

作品名稱：水滴之舞

國中組 物理科 第三名

縣市：台北市

作者： 陳欣嵐、林珮瑜

吳竹雅、黃曉瑩

校名：台北市立民族國中

指導老師： 黃雪芳、陳勃羽

關鍵詞：水滴逗留時間、氣墊隔絕層、簡諧運動



陳
欣
嵐

林
珮
瑜

馬
英
九
市
長

吳
竹
雅

黃
曉
瑩

作品名稱： 水滴之舞

一、 研究動機：

在幫忙母親做菜時如果鍋子在低溫時便開始加熱，濕鍋子上的水很快就自然蒸發掉，但無意間看到在鍋子溫度很高時，不小心把水滴滴在鍋中，水滴就會在鍋上滾來滾去，有的上下跳動，有的滾動，還有的振動，逗留很長時間不會消失，一點也不像課本所教的水在 100°C 以上就沸騰蒸發的現象，所以想做進一步深入研究。

二、 研究目的：

研究水滴滴在高溫金屬板表面的各種有趣的物理現象。

三、研究設備器材：

- (一) 加熱器：酒精燈、具控溫功能的電加熱器(借自某大學)。
- (二) 溫度計：自製熱耦式溫度計(κ -type thermal couple)，利用鋁、鉻兩種不同金屬焊接點產生電位差來測量溫度。
- (三) 計時器：具馬錶功能的手錶。
- (四) 平行光源：雷射筆(便於觀察水珠形狀)。
- (五) 金屬板：鋁板(較易取得且較穩定)、不銹鋼板、可樂罐等。
- (六) 燒杯：250 mL。
- (七) 滴管：玻璃滴管。
- (八) 照相機：Nikon 2020 單眼照相機。
- (九) 攝影機：V 8 攝影機。
- (十) 電腦：資料處理。



圖一：電加熱器及鋁板



圖二：熱耦式溫度讀表

熱耦式溫度計

水滴



圖三：測量水滴及金屬板表面的溫度

四、 研究過程：

- (一) 在加熱的可樂罐上滴水滴，觀察其運動的情形，但不易觀察及量化研究其結果，只好改用其他方法。
- (二) 準備熱金屬板：
 1. 先用砂紙將金屬板表面磨光。
 2. 利用一電加熱器，將金屬板加熱至 100°C 至 300°C 之間，並用一熱耦式溫度計貼於金屬板表面以記錄金屬板表面之溫度。
 3. 爲了要測量金屬表面的確實溫度，我們設法將熱耦式溫度計點焊在金屬板表面，以證明氣墊隔絕層的存在，但是因爲鋁板熔點太低，無法將熱耦式溫度計點焊在鋁板表面，所以改用不銹鋼板。
- (三) 紀錄水滴滴在高溫金屬板上的物理現象：
 1. 利用一馬錶量測水珠在不同溫度之金屬板上的逗留時間。
 2. 以照相機、攝影機等記錄水滴在這過程中的各種有趣現象，操作方法如圖三，並探討：
 - (1) 水滴逗留時間與金屬板溫度之關係
 - (2) 水滴的形狀變化
 - (3) 水滴的碰撞現象
 - (4) 水滴的運動現象
 - (5) 水滴在汽化過程中溫度的變化

