

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040107

天上掉下來的禮物-善變的流星

學校名稱：高雄市立高雄高級中學

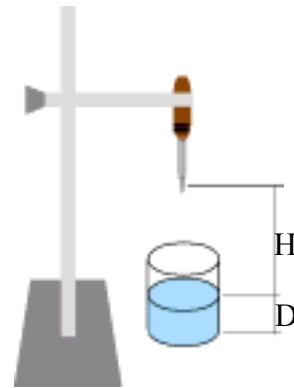
作者： 高二 何冠霖 高一 謝明倫 高一 范志嘉 高一 陳俊享	指導老師： 盧政良
---	--------------

關鍵詞：熱平衡 內聚力 表面張力

天上掉下來的禮物 - 善變的流星

壹、摘要

焊錫經由焊槍加熱，達到高溫時熔化成液態，此時表面張力作用使其外形呈現球體，而焊錫滴與焊槍又因附著力的作用，焊錫不會馬上滴落。當熔化的焊錫滴達一定程度大小，重力大於表面張力造成之拉力而滴落。偶然的機會，我們將焊錫滴入水中，而滴落的焊錫在不同的條件下會再度凝固成各種形狀，我們探討各種不同的條件下(高度、深度、液體種類、溫度...等)，焊錫再度凝固為各種形狀過程的機制與其物理原理。



貳、研究動機

本來，我們幾位志同道合的同學比較有興趣想要研究的是電學中的一些現象，然而，在研究的過程中使用焊錫接連電路時，偶然發現焊錫融熔後滴入水中，凝固後的錫塊居然會出現一些奇怪的形狀，但是似乎又有其規則性，經過初步的嘗試與討論之後發現這是一個相當有趣而且值得研究的題材，研究的過程當中也多次求教於老師與這些現象相關的一些物理原理與理論，進而設計多種不同的實驗，以期找出這些有趣的現象本身的規則性與相對應的物理原理。

參、研究目的

觀察焊錫滴在不同環境條件下凝固後的形狀，找出其規律性，以期能進一步了解過程當中的物理原理：

- 一、觀察焊錫滴落入液體中時的瞬時速度與形狀變化的關係
- 二、觀察並測量焊錫滴落入液體的過程中發生形變的位置
- 三、觀察溫度對焊錫形變的影響
- 四、觀察焊錫滴的大小與形狀變化的關係
- 五、研究各種環境條件下，對焊錫凝固過程造成影響的主要原因

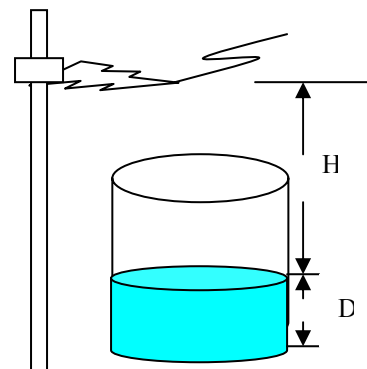
肆、 研究設備及器材

無鉛焊錫(直徑 0.10cm)	焊槍	鑷子
電子天秤	數位相機	電湯匙
燒杯 (1000c.c 及 100c.c)	海綿	冰塊
蒸餾水	食鹽	甘油
沙拉油	數位攝影機(DV)	鐵架
鐵夾	焊槍座	捲尺
水銀溫度計		

伍、 研究過程或方法

本實驗裝置示意圖如右，先準備一個 1000c.c 的燒杯，內裝一定水量，測量出水的深度 D ；以架子固定焊槍，與水面的距離即稱為高度 H 。接下來用焊錫接觸焊槍，使焊錫遇熱熔化，並滴入水中，再看看凝固後焊錫滴的形狀。調整不同的**高度(H)**與**水深(D)**，測量並對照不同條件得到的結果，找出其規則性。






接著，改以**不同液體**重複相同步驟，並觀察不同液體造成的影響有何差異，再根據不同液體造成的影響設計不同的實驗，研究與探討影響焊錫滴凝固後外型的主要影響變因。



一、現象觀察

觀察一 觀察焊槍的高度與焊錫滴凝固後之形狀的關係






方法：水深固定，改變高度，觀察焊錫滴形狀變化，探討瞬間衝力對焊錫滴的影響

深度 = 10cm 液體種類：水 水溫 25	
焊槍高度	觀察結果
0 cm	
20cm	
50cm	
70 cm	
100cm	

結果：由上圖可以看出，其變化有規律性，隨高度增加，焊錫滴的形狀從圓球形慢慢變扁，逐漸變成圓盤狀，再變成趨近於碗公狀，而且其凹陷程度越來越大。

觀察二 觀察容器底部對焊錫滴的影響






方法：在燒杯底部墊上一層海綿，並重複觀察一，比較與不加海綿的有何差異。






深度 = 10cm 液體種類：水(底部墊海綿) 水溫 25 改變焊槍高度(H)	
焊槍高度	觀察結果
0 cm	
20cm	
50cm	
70 cm	
100cm	






結果：與觀察一並無太大差異，也就是說，上圖中形變並非撞擊底部所造成。

觀察三 觀察液體種類對焊錫滴的影響

方法：改以甘油、沙拉油、飽和食鹽水，重複觀察一，探討液體特性對焊錫滴的影響。

深度 = 10cm 液體種類：甘油 溫度 25 改變焊槍高度(H)	
焊槍高度	觀察結果
0 cm	
50cm	
100cm	
150cm	
200cm	

深度 = 10cm 液體種類：沙拉油 溫度 25 改變焊槍高度(H)	
焊槍高度	觀察結果
0 cm	
50cm	
100cm	
150cm	
200cm	

深度 = 10cm 液體種類：飽和食鹽水 溫度 25 改變焊槍高度(H)	
焊槍高度	觀察結果
0 cm	
50cm	
100cm	
150cm	
200cm	






結果：觀察可發現，甘油的形狀從高度 0 200cm，幾乎全為圓球形。至於沙拉油則類似甘油，只是其形狀在高度改變下略有變扁的趨勢，並有少數不規則的現象。而在飽和食鹽水中，焊錫的形狀有趨向扁的趨勢。






