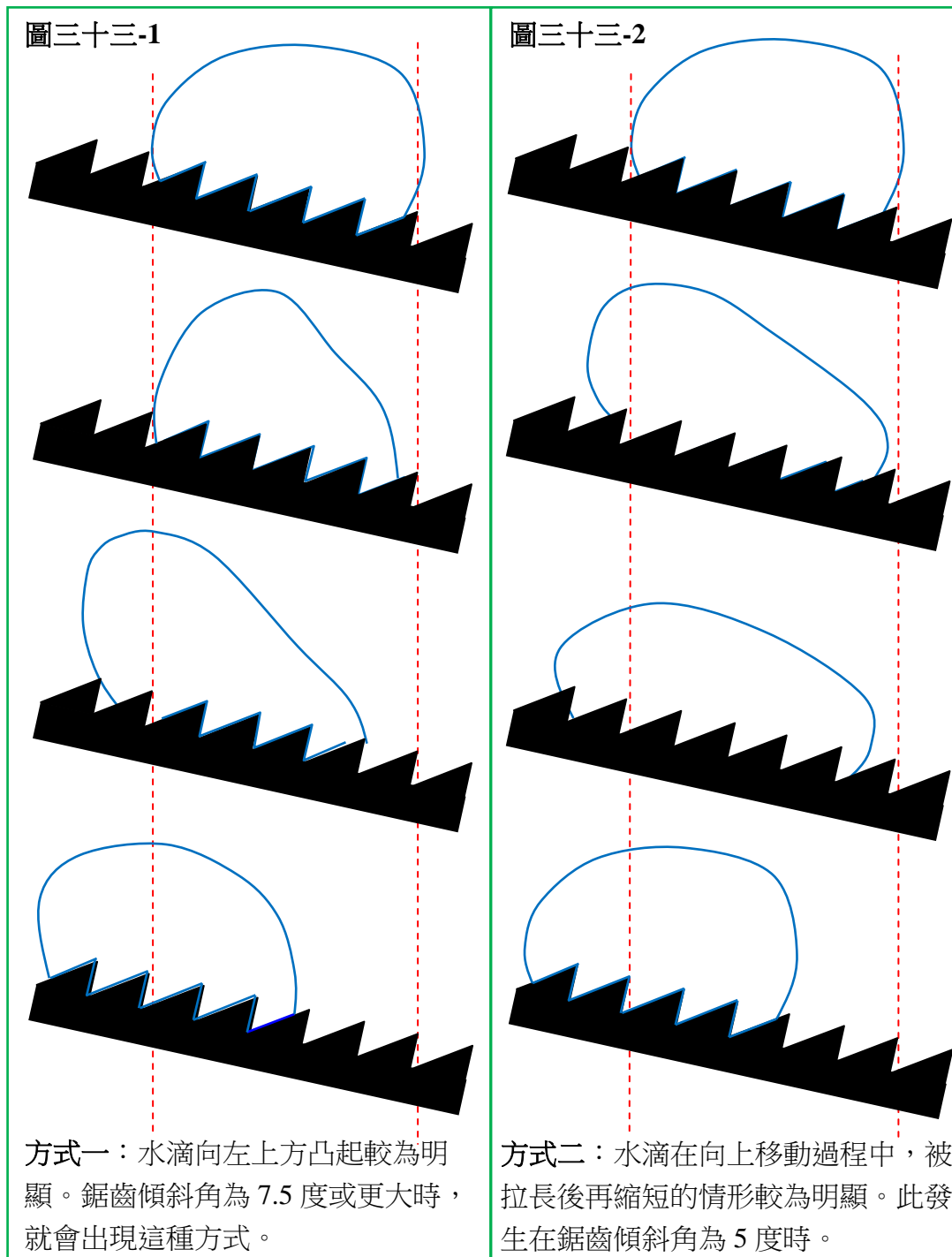
當鋸子傾斜角度大於 12 度時，水滴的爬升速率會隨著角度越大而越慢，這是因為水蒸氣層對水滴所施力的方向越接近垂直向上的方向，除此之外，也和圖三十二的下滑力 F 有關，角度越大， F 越大，水滴的爬升速率當然也會變慢，甚至不會向上爬升。



圖三十二

七、在高溫鋸齒狀金屬中的水滴，為何會向上爬升？

整合實驗七的結果，我們發現水滴的運動情形有以下兩種方式，如下圖三十三：



總和以上的結果，有兩個現象：

第一、當鋸齒左高右低時，水滴會向左上方集中，表示有一股力量讓水滴內部的水分子向左上方移動，此力量一定是水滴產生水蒸氣層時所造成。根據實驗六的結果推論，我們可以控制鋸齒斜面長與鋸齒高的比值，來決定水滴的移動方向，可見，鋸齒表面的形狀，可以控制蒸氣層施與水滴的力量方向。根據水滴形狀改變的情形，此力量的方向一定是朝向左上方，而且此力方向會隨著鋸齒傾斜角變大而往接近垂直向上的方向移動，而使得鋸齒面越傾斜而越容易產生向上凸起的形狀。

第二、水滴會伸縮，這主要是要靠表面張力來讓水滴維持一個基本的球狀，不然水滴將破碎。表面張力如果較大，水滴伸長與縮短之間的速率將變得較快，因此造成水滴爬得較快，這符合實驗四中觀察到食鹽水滴的爬升速率較快的結果。