五、 研究結果：

(一) 水滴逗留時間與鋁板溫度之關係

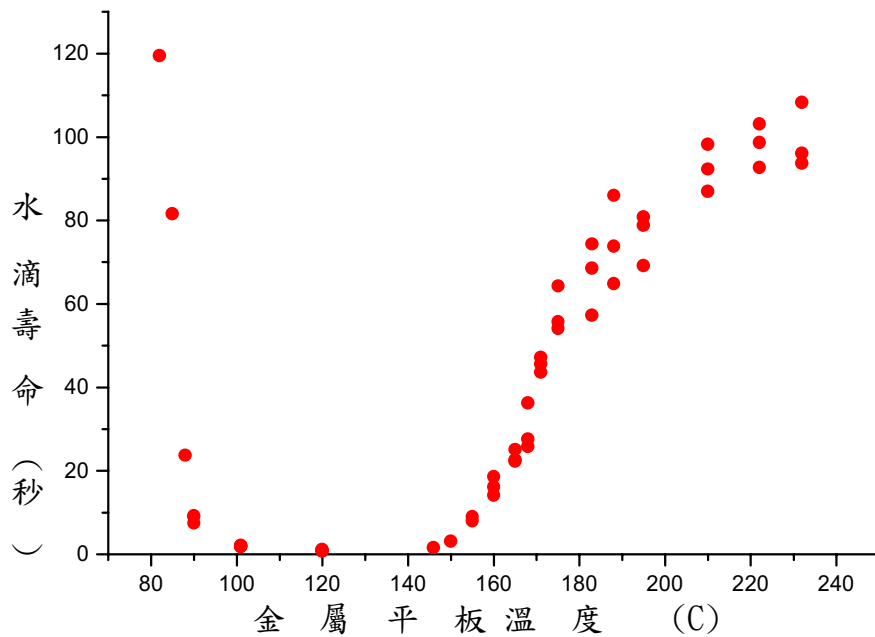
一滴水滴在室溫下需要很久才會完全蒸發掉，當鋁板溫度上升時，蒸發所需的時間就越來越短。如[表一]所示，我們記錄加熱器溫度、鋁板表面溫度與水滴蒸發前維持的逗留時間，當鋁板溫度達 80°C 時，水滴的逗留時間約 2 分鐘左右，隨著鋁板溫度升高，水滴逗留時間就越來越短。當平板溫度達到 100°C 時，水滴掉到鋁板後即刻蒸發(約 2 秒)，並發出“滋滋”的聲音。

當鋁板溫度升高到 120°C 時，水滴的汽化速度更快，水滴的逗留時間也隨之減短(約 0.8 秒)。但是當溫度達 150°C 左右時，水滴開始分裂成許多小水滴並在鋁板上跳動，這時小水滴的逗留時間反而增長了(約 3 秒)。

漸漸地，溫度升高至 180°C 左右，而水滴的分裂現象也漸趨和緩，當水珠滴到鋁板上時，就不再跳動，而是在鋁板上滾動，蒸發速度也愈來愈慢，水滴的逗留時間更長了，大約 90 秒左右。

爲了要研究這有趣的現象，我們將一支溫度計插到水滴內量測水滴在熱鋁板上滾動時的溫度約 95°C ，(低於水的沸點 100°C)。因爲鋁板熔點太低，無法將熱耦式溫度計點焊在鋁板表面，所以改用不銹鋼板。我們將

熱耦式溫度計點焊在不銹鋼板上，這樣一來，就可以量到水珠在不銹鋼板上時，不銹鋼板的溫度，而不是水滴的溫度。當不銹鋼板的溫度在約 180 °C 時，水滴立刻沸騰蒸發；而不銹鋼板溫度升至 300 °C 時，水滴在不銹鋼板上呈穩定的滾動狀態，其逗留時間達數分鐘，水滴下的不銹鋼板溫度維持在 300°C 左右，不會因水滴的覆蓋而降到 100°C 以下。水滴逗留時間與鋁板溫度的關係如〔圖四〕。