觀察四 觀察水溫對焊錫滴的影響

方法：改以兩種極端的水溫(0 及 100)。重複觀察一，再與常溫水的情況作比對。

熱水 利用電湯匙將水加熱至沸騰，觀察焊錫滴形狀與常溫水的差異。

冷水 使燒杯內水溫保持 0 ，觀察焊錫滴形狀與常溫水的差異(操作時不直接在燒杯中加入冰塊，以防止焊錫滴撞擊冰塊以致影響其結果)。

深度 = 10cm 液體種類：水 水溫 100 改變焊槍高度(H)	
焊槍高度	觀察結果
0 cm	
10cm	
20cm	
30 cm	
50cm	





深度 = 10cm 液體種類：水 水溫 0 改變焊槍高度(H)	
焊槍高度	觀察結果
0 cm	
10cm	
20cm	
30cm	
50cm	

反面

結果：觀察中可發現，熱水與冷水最大的不同，便是其形狀的變化。在熱水中，焊錫滴較偏向球形；冷水則較扁。

觀察五 觀察分層液體對焊錫滴的影響






方法：在 9cm 的蒸餾水鋪上一層 1cm 的沙拉油，重複觀察一，觀察其焊錫滴的形狀，從中了解影響焊錫滴的凝固，是發生在液面處或是液面下。

深度 = 10cm 液體種類：9cm 水+1cm 沙拉油 溫度 25 改變焊槍高度(H)	
焊槍高度	觀察結果
0 cm	
50cm	
100cm	
150cm	

結果：在此觀察中，由於沙拉油密度較小，且油水不互融，故上層為沙拉油，下層為水。但由觀察的結果可發現，其形狀與直接滴在沙拉油中並無太大差異，於是我們可推論，影響焊錫滴形狀的因素，最主要是在液面處附近的影響。

觀察六 觀察水的深度對焊錫滴的影響

方法：改變燒杯中蒸餾水的深度(D)，觀察焊錫滴形狀的改變。

高度 = 10cm		液體種類：水		溫度 25	
		改變深度(D)			
深度	觀察結果				
10 cm					
7cm					
5cm					
3cm					
1cm					

結果：焊錫滴的形狀在水深 3cm 以上，其形狀都沒有太大的變化，一直保持著扁圓形，但是水深降到 1cm 時突然變為扁平狀，與其他的形狀有極大的差異，推測是**撞擊容器底部**造成的結果，所以可以看出水的深度之影響。

二、物理原理

由以上觀察我們做以下推論：

1、推測焊錫落下經過

(1)由觀察二我們可以知道：焊錫滴在落到底部之前就已經先凝固定型

且由觀察五我們可以知道：焊錫滴的形狀在表面附近就已成形，所以才會接近沙拉油而不是水的形狀。故我們可以知道一般深度下焊錫滴是在表面下方附近發生形變。

(2)但是由觀察六我們可以知道：若深度小於某臨界值，焊錫會因為尚未凝固而撞到底部再度變形。

(3)綜合以上兩點，我們歸納出以下的兩種狀況

a.一般情況：

焊錫熔化墜落 衝撞液面產生形變 (進入液體)焊錫滴的內聚力試圖將他修復成球形 凝固後不再形變 落入杯底

b.不規則情況：

焊錫熔化墜落 衝撞水面產生形變 (進入液體)焊錫滴的內聚力試圖將他修復成球形 (凝固前) 撞到底部再次形變 凝固成形

2、為了方便繼續探討下去，我們再此定義了五個新名詞：

(1) **恢復球時間**(T_B)：在不考慮冷卻凝固的前提下，從衝撞表面形變到被內聚力拉回球形所需要的時間。

(2) **冷凝時間**(T_C)：焊錫滴於液體中從液態冷卻凝固所需要的時間。

(3) **終端速度**(V_T)：焊錫滴在液體中，由於液體種類的不同進而影響到阻力，近而在液體中有不同的速度。

(4) **恢復球距**(d_B)：在不考慮冷卻凝固的前提下，從衝撞表面形變到被內聚力拉回球形所需要的距離。也就是(恢復球時間(T_B) × 終端速度(V_T))。亦即，若深度 < 此距離，則無法恢復成球形。

(5) **冷凝距**(d_C)：焊錫滴於液體中從液態冷卻凝固所需要的深度。也就是(冷凝時間(T_C) × 終端速度(V_T))。亦即，若深度 < 此深，則先撞到底部後才凝固。

3、影響**恢復球時間**(T_B)的原因

(1) 落下高度：

如果焊錫落下的高度較高，那它撞擊液體表面時衝力會較大，以致形變較大，故需要較長的時間才能讓他恢復成球形，反之亦然。故落下高度和恢復球時間(T_B)成正相關。

(2) 表面張力：

如果被撞擊液體表面張力較大，則形變也較大，故需要較長的時間才能讓他恢復成球形，反之亦然。所以表面張力和恢復球時間(T_B)成正相關。

4、影響**冷凝時間**(T_C)的原因

(1) 液體導熱性：

如果某種液體的導熱性很好，便能很快地把大量的熱帶走，使焊錫快速的冷卻凝固，反之亦然。故液體導熱性和冷凝時間(T_C)成反相關。

(2) 液體溫度：

如果液體的溫度越高，焊錫便擁有更多的時間冷卻凝固，反之亦然。故液體溫度和冷凝時間(T_C)成正相關。

5、形狀的決定：

將「**恢復球時間**(T_B)」及「**冷凝時間**(T_C)」分別乘以**終端速度**(V_T)，就成了「**恢復球距**(d_B)」及「**冷凝距**(d_C)」：

