

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

030111

膜力--探討圓形石頭或彈珠在不同高度落水時產生的現象

學校名稱：屏東縣立明正國民中學

作者：  國三 鍾仕御  國三 胡承浚	指導老師：  陳盈吉  鍾梅英
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：水膜、大氣壓力、白努力

# 摘要

我們利用三種不同質量與體積的球體(484g 的龜甲石、108g 的大彈珠、24g 的中彈珠)，自離水面 129 公分高處分別自由落體降入水中，觀察水面所形成的水膜與水面下所形成的錐形體關係。發現不同球體有各自不同的成膜高度，且高度越高其所造成的空氣甜筒體積越大。研究中發現空氣甜筒的體積遠大於球體本身所排開的水體積，推測在球體迅速落水膜的時候帶入大量的空氣。我們試著建立空氣甜筒所形成的模型為球體下降的過程中，推測球體下方運動較為快速，造成的壓力較小，所以造成外界較大的大氣壓力帶進更多的空氣，形成空氣柱。同時因為越往下方移動，水壓越高，因此造成水面下的錐形體，且錐形體內的空氣壓力小於外界大氣壓力，因此擠壓濺起的水體向內產生水膜。

## 壹、研究動機

下雨時，雨滴掉落水面濺起美麗的水花，輕輕丟一塊小石在水中也會濺起水花。但是有趣的是，我們發現石子拋得越高，濺起的水花越高，甚至水花會包起來，形成膜狀。使我們想要進一步了解物體撞擊水面產生水花到產生水膜的因素是甚麼。於是我們決定來深入探討這當中是否隱藏美麗的奧秘。

## 貳、文獻回顧

我們搜尋科展群傑廳參考過去關於這類的研究，多半是討論水滴滴到薄液產生水花皇冠（53 屆全國科展物理科）或是水滴滴到物體表面濺起的水花形狀（54 屆全國科展物理科）。水滴的位置越高（最高距離為 120cm），水花皇冠越向內包，形成內包的水皇冠。

當我們用石子投擲時，也有類似的現象。只是我們發現用石子投擲似乎比水滴更容易形成皇冠甚至於在水面上形成水膜，並且石頭高度越高或石頭越重，水膜會越大。

因此，我們針對我們有興趣的水膜提出以下數個問題：

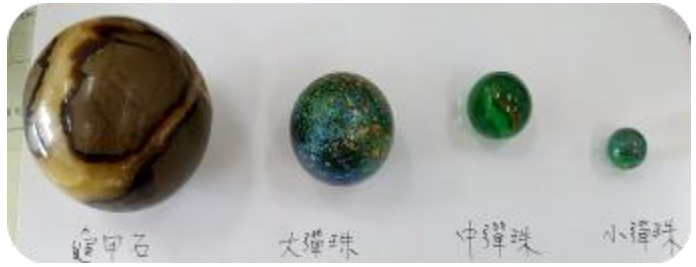
- 一、 石子下落高度是否影響水膜的 formed 難易。
- 二、 相同高度下，石子的重量是否影響水膜的 formed 難易。
- 三、 為了控制變因,我們選擇圓形、直徑大小不同的彈珠或石子來實驗，石子直徑大小不同是否也會影響。

## 參、實驗目的

1. 測量彈珠或石子在不同高度落下時產生的水膜大小
2. 測量不同直徑的彈珠或石子所造成的水膜大小
3. 測量不同質量的彈珠或石子所造成的水膜大小
4. 推測水膜的體積與物體排開水的體積的關係

## 肆、實驗器材

1. 龜甲石 484gw，直徑 8cm
2. 大彈珠 108gw，直徑 3cm
3. 中彈珠 24gw，直徑 2cm
4. 小彈珠 8gw，直徑 1cm
5. 大魚缸[62.7 x 30 x 45]cm<sup>3</sup>
6. 軟墊 7. 布尺
8. 鐵尺 9. 電子秤 10. 相機數台 11. 粗木條 12. 紅棉線



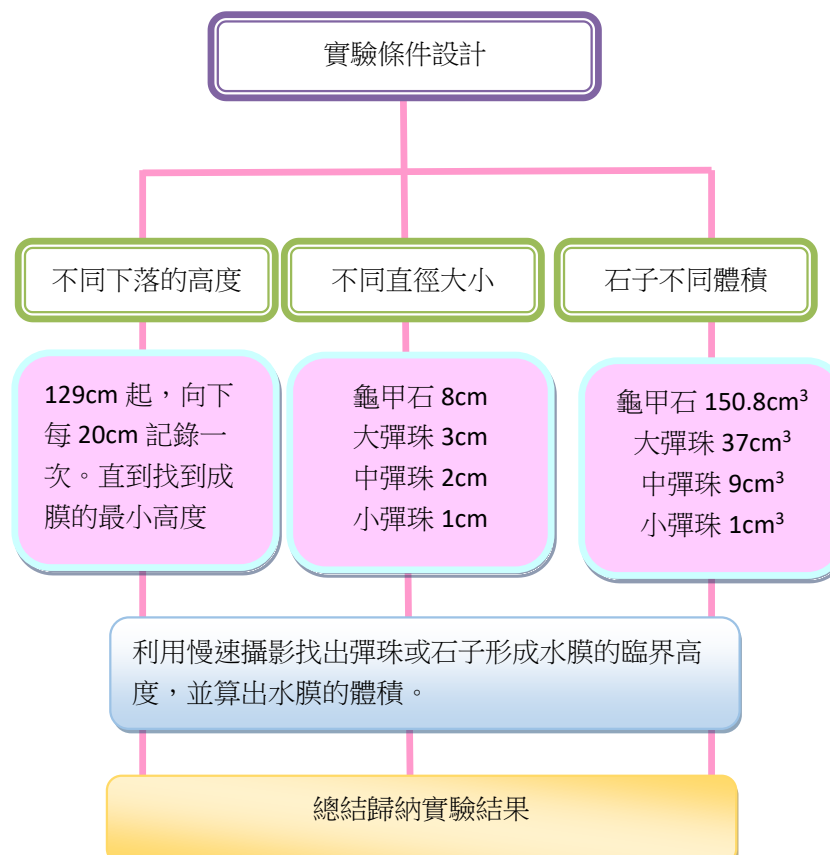
## 伍、實驗方式與步驟

一、重物在一定的高度掉落進水面時，所造成的冠型水膜會變高、變大，且開始收縮。我們猜測可能跟重物造成的能量，物體與水接觸的表面積有關係，不但如此似乎連石子的大小也會影響。所以我們設計了以下變因：