我們思考的是，造成水滴向上爬升的力量到底是什麼？如前段所述，一定是水滴受熱後會產生水蒸氣所造成的，所以我們認為有兩個可能的力量：

- 第一、蒸氣壓所造成的力量。水滴在鋸齒上移動時，本來水滴是與鋸齒金屬面直接接觸的，受熱後會瞬間產生水蒸氣，此水蒸氣會讓水滴與鋸齒狀金屬面瞬間分離。我們拍攝到水滴因為激烈蒸發而造成的震動現象(如圖十六、圖二十一)，也拍攝到水滴在高溫鋸齒金屬面上的一個彈跳的現象(如圖二十)。所以，水滴與金屬表面因為蒸氣層的產生，使得兩者瞬間分離的結果，而造成一個力量，此力量即是讓水滴向上爬升的一個力道。
- 第二、作用力與反作用力。水滴受熱後會向下產生水蒸氣，此水蒸氣會施與水滴一股向上的反作用力，這就如同火箭升空的情形。

柒、結論

總結我們的實驗，影響水滴向上爬升速率的因素有：

- 1、當鋸齒溫度達到 400 度時，水滴在上方便能結成珠狀，並且會往上爬升。
- 2、鋸齒斜面長與鋸齒高的夾角為 60 度的爬升效果較 90 度來的好。
- 3、鋸齒的大小會影響水滴爬升的速率。我們實驗的結果，水滴在 B 鐵片上的爬升速率最快。
- 4、「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值會影響水滴的滾動方向。如果比值為 1，則水滴向左向右的滾動機率相同。「鋸齒斜面長」與「鋸齒高」的比值若大於 1，水滴就會往固定一個方向滾動。
- 5、承上，「鋸齒斜面長」所面對方向，將決定水滴滾動的方向。如果「鋸齒斜面長」面對左方，則液滴將向左方移動；而若「鋸齒斜面長」面對右方，則液滴將向右方移動。如果將鋸齒狀階梯擺放傾斜，如圖二十八，因為「鋸齒斜面長」面對左上方，則液滴將向左方移動，這造成液滴往上滾動的原因。
- 6、液滴的大小將影響爬升速率，以小液滴的爬升速率較大水滴為快。
- 7、爬升速率將受到液滴的表面張力所影響。表面張力較大者，爬升速率較快。實驗測得爬升速率大小依序為：食鹽水 > 蒸餾水 > 紅墨水。而表面張力大小依序為：食鹽水 > 蒸餾水 > 紅墨水。
- 8、鋸齒狀金屬表面的傾斜角度將影響水滴的滾動速率。傾斜角度在 12 度以內，水滴爬升速率越來越快；大於 12 度角後，水滴滾動速率則變慢。
- 9、我們觀察到水滴向高處移動的運動方式，很像毛毛蟲的前進方式，會伸長、然後縮短、又再伸長，一直重複。水滴並會往前方高處產生凸起狀的現象。
- 10、水滴與高溫金屬面之間會存在一層蒸氣層，我們認為這層蒸氣層是造成水滴向上爬升的主要原因。我們可以控制鋸齒斜面長與鋸齒高的比值，來決定水滴的移動方向，可見，鋸齒表面的形狀，可以控制蒸氣層施與水滴的力量方向。
- 11、綜合實驗結果，我們認為有兩個可能力量造成水滴向上爬升：第一、蒸氣壓所造成的力量。第二、作用力與反作用力，如火箭升空的原理。

捌、參考資料

- 【1】力爭向上的水滴，第 48 屆全國中小學科學展覽會，國中組物理科，作者：鄧奉芸、張翠文。
- 【2】表面張力，
<http://zh.wikipedia.org/zh-hk/%E8%A1%A8%E9%9D%A2%E5%BC%A0%E5%8A%9B>
- 【3】http://www.hk-phy.org/contextual/mechanics/for/ac_re04_c.html 作用力與反作用力
- 【4】<http://www.chemedu.ch.ntu.edu.tw/~byjin/Bubble/science/surface1.htm> 水溶液種類對表面張力增減的影響
- 【5】液滴與介面交互作用之十年研究回顧，作者：王安邦、陳仕昇、宋佩芳、林怡君、陳家智、費德全
http://74.6.146.127/search/cache?ei=UTF-8&p=%E6%B6%B2%E6%BB%B4%E8%88%87%E4%BB%8B%E9%9D%A2%E4%BA%A4%E4%BA%92%E4%BD%9C%E7%94%A8%E4%B9%8B%E5%8D%81%E5%B9%B4%E7%A0%94%E7%A9%B6%E5%9B%9E%E9%A1%A7&fr=yfp&u=www.eng.ntu.edu.tw/eng/chinese/bulletin/n91/n91-11.pdf&w=%E6%B6%B2%E6%BB%B4+%E8%88%87+%E4%BB%8B%E9%9D%A2+%E4%BA%A4%E4%BA%92+%E4%BD%9C%E7%94%A8+%E4%B9%8B+%E5%8D%81+%E5%B9%B4+%E7%A0%94%E7%A9%B6+%E5%9B%9E%E9%A1%A7&d=L_nl-u8_Ui2l&icp=1&intl=tw&sig=MWxZo2nAcuUclvnIYaafUQ--
- 【6】膜沸騰、萊氏現象
http://www.nsc.gov.tw/files/popsc/2005_57/64-67.pdf
- 【7】第五冊自然與生活科技（康軒版）第二章-力與運動

【評語】 030110

本作品利用簡單的儀器研究一件與日常經驗相反的水滴向上爬昇的現象，整個實驗設計及執行均相當完備，數據的搜集也很完整，並富創意，結論亦合理並符合實驗結果，是非常好的作品。