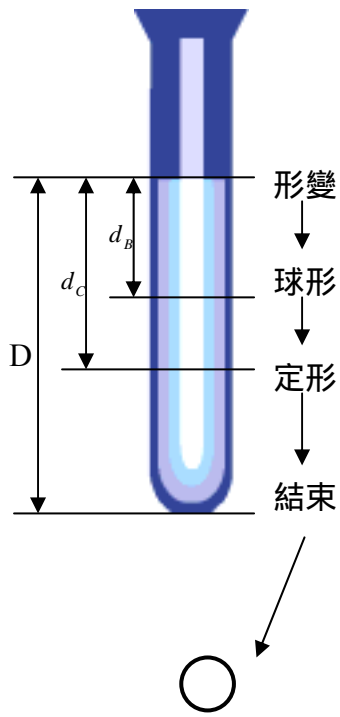
$$V_T \times T_B = d_B$$

$$V_T \times T_C = d_C$$

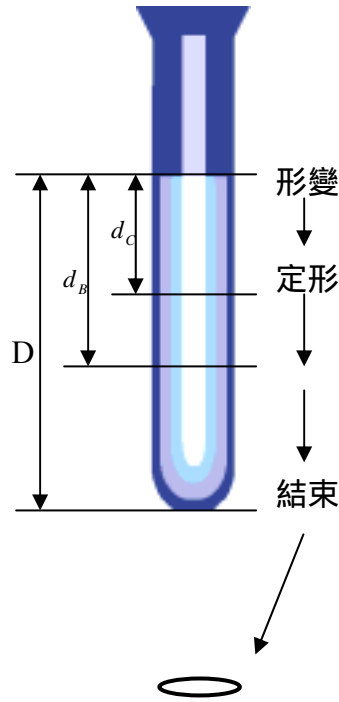
而造成形狀差異的關鍵，則在於**液體深度**(d)、**恢復球距**(d_B)、**冷凝距**(d_C)之間的關係，也就是說，藉由調整不同的液體深度；或是從溫度、落下高度等變因下手，試圖改變恢復球距(d_B)及冷凝距(d_C) 等等，皆可改變焊錫滴的形狀。

6、形狀的決定：恢復球距(d_B)、冷凝距(d_C)、液體深度(D)

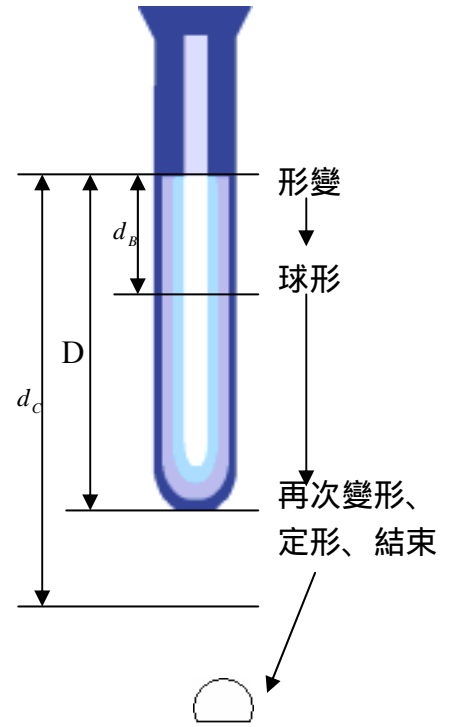
(1) $D > (d_C) > (d_B)$



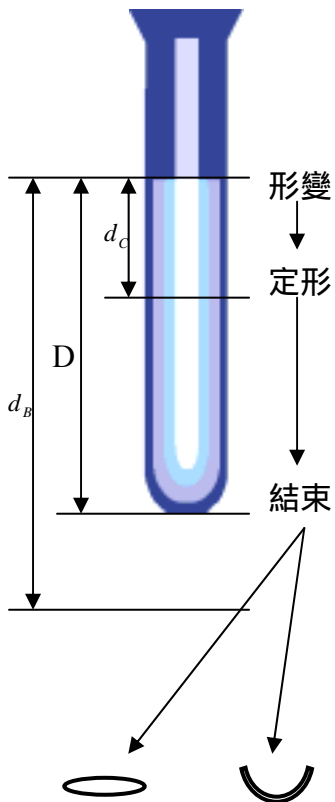
(2) $D > (d_B) > (d_C)$



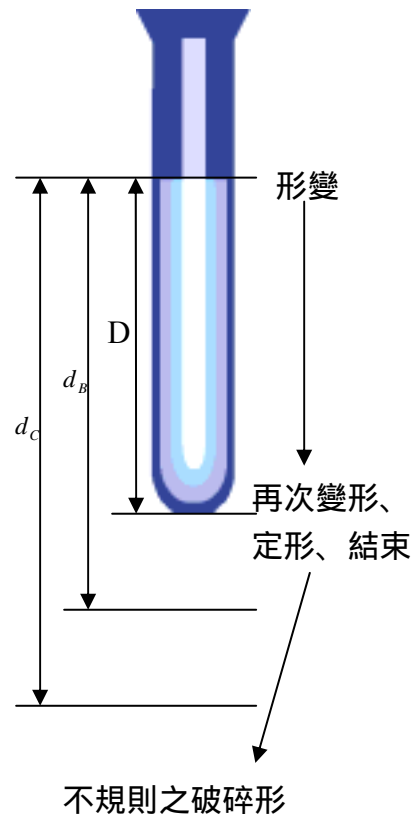
(3) $(d_C) > D > (d_B)$



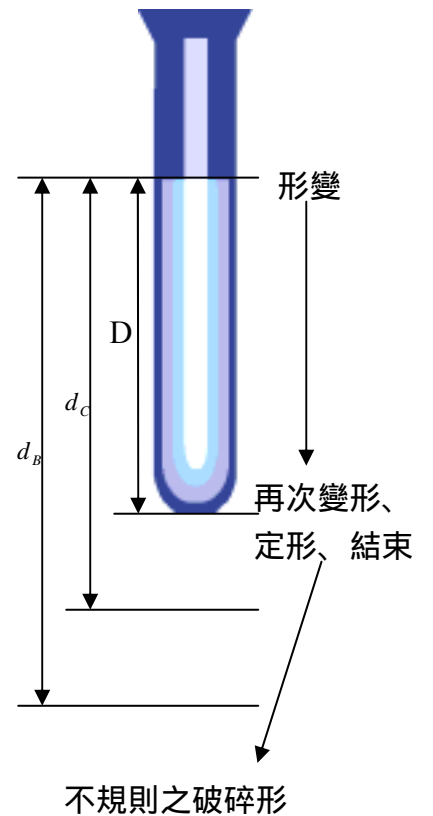
(4) $(d_B) > D > (d_C)$



(5) $(d_C) > (d_B) > D$



(6) $(d_B) > (d_C) > D$



三、臨界值測量實驗

1、實驗目的：了解冷凝距(d_c)與溫度、落下高度的關係

2、實驗方法：

(1)以水為研究對象

a、將水加熱至 45 、 65 、 85 三種溫度

b、先取溫度 85 的水，以高度 5cm 將焊錫滴滴入，再以高度 10cm、15cm、20cm、30cm、40cm (直到液體深度再深，焊錫滴也無法恢復成球形時的臨界高度)，記錄焊錫滴尚可恢復成球形的液體**臨界深度**。