- (1) 我們嘗試用不同高度，利用重力位能 ( $mgh$ ) 來求出形成水膜的臨界能量。
- (2) 用不同的大小的彈珠其直徑和表面積和水膜變化的關係。
- (3) 約略算出水膜的體積。

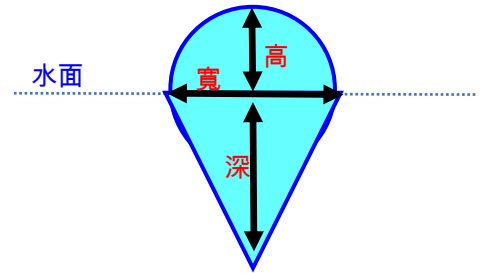
二、我們知道物質不會憑空出現或消失，水膜的水應該是石子落水時排出水，在水面上產生水膜。所以我們算物體在水下排開水的圓柱體體積，和水上水膜的體積，並加以探討。

### 三、實驗條件設計

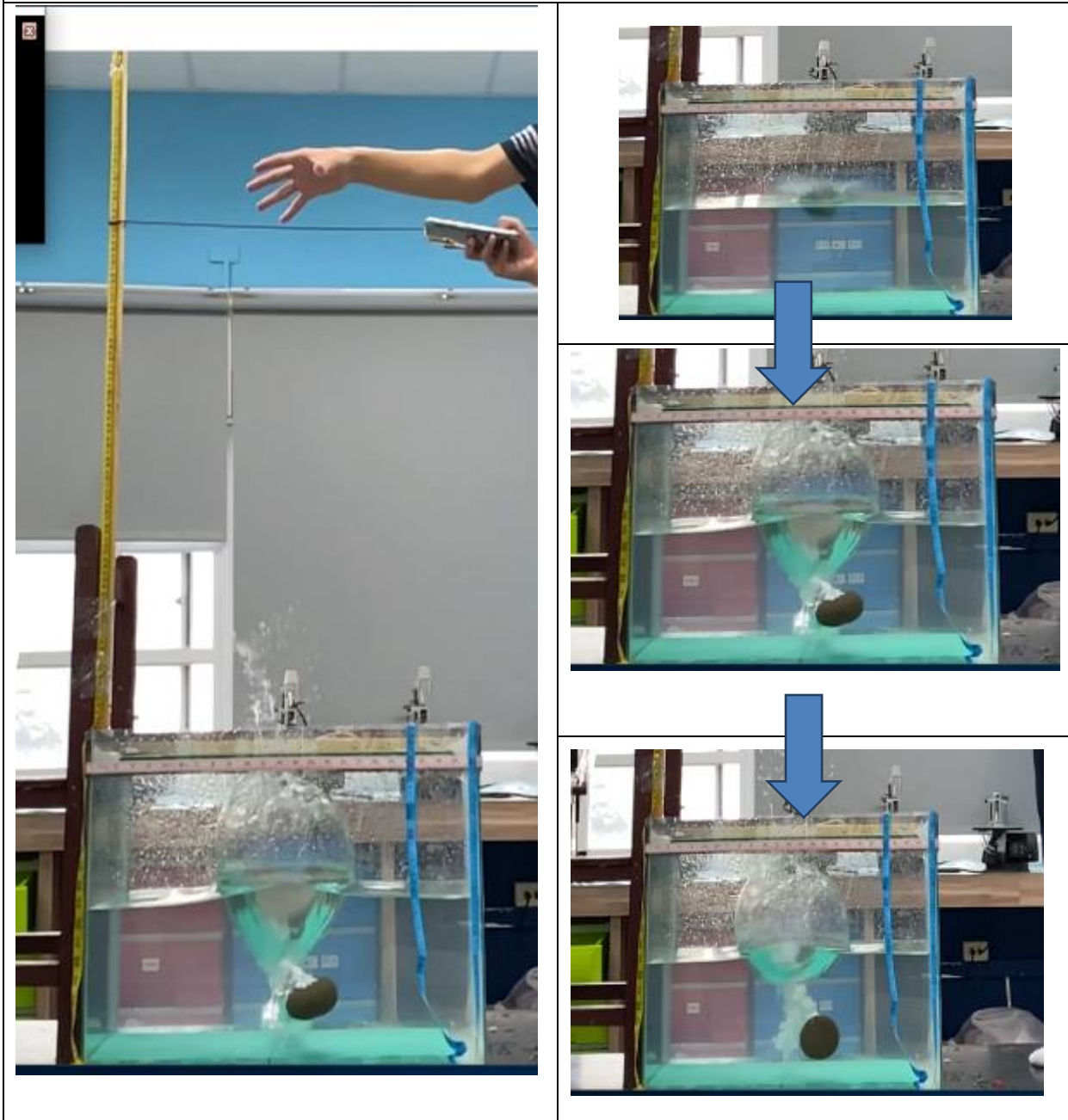


#### 四、步驟

1. 把龜甲石、大彈珠、中彈珠、小彈珠以高度 129cm、100cm、80cm、60cm...直到成膜臨界高度
2. 放開代測物使其重力加速度往下墜
3. 用手機攝影記錄接觸水面、沉入水裡與表面水膜、水花的變化
4. 測量水膜高、代測物沉入水裡產生的漏斗型深度和上方的寬度。(如右圖所示，實驗中我們稱產生這樣的狀況為『空氣甜筒』)
5. 數據整理，歸納結論。
6. 找出各下墜物可以成水膜的最小高度。