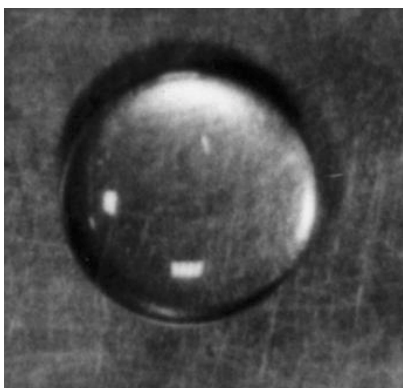
〔圖四〕 水滴逗留時間與鋁板溫度的關係圖。

(二) 水滴的形狀變化

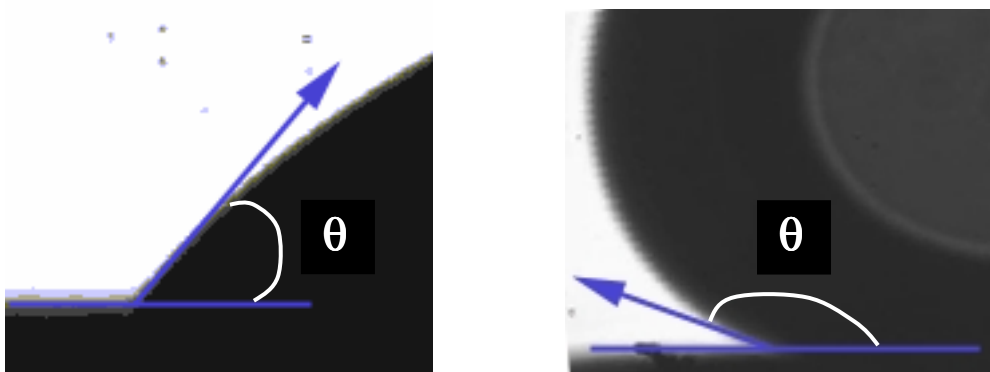
在室溫下，將水滴在鋁板表面上，水滴的形狀為扁平狀，即水滴與鋁板接觸角為銳角。在高溫下(150 °C 以上)，將水滴在鋁板上，水珠即呈圓球狀，其與鋁板的接觸角即為鈍角。由此可知，低溫時(150°C 以下)，水滴與鋁板的接觸面較大，而高溫時(150°C 以上)，水滴與鋁板的接觸面則縮小。〔圖五〕是水滴在高溫鋁板表面的俯視圖，呈現圓球狀。

〔圖五〕 水滴在高溫鋁板上形狀的俯視圖

(使用 ASA 400 的底片，光圈 1.8，自動曝光)。



[圖六]則是水滴的側視圖，左圖為室溫下水滴的形狀，水滴與鋁板表面的接觸角為銳角，顯示室溫下鋁板表面為親水性。右圖則是在高溫鋁板表面的水滴形狀，水滴與高溫鋁表面的接觸角為鈍角，顯示高溫鋁板表面類似疏水性。由[圖六]我們可以看出水滴在室溫與高溫鋁表面形狀截然不同。



[圖六] 水滴的形狀的側視圖，左圖為室溫下，(150°C以上)
(使用 ASA 400 的底片，光圈 8，雷射筆照射，自動曝光。
光在水滴中心穿透率較高，所以呈現亮圈)。

(三) 水滴的碰撞現象

如[圖四]所述，當鋁板溫度在大約 180°C 時，水滴便不再分裂或跳動，而是在鋁板上滾動。如果我們再滴更多水滴於鋁板上時，就會有兩顆以上水滴在鋁板上滾動，它們偶爾會發生碰撞的現象。一般而言，兩滴水滴碰撞時會結合成一滴更大的水滴。但如[圖七]所示，在本實驗觀察中，常有水滴連續碰撞卻不結合的現象，這的確出乎意料之外。

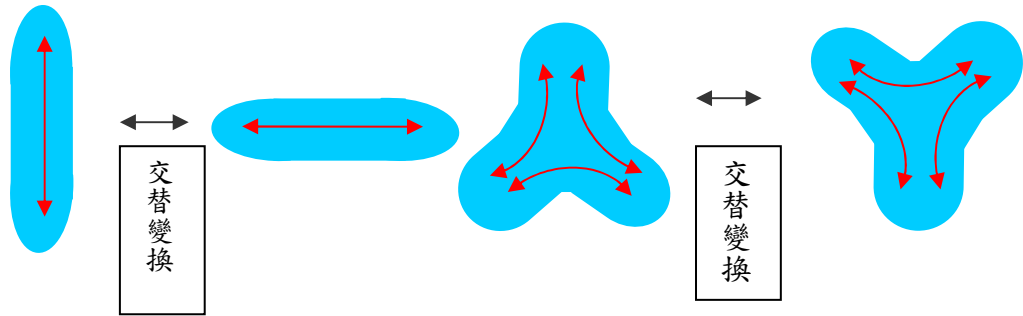
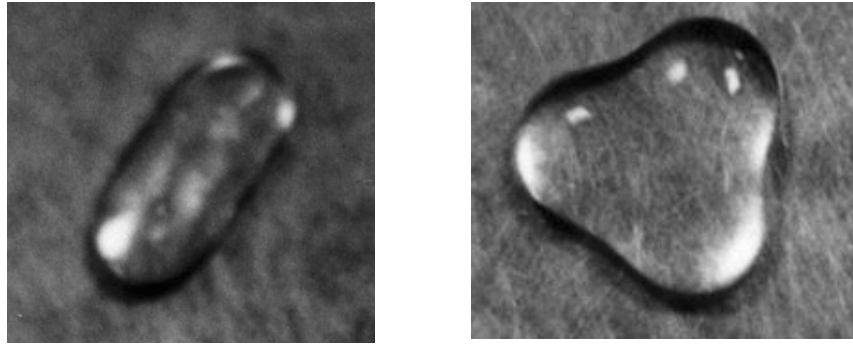