c、再以 65 、 45 的水重複步驟 b

(2)以甘油為研究對象

a、將水加熱至 45 、 65 、 85 三種溫度

b、先取溫度 85 的甘油，以高度 5cm 將焊錫滴滴入，再以高度 10cm、15cm、20cm、30cm、40cm (直到液體深度再深，焊錫滴也無法恢復成球形時的臨界高度)，記錄焊錫滴尚可恢復成球形的液體**臨界深度**。

c、再以 45 、 65 、 85 的甘油重複步驟 b

3、實驗結果： Ps:每一顆焊錫滴的重量相近(0.20~0.22g)

(1) 以水為研究對象

表 3-1 焊錫滴落下高度與焊錫滴恢復成球形的最小水面深度(恢復球距 d_B)

落下高度(cm)	溫度()	恢復球距(d_B) (cm)	
5	85	0.5	恢復成球的距離
10	85	0.5	恢復成球的距離
15	85	0.5	恢復成球的距離
20	85	1.5	恢復成球的距離
30	85	2.5	恢復成球的距離
40	85	3.5	恢復成球的距離
50	85	3.5	恢復成球的距離
60	85	4.5	恢復成球的距離
70	85	4.5	恢復成球的距離
80	85	5.5	恢復成球的距離
90	85	6.5	恢復成球的距離
100	85	7.5	冷凝距
105	85	不能恢復成球形	
5	65	0.5	恢復成球的距離
10	65	1.5	恢復成球的距離
15	65	2.5	恢復成球的距離
20	65	3.5	恢復成球的距離
30	65	4.5	恢復成球的距離
40	65	5.5	冷凝距
45	65	不能恢復成球形	
5	45	1.5	恢復成球的距離
10	45	3.5	冷凝距
15	45	不能恢復成球形	

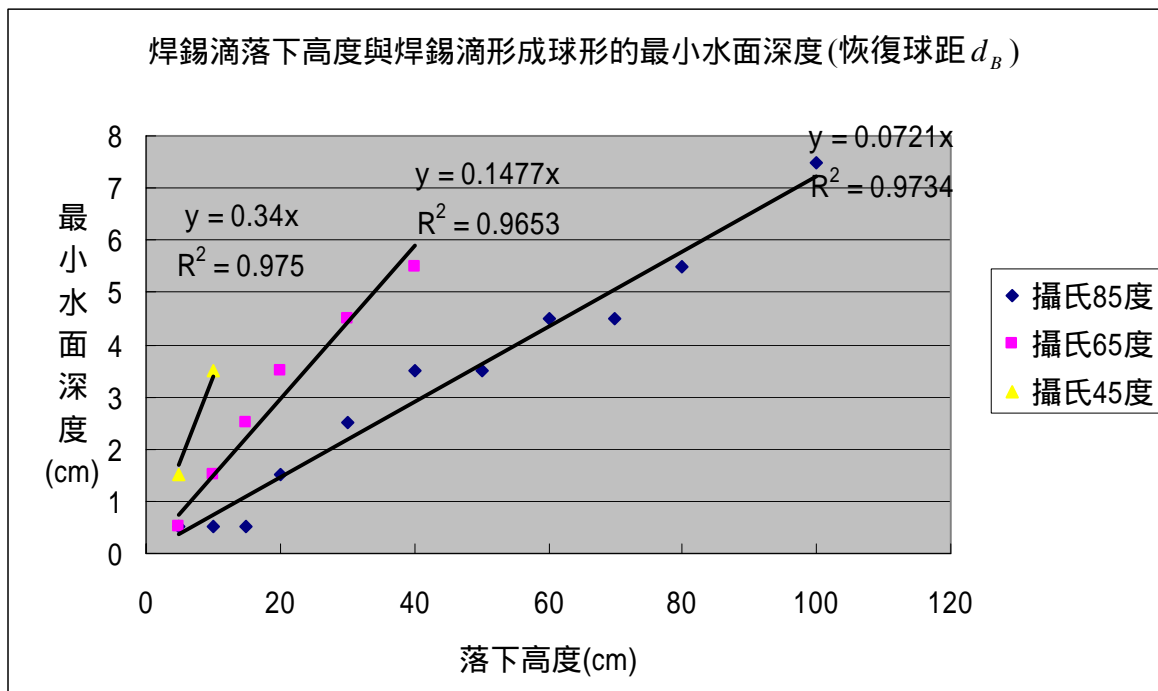


圖 3.1 焊錫滴落下高度與焊錫滴恢復球形的最小水面深度(恢復球距 d_B)

(2)以甘油為研究對象

表 3-2 甘油溫度與與焊錫滴恢復球形的最小甘油面深度(冷凝距 d_C)

落下高度(cm)	溫度()	冷凝距(cm)(d_C)	
5	85	15.5	冷凝距
10	85	15.5	冷凝距
15	85	15.5	冷凝距
20	85	15.5	冷凝距
5	65	14.5	冷凝距
10	65	14.5	冷凝距
15	65	14.5	冷凝距
20	65	14.5	冷凝距
5	45	12.5	冷凝距
10	45	12.5	冷凝距
15	45	12.5	冷凝距
20	45	12.5	冷凝距
5	35	10.5	冷凝距
10	35	10.5	冷凝距
15	35	10.5	冷凝距
20	35	10.5	冷凝距
5	25	4.5	冷凝距
10	25	4.5	冷凝距
15	25	4.5	冷凝距
20	25	4.5	冷凝距