實驗方式圖解

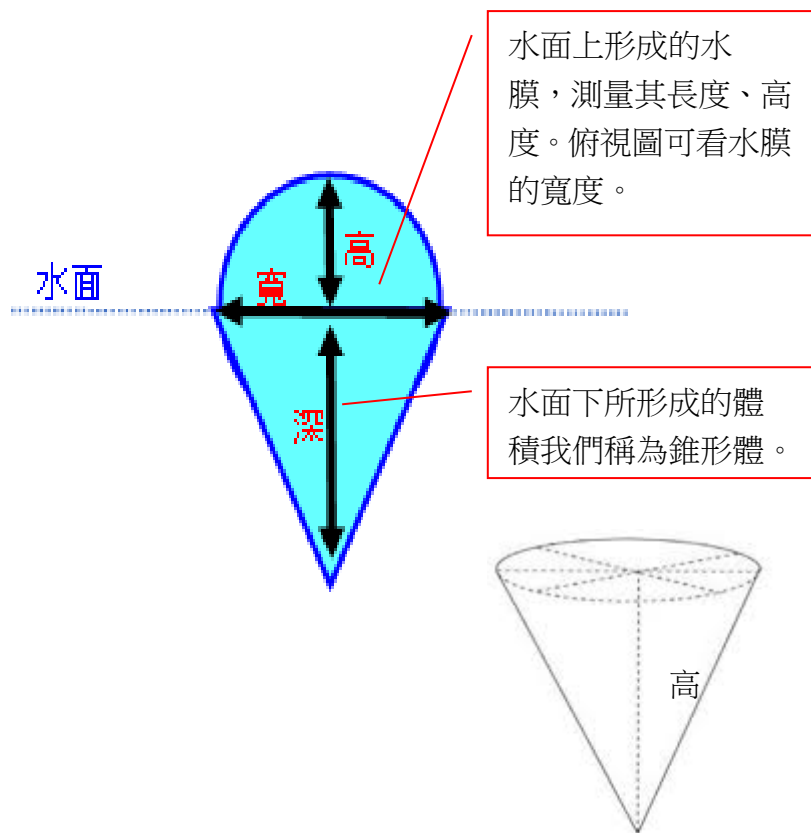
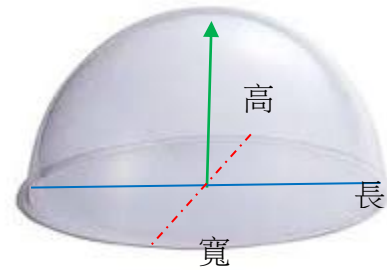


## 五、名詞解釋

本實驗中所界定的空氣甜筒、水膜體積、錐形體積之界定如下：

空氣甜筒包含：

1. 水面上的水膜。
2. 水面下的錐形體。





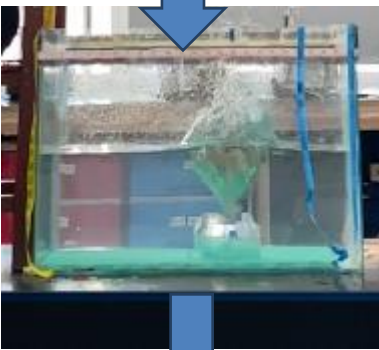



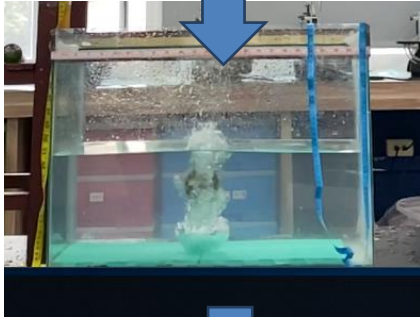








我們在後續的實驗數據分析中，有論證水膜接近圓形。若水膜接近圓形，其底面積恰好為水面下圓錐體的底面積，只要測量出錐形體的高(水深)，即可利用公式算出水膜體積與錐形體積，兩者相加即為空氣甜筒體積。

## 陸、研究結果與討論

### 一、 照片資料過程記錄

表 6-1 龜甲石之過程記錄

龜甲石 高度 129cm	龜甲石 高度 100cm	龜甲石 高度 67cm
質量 484g, 直徑 8cm	質量 484g, 直徑 8cm	質量 484g, 直徑 8cm
		
 	 	 
 	 	 



➤ 龜甲石(484 公克)之過程紀錄與發現：

- (一) 484 公克的龜甲石最小形成水膜的降下高度為 67 公分，投入水內的能量(位能)為 3.178 焦耳。
- (二) 降下的高度越高，投入的能量越大，形成越大的水膜，且空氣甜筒的體積也越大。
- (三) 降下高度(相當於投入位能)與水膜高度的關係，如下圖 6-1 所示。發現降下的高度越大，所激起的水膜高越高，相關係數達.9691，屬於高度相關。