[圖七] 在 180°C 以上的鋁板上可以碰撞十次以上但不結合。

(四) 水滴的運動

1. 水滴的滾動現象：

在 150°C 以下水滴均保持不分裂，固定在鋁板上同一位置，然後汽化消失；150°C 以上，水滴開始分裂成許多小水滴並在鋁板上跳動；當我們將鋁板溫度維持在 200°C 左右，水滴不會分裂，並會在鋁板表面自由滾來滾去。



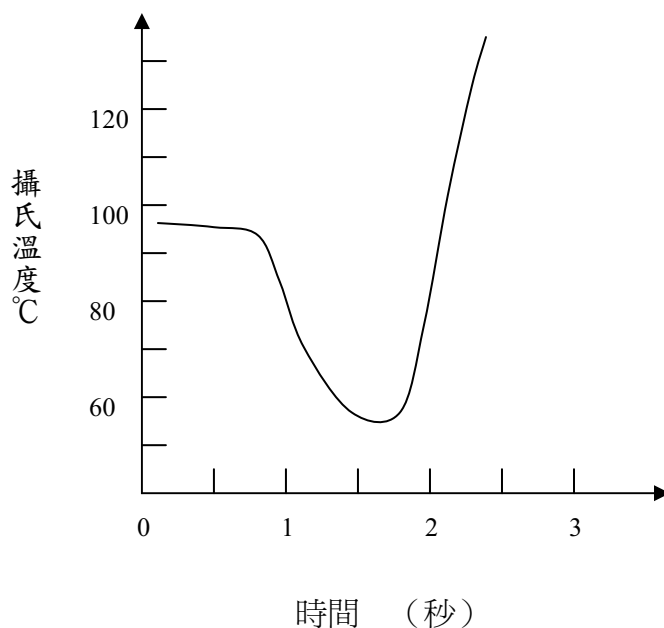
〔圖八〕 兩種不同的水珠振動模式，上圖為照相機快門所拍攝到的瞬間影像，下圖為肉眼或錄影機所拍攝到的影像。

2. 水珠的振動現象－簡諧式振動：在 200°C 以上當我們加入多粒水滴它會聚成一大滴水滴，也會因為外力刺激而變形。例如以滴管轉動水滴，當滴管移開後，水滴仍自行轉動直到完全汽化為止。如〔圖八〕所示，左圖的水珠成一長條形，但是肉眼看到的是兩隻相互垂直的長條形組成的十字形狀，在照相機快門之下看起來是單一長條。最有趣的是，一旦這種振動啟動了就停不下來，一直振動下去！水滴越來越小，直到消失為止。

在某些情況下，一粒水珠會變成〔圖八〕右上圖的三角形，眼睛或錄影機看起來是右下圖的六角形，事實上是兩個三角形所疊成的，這種簡諧式的水珠振動可維持數分鐘之久，就像一顆生生不息的心臟一樣。隨著時間的增加，水珠的體積逐漸縮小，水滴的簡諧振動也有逐漸加快的現象。

（五）水滴在汽化過程中溫度的變化

將一支纖細的熱耦式溫度計插到水滴內，測量到鋁板上水滴的溫度。雖然鋁板的溫度（ 200°C ）高出水的沸點很多，水滴本身則維持在 95°C 左右，隨著時間的增長，水珠慢慢蒸發而變小，帶走許多熱，而溫度計顯示的溫度則漸漸降低，最低可達到 67°C 左右。如果將熱耦式溫度計改為更細的，則量到的溫度變化如〔圖九〕所示，過程中最低溫度達 54°C ，水溫降低了近 40°C ！當水滴蒸發完後，溫度計就接觸到了鋁板，溫度急遽回升至鋁板的溫度。