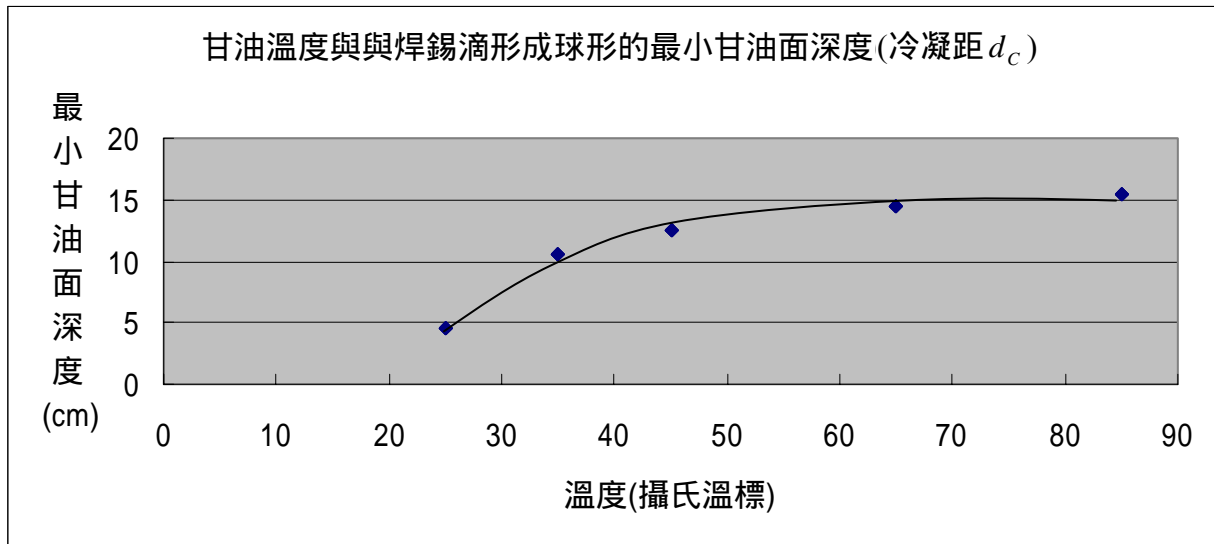


圖 3.2 甘油溫度與與焊錫滴恢復球形的最小甘油面深度(冷凝距 d_c)

由於甘油的恢復球距(d_B)極小，皆在 0 ~ 1cm 之間(亦由觀察三得知甘油易恢復成球)，其變化不大，故將重點放在冷凝距(d_C)的部分。

陸、研究結果與討論

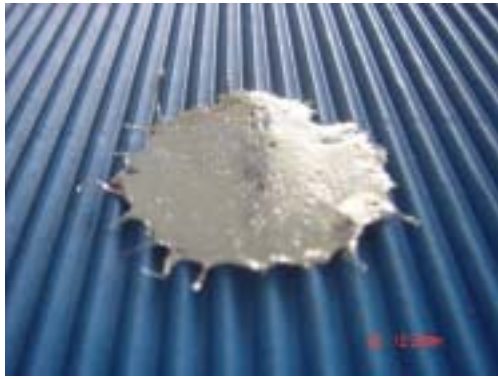
經由以上一系列的實驗結果可以明顯地歸納出一些規律性，並可藉由這些規律性探討其物理原理：

一、焊錫滴的外形：

1. 焊錫滴的形狀與水滴類似，呈現水珠狀，在接近桌面($h < 5\text{cm}$)時，滴落在桌面上呈現球形，以表面張力的觀念可以合理地解釋：由於焊錫的表面張力甚大，如同水銀或者荷葉上的水珠一般，故其表面張力會使其液滴之表面呈現最小的表面積，所以呈現球形。
2. 另一方面，當高度提高時，可觀察到焊錫滴滴落在桌面後會變成一片放射狀的圓形薄片，由此結果可以推測，當高度提高時，焊錫抵達桌面時的速度較大，其桌面施予焊錫滴的作用力較大：

$$\therefore F = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \frac{v' - v}{\Delta t}$$

其中由於末速 $v' = 0$ ，且作用時間甚短，故可知 v 增大時，其作用力 F 較大，故當焊錫滴尚未凝固前，桌面的作用力會破壞其外形，故呈現一放射狀的圓形薄片。



3. 本來我們猜想，如果高度夠高的話，焊錫可能在滴落地面以前就凝固，而呈現球形或是水滴形，然而經由我們最大極限，測出高度為 3 公尺時，焊錫滴落至地面仍為圓形薄片，由此可估計，高度 3m 的自由落體落地時間約為：

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 3}{9.8}} \cong 0.782(\text{s})$$

可推測這麼短的時間內，焊錫尚未凝固。

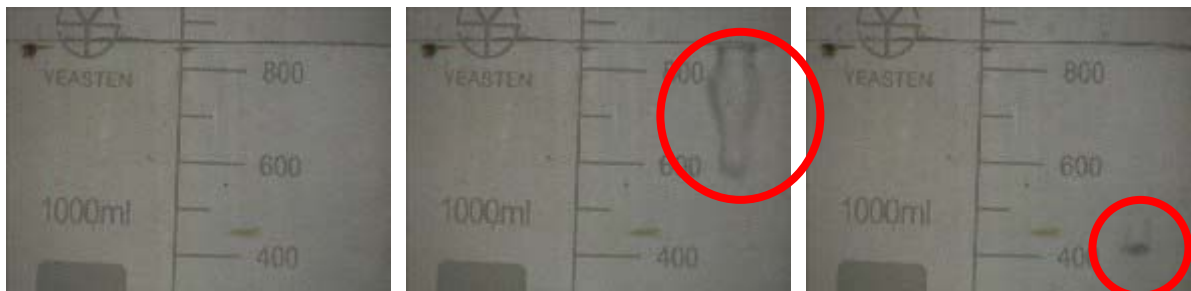
二、落入水中的變化：

1. 落入水中的情形經觀察發現大致有四種形狀，即**球形**、較扁平的**橢圓形**、**碗形**，還有**放射狀的球形**。
2. 開始研究之前，本來是觀察到放射狀的球形令我們感到驚奇且有趣，然而開始實驗後卻一直看不到這種特殊的形狀，初步看到的都是球形，隨著高度的增加，越來越扁，甚至會變成碗形。
3. 經由一系列的實驗觀察我們仔細比對各種情況，加以分析，終於可以歸納出焊錫滴在融化後再度凝固發生的形狀變化的機制與物理原理，我們根據我們的假設——驗證各種情況
 - a. 一般情況：