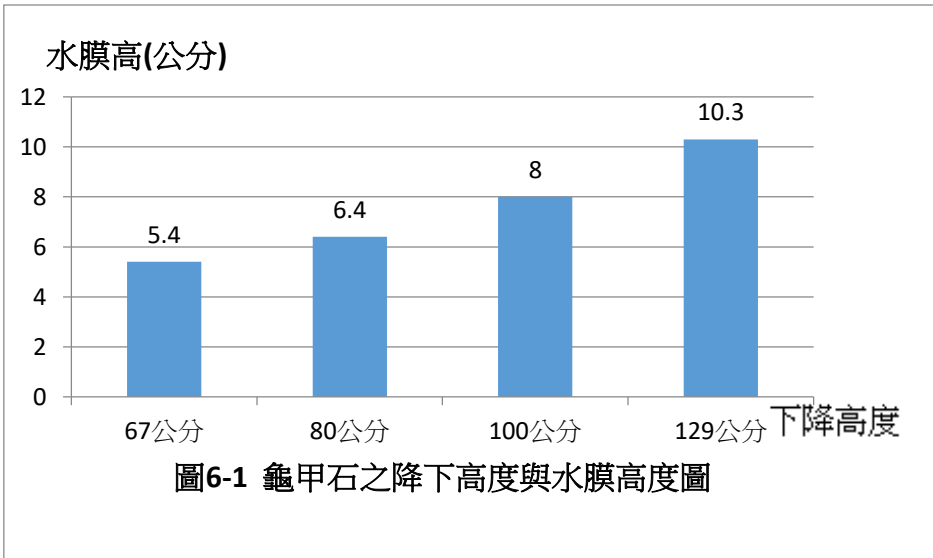


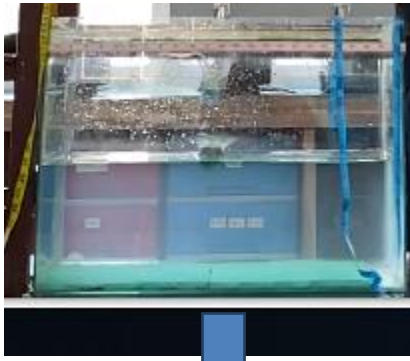

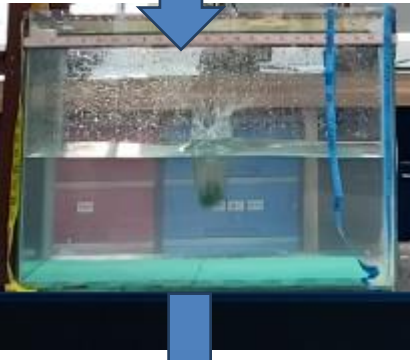

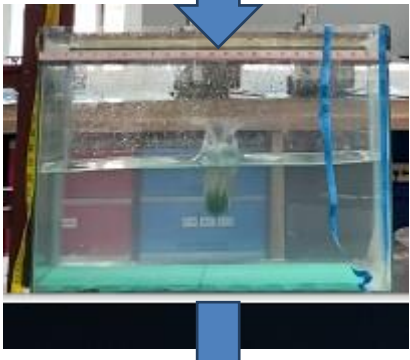

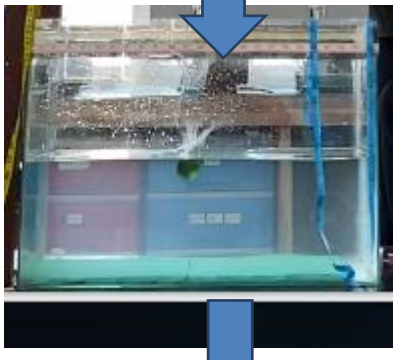

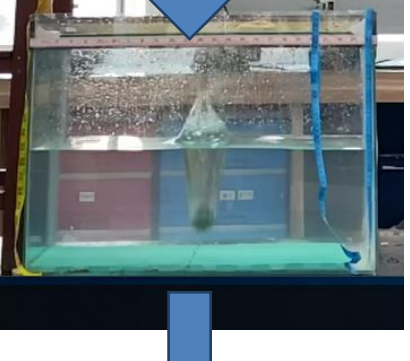

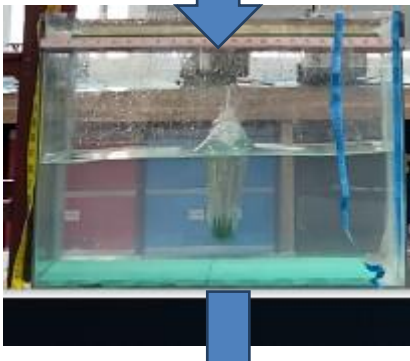

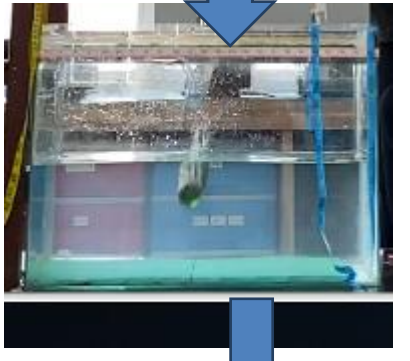

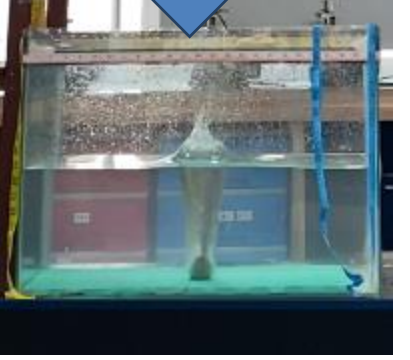






表 6-2 大彈珠的過程記錄

大彈珠 高度 129cm	大彈珠 高度 100cm	大彈珠 高度 80cm
質量 108g,直徑 3cm	質量 108g,直徑 3cm	質量 108g,直徑 3cm
		
 	 	 
 	 	 
 	 	 



➤ 大彈珠(108 公克)之過程紀錄與發現：

- (一) 108 公克的大彈珠最小形成水膜的降下高度為 80 公分，投入水內的能量(位能)為 0.847 焦耳。
- (二) 降下的高度越高，投入的能量越大，形成越大的水膜，且空氣甜筒的體積也越大。
- (三) 降下高度(相當於投入位能)與水膜高度的關係，如下圖 6-2 所示。發現降下的高度越大，所激起的水膜高越高，相關係數達.9597，屬於高度相關。