[圖九] 溫度計插入水滴內所量到溫度隨時間的變化

六、 討 論

(一) 水滴逗留時間與金屬板溫度之關係

當鋁板溫度在 150°C 以下時，溫度越高，水滴在鋁板的逗留時間越短，但當溫度高於 150°C 時，水滴在鋁板上的逗留時間隨溫度增加而增長。在本實驗可達最高溫度 (240°C) 時，水滴的平均逗留時間約 100 秒。一滴小水滴竟然可以在高溫的鋁板上待這麼長的時間，這是什麼道理呢？

一種可能的解釋是當鋁板表面溫度高達一定數值 (150°C 左右) 時，水滴與鋁板接觸部分立刻汽化為蒸氣，這蒸氣反而成為鋁板與水滴之間的氣墊隔絕層，所以熱無法直接傳到水滴內，造成水滴的蒸發就慢下來了！

這氣墊隔絕層也讓水滴在鋁板上幾乎沒有磨擦阻力，所以水滴可以在鋁板上不斷轉動、滾動、振動，這些現象是室溫時見不到的。

上述的說法需要進一步驗證才能被接受。當我們將溫度計插入水滴時量到水滴內的溫度約 95°C ，但水滴下的不銹鋼板溫度（將溫度計點焊在不銹鋼板上測量）卻可維持 300°C ，可見水滴與不銹鋼板之間有一層氣墊隔絕層存在，阻絕了不銹鋼板的熱傳遞到水滴的路徑，造成不銹鋼板與水滴內溫度差達 100°C 以上，這就間接證明了氣墊隔絕層的存在。

當不銹鋼板的溫度降到 180°C 以下時，這層氣墊隔絕層還不夠穩定無法阻絕熱傳遞到水滴上，所以水滴就會很快蒸發沸騰，而不銹鋼板表面的熱隨水滴蒸發而被帶走，所量到不銹鋼板溫度降到 100°C 左右；因此在這種沸騰的狀態下氣墊隔絕層是不存在，水與不銹鋼板間就沒有溫度差了。

(二) 水滴的形狀變化

水滴在室溫下呈扁平狀，高溫時呈圓球狀，這是由於室溫時鋁板為親水性，但高溫時氣墊隔絕層的存在讓鋁板呈現類似疏水性，這可由水滴與鋁板間的接觸角在低溫時為銳角在高溫時為鈍角得到證明。但是當我們嘗試拍攝水滴與高溫鋁板間的氣墊隔絕層時，因為氣墊層太薄，又在全溫鋁表面，不易用光學方法測量；唯有當水滴很小時看到它在板上跳動，這才可證明氣墊隔絕層的存在。

(三) 水滴的碰撞現象

在 180°C 以上的鋁板上，兩粒水滴連續碰撞十餘次卻不結合的現象是很罕見的。雖然水滴表面有表面張力將其維持近乎圓球形，也因為水分子與水分子之間的作用力造成水滴間互相吸附。兩滴水滴碰撞是否結合這取決於表面張力與分子間吸附力的大小。表面張力大於分子間吸附力時就不結合；表面張力小於分子間吸附力時就結合。

(四) 水滴的運動現象

水珠的各種運動現象是相當有趣的，在 150°C 以下水滴會在鋁板上固定位置漸漸汽化消失；在 150°C 以上水滴開始分裂成許多小水滴並在鋁板上跳動；在 200°C 以上，水滴不再分裂，只在鋁板上自由滾動，這是因為 200°C 以上，水滴與鋁板表面之間存在一層氣墊；因為這層氣墊的作用，表面摩擦力減少了，水滴可以毫無阻力地滾動、轉動，這都是可以理解的。水滴在 200°C 以上的振動現象是相當有趣的，由於氣墊層隔開了水滴與鋁板的接觸，水與鋁板之間的摩擦力減低了，所以水滴可以不停的振動，但是水本身的黏滯力應該會阻礙這種振動，本實驗去觀察到水滴不停的振動，詳細現象可以留待進一步的研究。

(五) 水滴在汽化過程中溫度的變化

水滴在 200°C 的鋁板上汽化的過程中測其溫度，發現隨著體積減小，水滴溫度由原來的 95°C 下降到 54°C 左右，消失後，溫度計因接觸到鋁板，溫度回升，這是很令人意外的發現。我們發現溫度下降的程度與溫度計的直徑大小有關，溫度計直徑越大者蒸發吸熱造成的溫度降低越不明顯。反之，當我們特別用 75 微米直徑的溫度計測量溫度變化時，其所下降的溫度高達 40°C 以上，這是相當大的溫度變化，其變化量與溫度計本身的直徑大小是成反比的。