焊錫融化墜落 衝撞水面產生形變 (進入液體)焊錫滴的內聚力試圖將他修復成球形
凝固後不再形變 落入杯底
 - b. 不規則情況：

焊錫融化墜落 衝撞水面產生形變 (進入液體)焊錫滴的內聚力試圖將他修復成球形
(未凝固) 撞到杯底再次形變 凝固成形

這兩種情況皆可以用攝影分析解釋

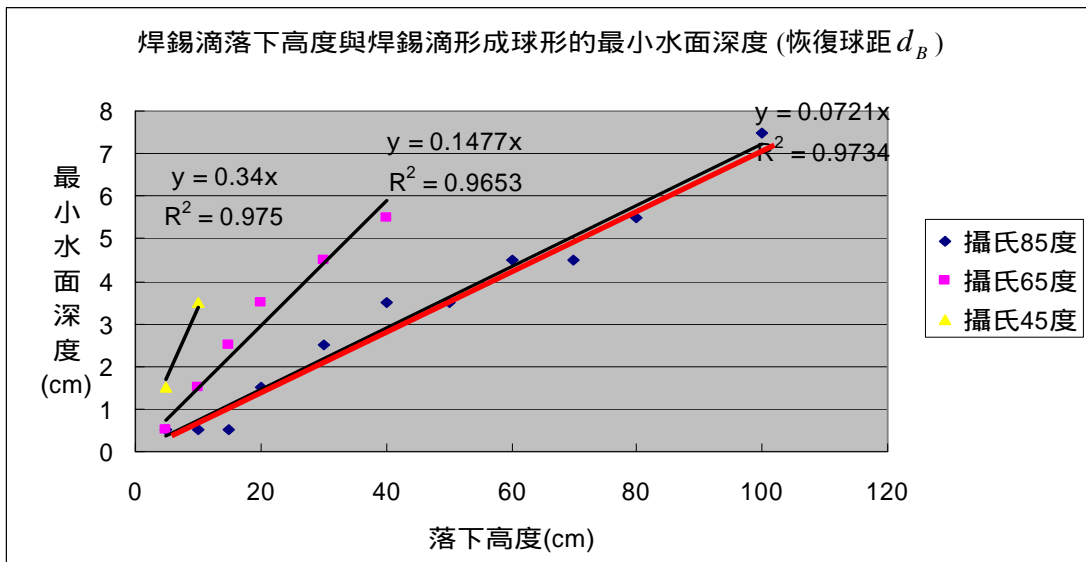


由影像中可看出，撞擊液面時，液面凹陷，焊錫滴與液面發生劇烈作用造成形變，進入液體中，焊錫滴逐漸恢復成球形。

柒、結論

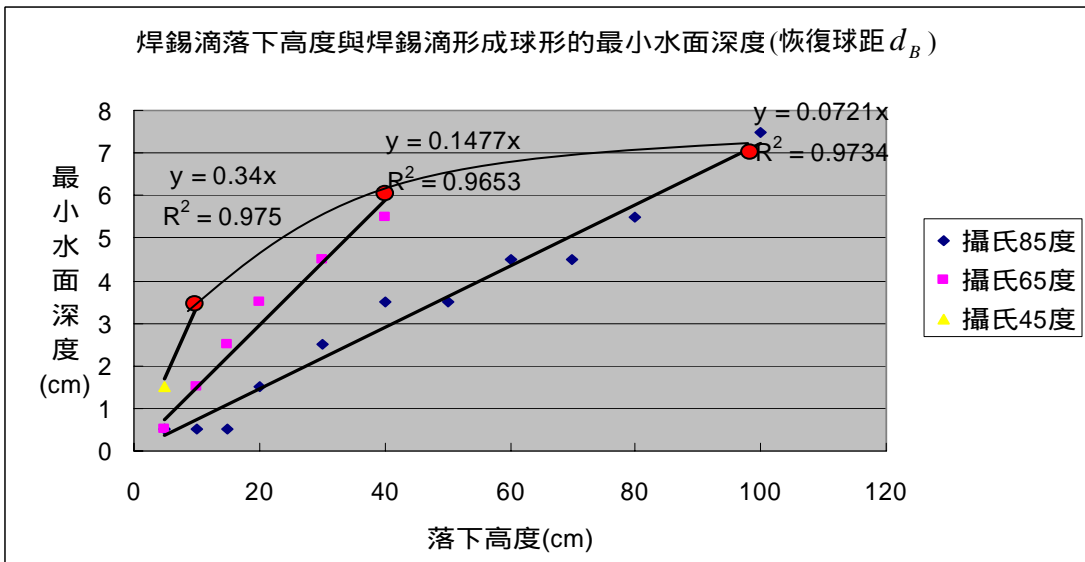
- 一、 焊錫經由焊槍加熱，達到高溫時熔化成液態，此時由於表面張力作用使其外形呈現球體。
- 二、 焊錫滴與焊槍的附著力的作用，當熔化的焊錫滴達一定程度大小，此時重力大於表面張力造成之拉力才會滴落。
- 三、 焊錫滴在滴落的過程中與空氣的介面之表面張力的作用仍然會呈現球形或水滴形，此過程中由於其溫度遠高於室溫，持續放熱而溫度下降，結果可發現在下落過程當中，焊錫仍不會凝固。
- 四、 若焊錫落至地面或桌面，在接近桌面($H < 2\text{cm}$)時，滴落在桌面上呈現球形，以表面張力的觀念可以合理地解釋：由於焊錫的表面張力甚大，如同水銀或者荷葉上的水珠一般，故其表面張力會使其表面呈現最小的表面積，所以呈現球形。
- 五、 觀察焊錫滴落入液體中時，在接觸液面時，液體的表面與焊錫滴表面的瞬間接觸會發生表面張力作用會使焊錫滴發生形變。
- 六、 焊錫滴的一般情況：
焊錫熔化墜落 衝撞液面產生形變 (進入液體)焊錫滴的內聚力試圖將他修復成球形 凝固後不再形變 落入杯底。
- 七、 影響形變的變因