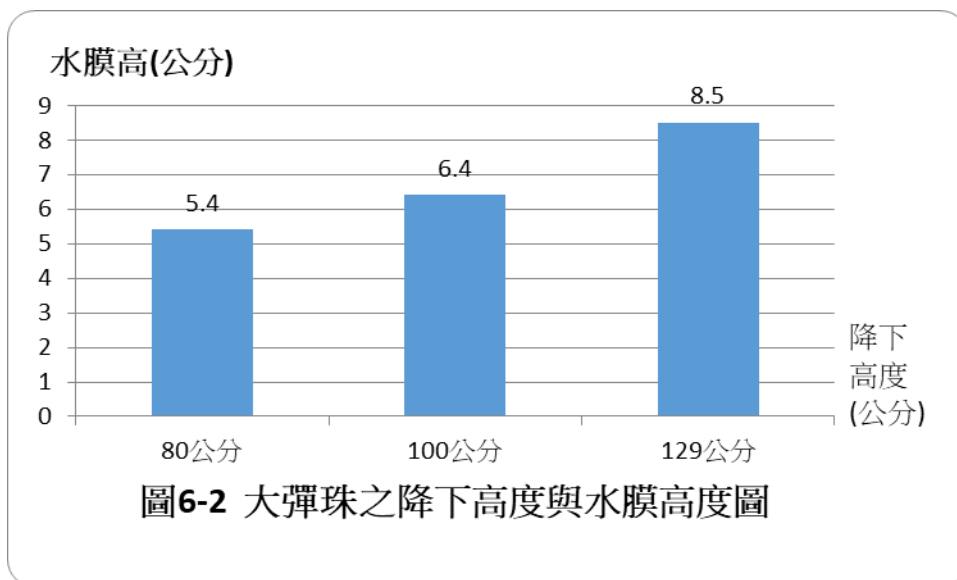




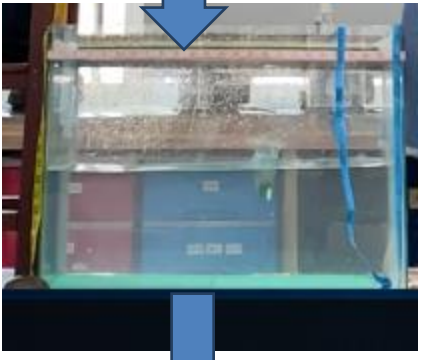

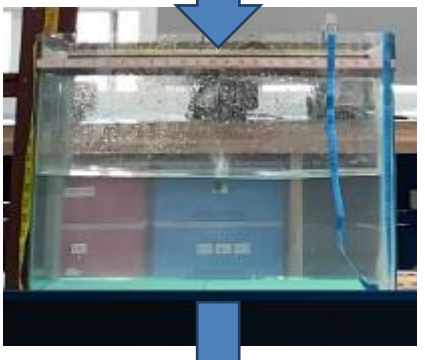

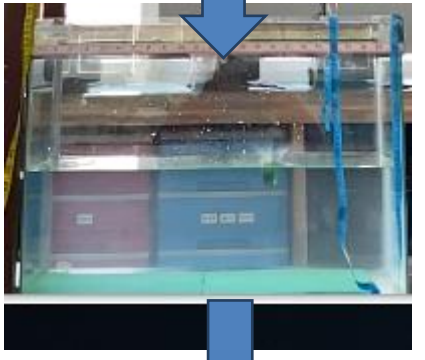



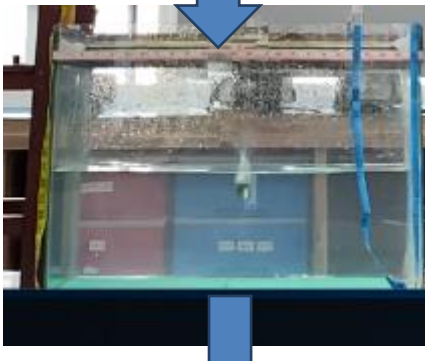

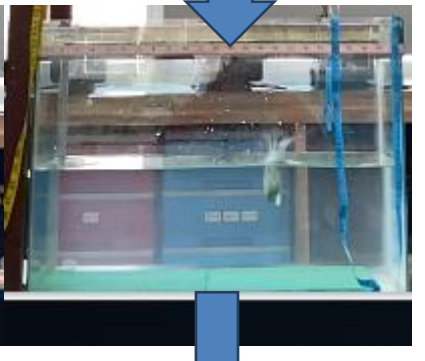



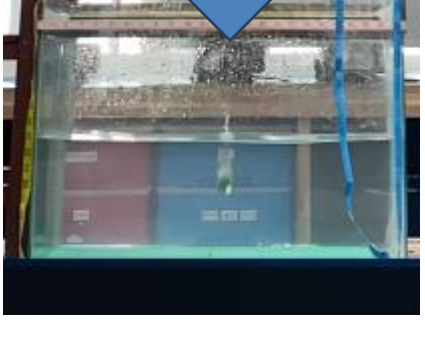


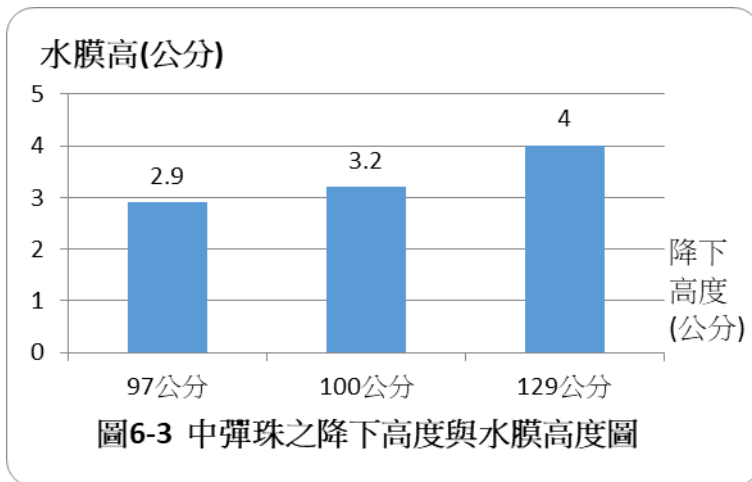


表 6-3 中彈珠之過程記錄

中彈珠 高度 129cm	中彈珠 高度 100cm	中彈珠 高度 97cm
質量 24g,直徑 2cm	質量 24g,直徑 2cm	質量 24g,直徑 2cm
		
 	 	 
 	 	 
 	 	 

➤ 中彈珠(108 公克)之過程紀錄與發現：

- (一) 24 公克的中彈珠最小形成水膜的降下高度為 97 公分，投入水內的能量(位能)為 0.228 焦耳。
- (二) 降下的高度越高，投入的能量越大，形成越大的水膜，且空氣甜筒的體積也越大。
- (三) 降下高度(相當於投入位能)與水膜高度的關係，如下圖 6-3 所示。發現降下的高度越大，所激起的水膜高越高，相關係數達.9356，屬於高度相關。



- 小彈珠以最高高度 129 公分下降，實驗多次皆無法形成水膜與空氣甜筒，所以接下來的分析都以 484 公克的龜甲石、108 公克的大彈珠、24 公克的中彈珠進行下列的分析。

## 二、 不同質量可以形成水膜的最小高度與最小能量分析

此段分析我們將三顆圓球分別為 484 公克、108 公克、24 公克以最高 129 公分開始掉落，觀察可以形成水膜的最小高度落差，其結果如下表 6-4 和圖 6-4、圖 6-5 所示。

表 6-4 不同質量之最小成膜高度和最小成膜能量比較

質量(公克)	最小成膜高度(公分)	最小成膜能量(焦耳)
484	67	3.178
108	80	0.847
24	97	0.228

由分析可知：

- (一) 投入的質量越大，投入水中時可形成的最小水膜高度越大，兩者之間的相關達.8276，屬於中高強度相關。
- (二) 分析形成水膜的最小能量與質量的關係，發現兩者呈現正相關，相關達.9998，屬於高度相關。表示質量越大，形成的水膜高度越高。
- (三) 質量越大，其位能能量不見得越高，必須同時考慮其高度因素。因此下段分析以投入的高度與其所形成的水膜高度進行分析。

高度(公分)

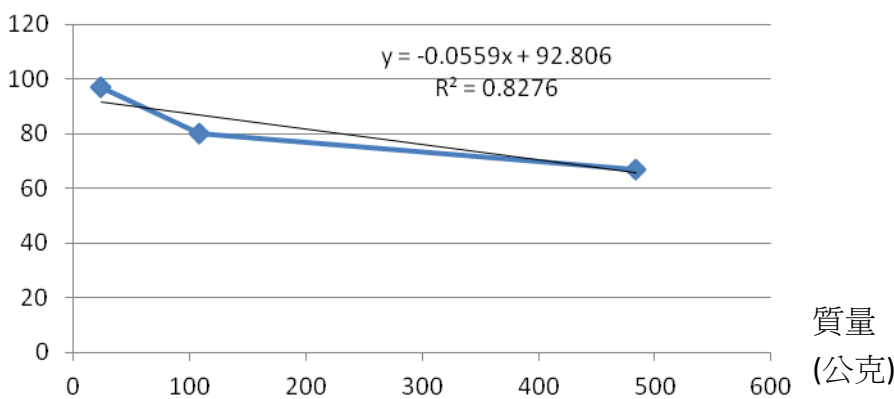


圖 6-4 質量與最小成膜高度之關係

能量(焦耳)