水的吸熱蒸發現象是大家都了解的，例如夏天實用濕毛巾擦臉會感到清涼，就是因為皮膚表面的水吸熱蒸發而造成溫度下降。但是會不會因為天氣越熱而下降溫度越大呢？在本實驗中如果將水沾到溫度計表面讓他自然蒸發，我們量到溫度變化是有限的。然而，當我們用 200°C 高溫促使溫度計表面水的汽化時，反而可以將溫度降得更低，這種現象也是與我們所沒有預料到的，這現象或許會有實際用途也不一定！

七、 結論與建議

- (一) 水滴在 150°C 以下的鋁板上逗留時間，溫度越高，時間越短；在 150°C 以上的鋁板，則溫度越高，時間越長。
- (二) 在室溫時水滴在鋁板上呈扁平狀，與鋁板的接觸角為銳角；在高溫時（150°C 以上），水滴在鋁板上呈圓球狀，與鋁板的接觸角為鈍角。
- (三) 水滴在 100°C 以下會在原地蒸發汽化，在 100°C-150°C 的鋁板上會沸騰迅速汽化，但在 150°C-200°C 的鋁板上會分裂呈小水滴並跳動；在 200°C 以上的鋁板上則不會分裂，但會自由滾動，體積則逐漸變小直到完全汽化。
- (四) 兩水滴在 200°C 以上的鋁板上，常有碰撞而不結合的現象，小水滴有跳動的現象，大水滴則會有振動的現象，其原理可做進一步探討。
- (五) 水滴汽化過程中，溫度有意想不到變化，它的溫度會由 95°C 下降至 54°C 左右，用直徑越小的熱耦式溫度計可以測得更明顯的結果。
- (六) 上述現象與不同材質的金屬板之間有關係，不銹鋼板所需的溫度較鋁板高，這可能與金屬板的熱傳導係數有關，其細節有待進一步研究。

八、 參考資料

- (一) 國立編譯館，(民 89)，國中理化課本第一冊第一章水，台北市。
- (二) Neil Ardley，(1992)，進入科學世界的圖畫書－水，台北，上誼文化。
- (三) 曾增春編，1983，溫度量測學，台北，科技圖書。
- (四) 陳光旨，1997，物態，台北，凡異出版社。
- (五) 光復書局編輯部，1993，新編光復科學圖鑑第十三冊－環繞地球的水，台北，光復書局。
- (六) 趙玉平等，1988，小博士科學尋根 第十五章－飄動的水蒸氣，台北，泉源出版社。
- (七) 李守仁，1999，震盪液滴的內部質量傳送模式-簡諧模式，台灣大學博士論文。

評語：

本作品研究水滴滴在高溫金屬板表面上的各種有趣的物理現象，實驗器材設計精緻，易於觀察相關物理現象，表達能力佳，現象解釋清楚，唯對轉動與滾動之區分不甚清楚，有待改進。

作者簡介

陳欣嵐，今年國二。我從來沒有參加過像這樣子的大型比賽，我很高興能夠參與。這次比賽收穫很多，除了得獎之外，還有許多寶貴的經驗和知識。以後如果還有機會，我一定會全力以赴，表現得更好！

林珮瑜，是 209 的一員，我的個性活潑外向，盡力做好事情；空閒時間我喜歡玩：和同學逛街、打球，或看書、聽音樂、玩電腦等等，這次科展使我有很大收穫，從無到有，受到很多人的幫助；點點滴滴，謝謝每一個人。

吳竹雅，今年是國二生。對於這次參加科展比賽，我的第一印象——很好玩！我從來不知道參加科學方面的比賽竟然會使我那麼興奮。我很高興我能參與這次的科展比賽，這是一次很難得的經驗，令我覺得很感動，我永遠也忘不了！

黃曉瑩，生日在 11 月，是射手座。我的專長是關於運動方面的，嗜好則是看漫畫、小說。我這次參展的感想是很高興能有機會參加這次的比賽，讓我學到許多東西。