(1) 落下高度(H) vs 恢復球距(d_B)

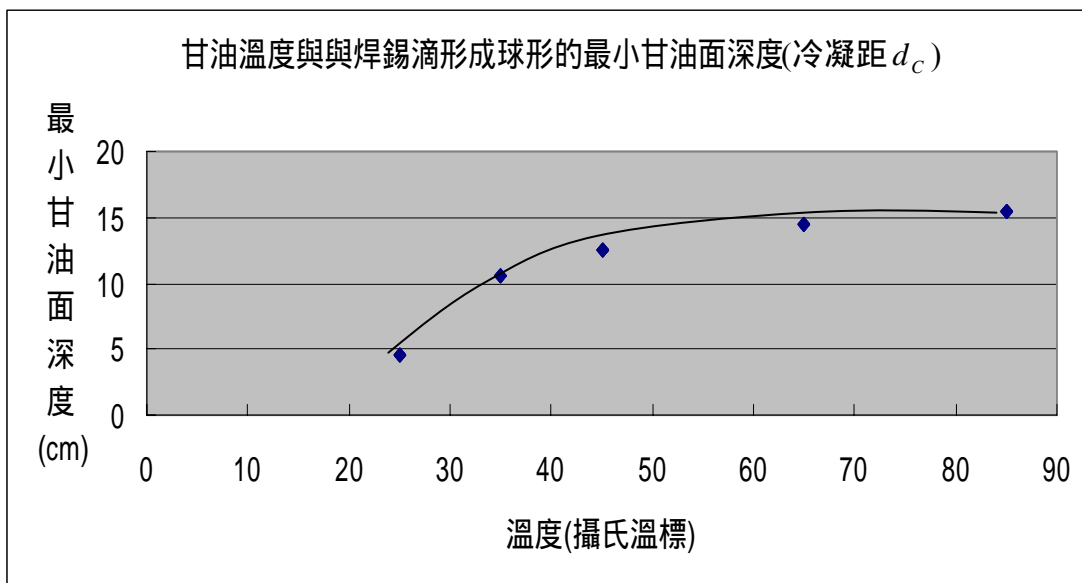


結論：由圖中可以看出，在液體種類和溫度皆相同的情況下，落下高度與恢復球距(d_B)有很好的正向關係，而且是趨近於線性關係。

(2)溫度 vs 落下高度(H)

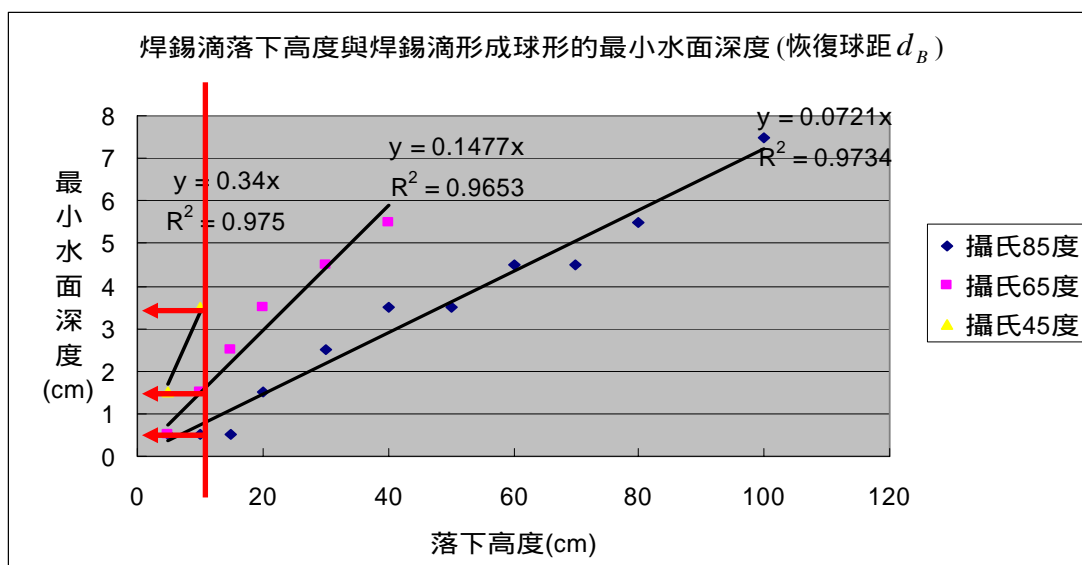


結論：圖中的紅點即為冷凝距(d_C) (超過此距離則已經冷卻，無法再恢復球形，故其為恢復球距(d_B)的最大值)，可以看出其隨著溫度降低時，由於快速冷卻，造成冷凝距(d_C)的下降；圖形還是有正向關係存在。



結論：我們同時去比較甘油的冷凝距(d_C)，發現正向關係依舊良好；且其與上圖十分相似。

(3)表面張力 vs 恢復球距(d_B)



結論：為了控制變因，先畫一條鉛垂線以固定落下高度(10 cm)。我們可以發現，在落下高度相同的情況下，溫度低的液體需要較長的距離以恢復球形，溫度高則相反。其關鍵在於：溫度高時，表面張力小，故撞擊水面時的形變不大，造成恢復成球形所需的距離變小，溫度低則反之，而非溫度直接影響恢復球距。

(4)導熱性 vs 冷凝距(d_c)