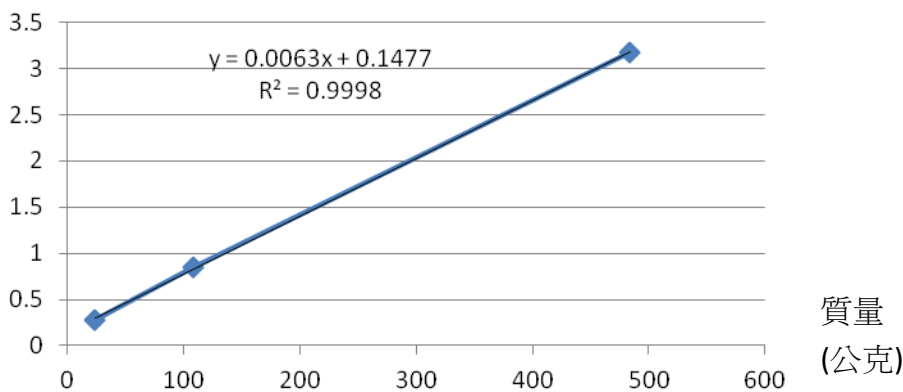


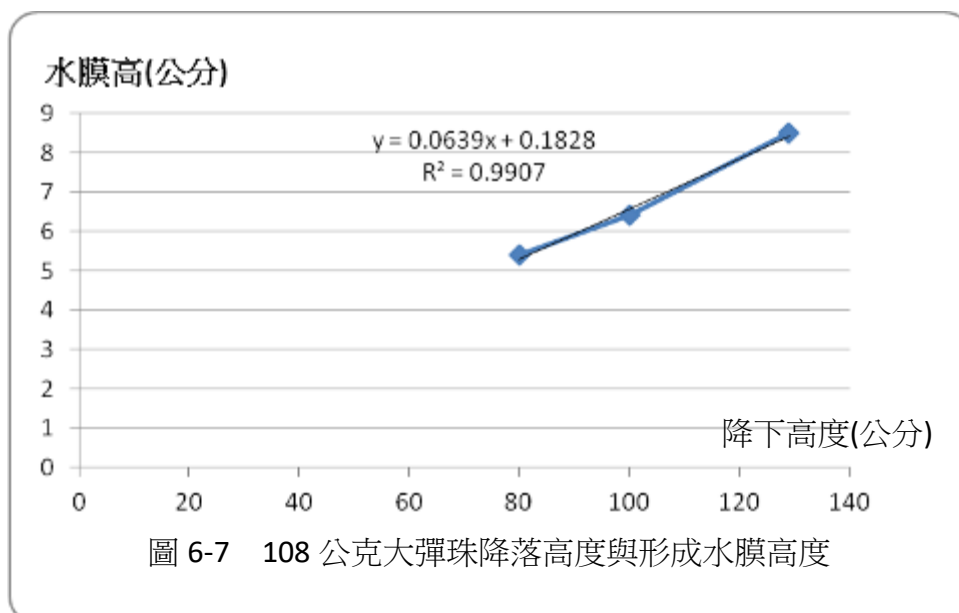
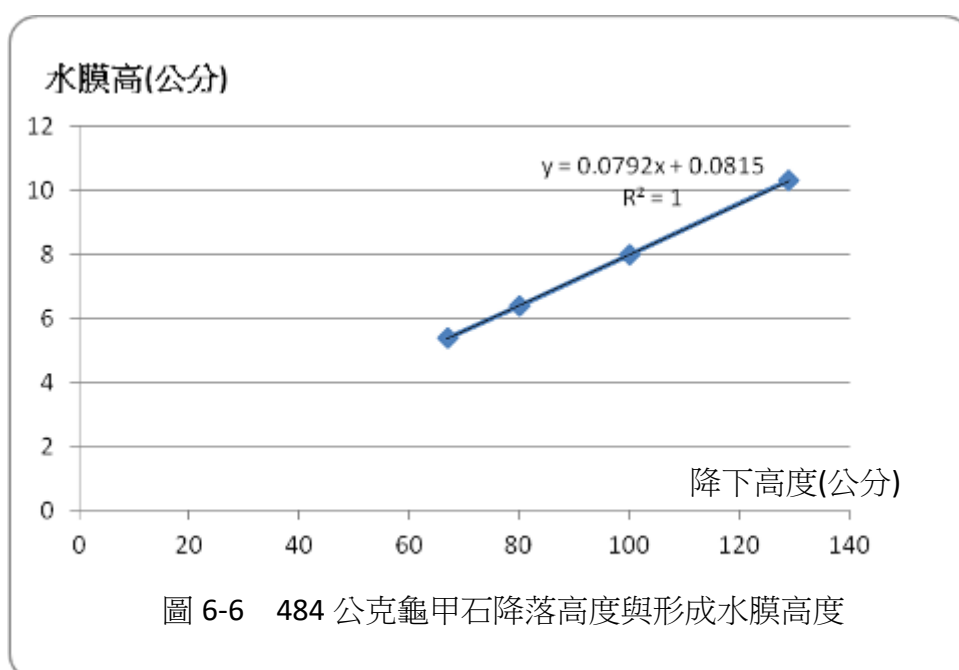
圖 6-5 質量與最小成膜能量(焦耳)之關係

### 三、 投入高度與水膜高度的關係

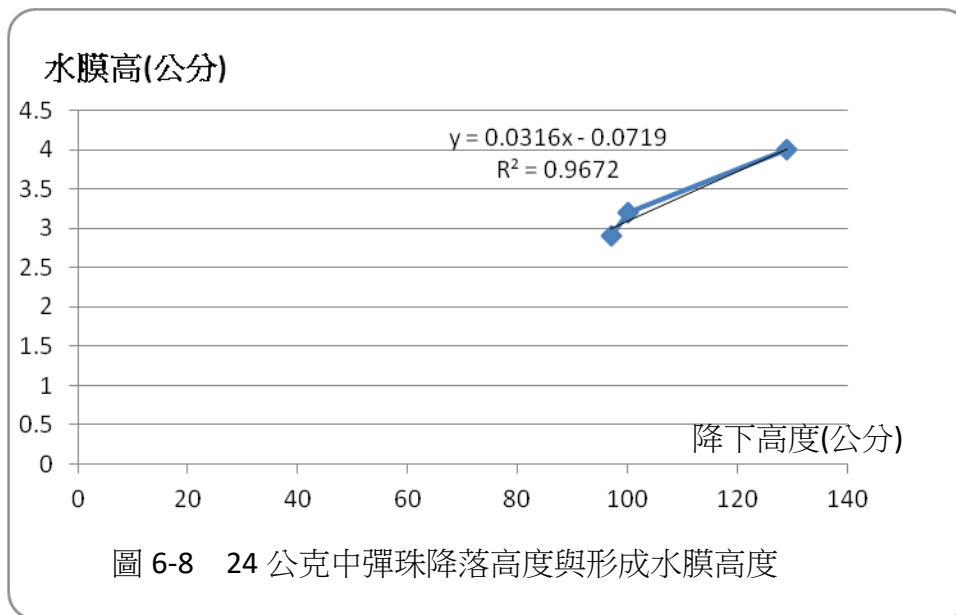
此段分析我們將三顆圓球分別為 484 公克、108 公克、24 公克以最高 129 公分開始掉落，觀察其降下高度與形成的水膜高度並進行分析，其結果如下表 6-5 和圖 6-6、圖 6-7、圖 6-8 所示。

表 6-5 不同質量之最小成膜高度和最小成膜能量比較

質量(公克)	484				108			24		
降下高度(公分)	129	100	80	67	129	100	80	129	100	97
水膜高(公分)	10.3	8	6.4	5.4	8.5	6.4	5.4	4	3.2	2.9







此段分析中發現：

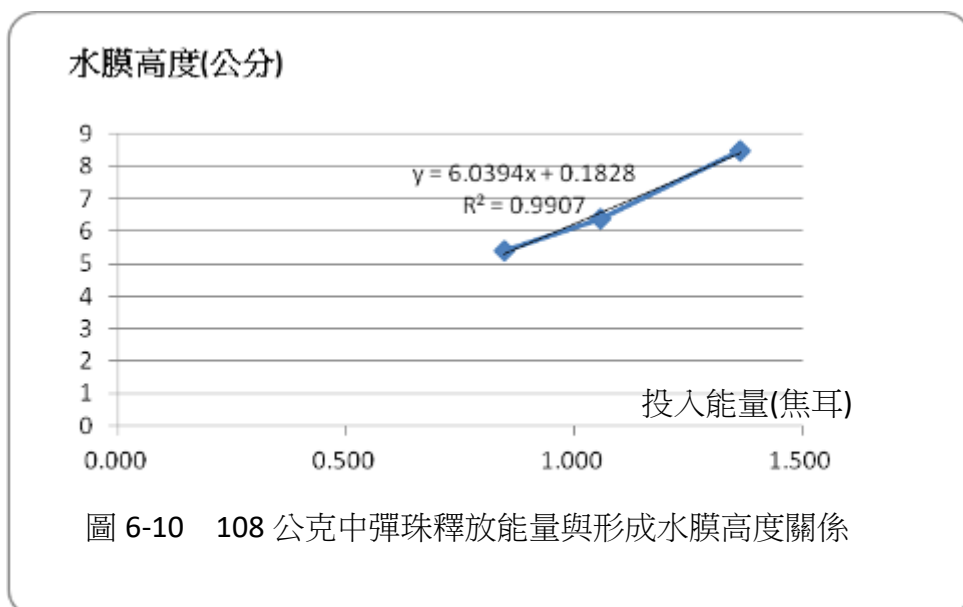
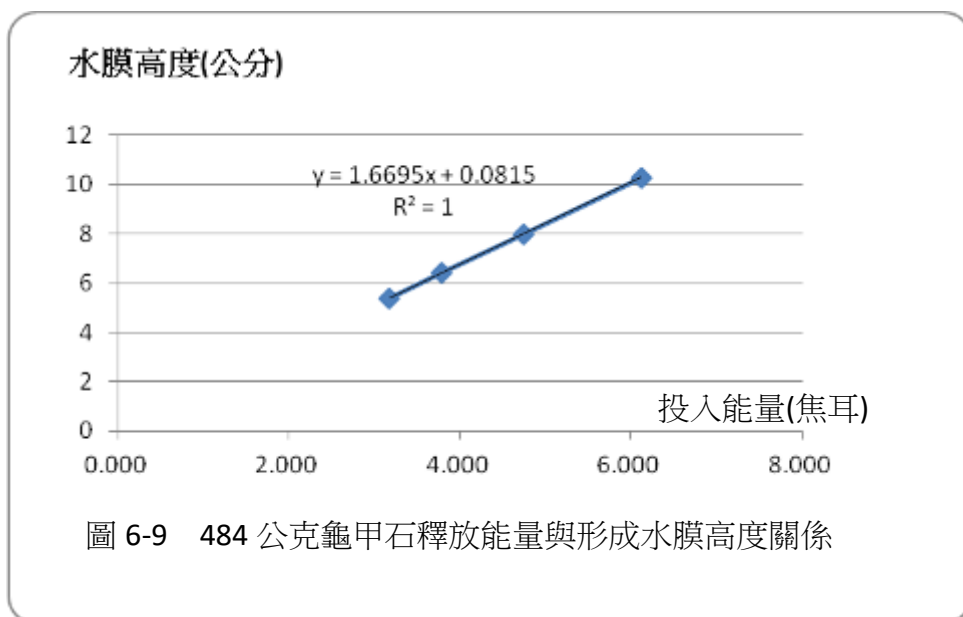
- (一) 484 公克的龜甲石降落高度與形成水膜的高度呈現正相關，相關係數達 1，屬於完全相關。
- (二) 108 公克的大彈珠降落高度與形成水膜的高度呈現正相關，相關係數達.9907，屬於高度相關。
- (三) 108 公克的中彈珠降落高度與形成水膜的高度呈現正相關，相關係數達.9672，屬於高度相關。
- (四) 以上三點發現共同特色為降落高度越高，其所形成的水膜高度越高，皆呈現高度相關。
- (五) 形成水膜的高度與投入質量、下降高度有關，所以下段分析我們以『投入的能量』與『水膜高度』進行分析。