不同液體 冷凝距 (d_c)之比較		
溫度	水	甘油
85	7.5cm	15.5cm
65	5.5cm	14.5cm
45	3.5cm	13.5cm

結論：由表中可看出，甘油的冷凝距(d_c)比水大很多，這是由於甘油的導熱性差，故熱量不易散失，造成焊錫滴不易凝固，故其冷凝距便遠大於水了。

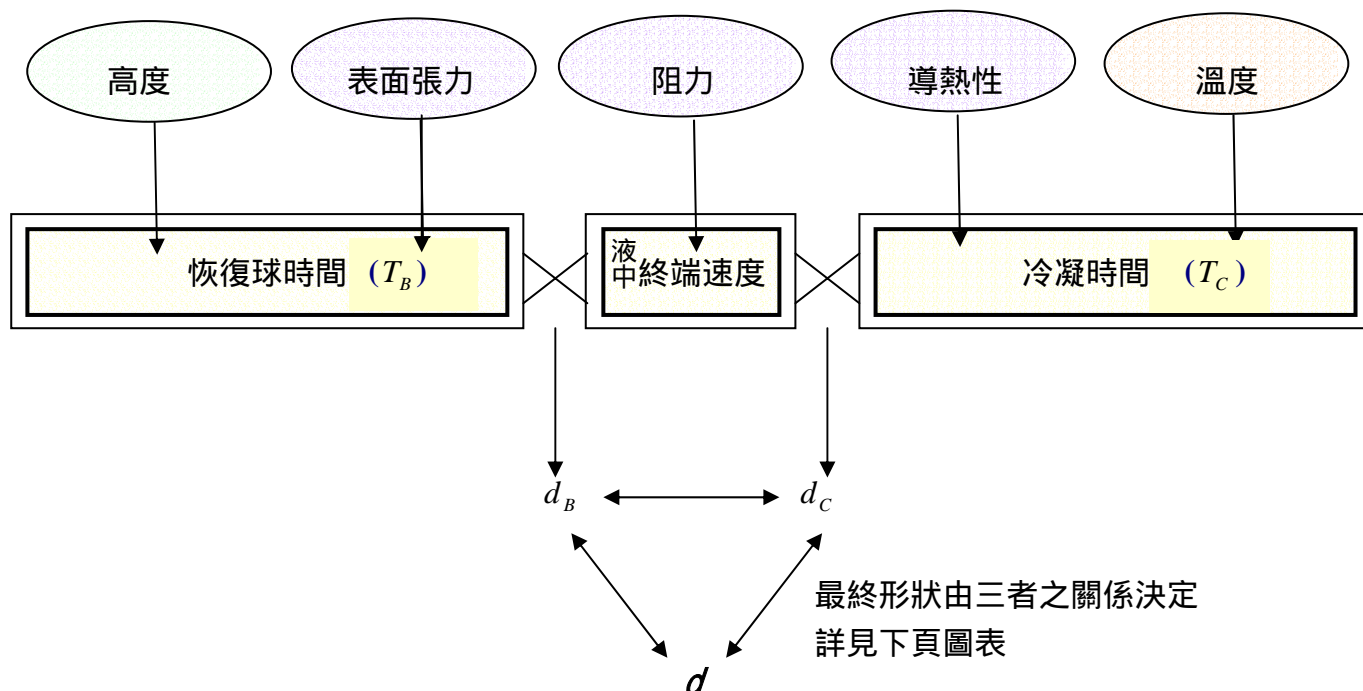
(5)終端速度(V_T)

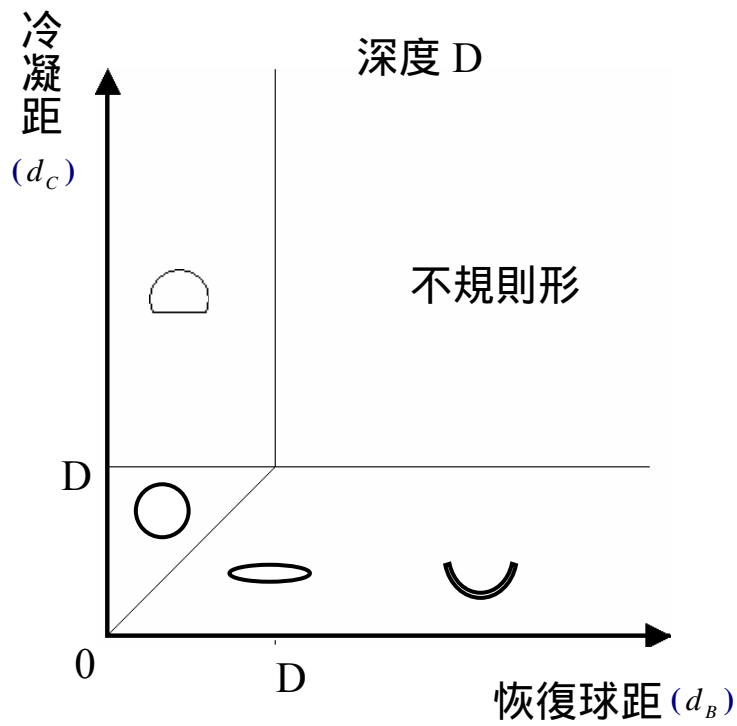
不同液體恢復球距(d_B)之比較				
溫度	高度	水	甘油	
85	10cm	0.5	0.5	
	20cm	1.5	0.5	
	30cm	2.5	0.5	
	40cm	3.5	0.5	
65	10cm	0.5	0.5	
	20cm	1.5	0.5	
	30cm	3.5	0.5	
	40cm	5.5	0.5	
45	10cm	3.5	0.5	
	20cm		0.5	
	30cm		0.5	
	40cm		0.5	

結

論：由表中可以明顯看出，甘油不管溫度、高度為何，其恢復球距(d_B)都是很小的0.5cm，但甘油的表面張力與水並無太大差異，我們更進一步發現，甘油的黏滯性(阻力)極大，焊錫滴幾乎是緩緩落下，故其終端速度(V_T)極小，以致造成恢復球距(d_B)極小。

八、形變變因總整理





	$D > d_B$		$D < d_B$
$D > d_c$	$D > d_c > d_B$ ○	$D > d_B > d_c$ ⊖	⊖ ⊔
$D < d_c$	⊔		不規則之破碎形

捌、參考資料

一、參考書目：

1. Benson . *University Physics*. 歐亞書局
2. Holliday, Resnick & Walker. *Fundamental of Physics 4th Ed*. John Wiley & sons, Inc.

【評 語】 040107 天上掉下來的禮物-善變的流星

本作品探討焊錫再凝固之各種形狀，是一個很有趣的題目，唯結果之分析應可再加強，分析結果之討論亦可再加強。