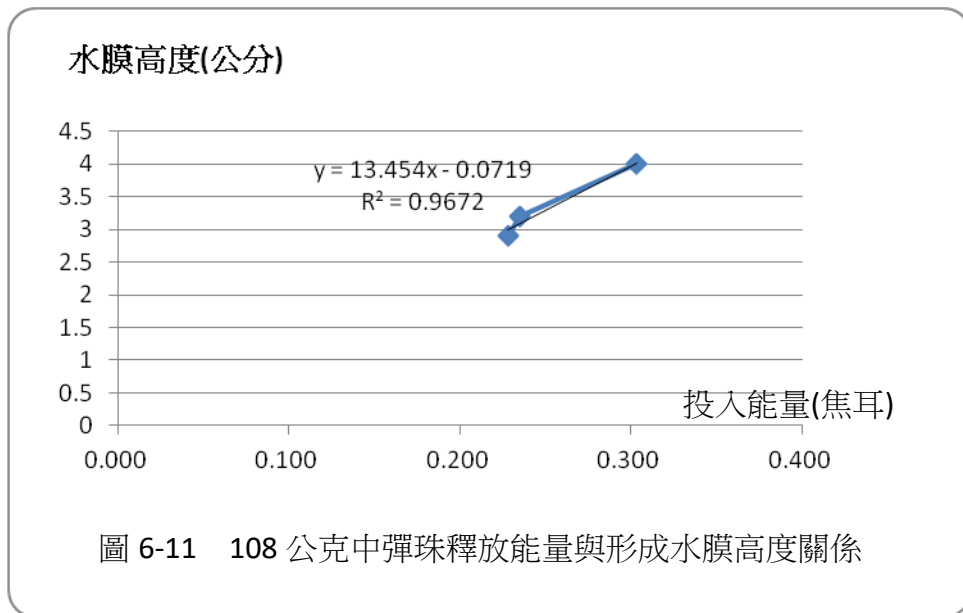
#### 四、 投入能量與水膜高度的關係

此段分析為使用釋放的能量與所形成的水膜高進行分析，其結果如下表 6-6 和圖 6-9、圖 6-10、圖 6-11 所示。

表 6-6 釋放能量與形成水膜高度表

質量(公克)	484				108			24		
釋放能量 (焦耳)	6.119	4.743	3.795	3.178	1.365	1.058	0.847	0.303	0.235	0.228
水膜高(公分)	10.3	8	6.4	5.4	8.5	6.4	5.4	4	3.2	2.9





以上結果發現：

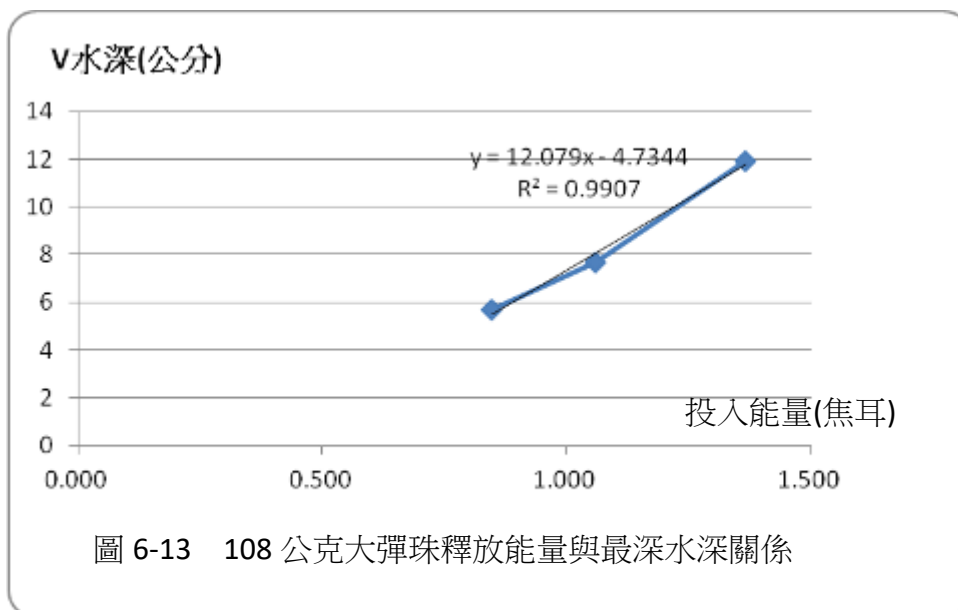
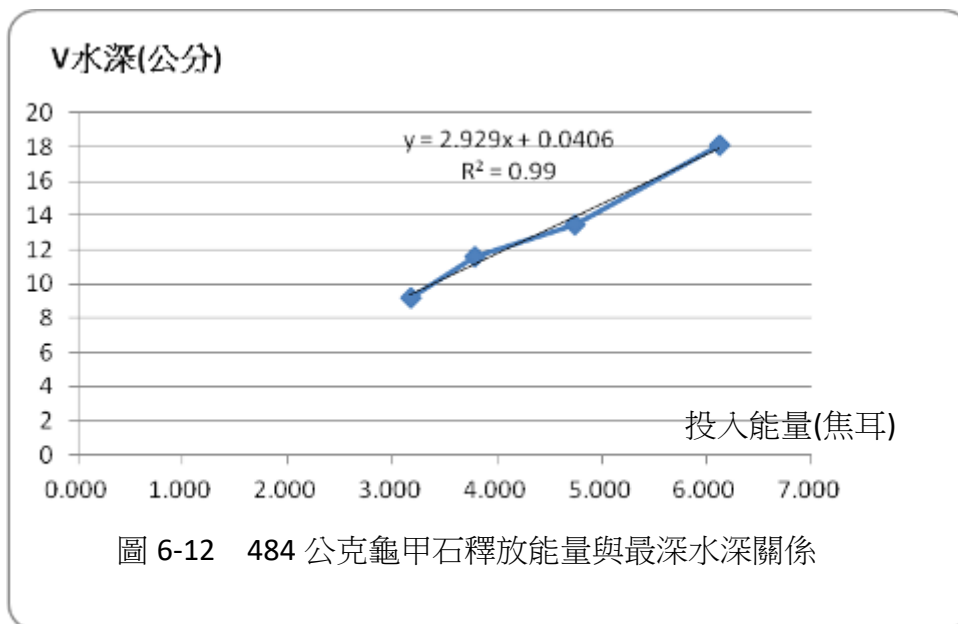
- (一) 484 公克的龜甲石所釋放的位能越大，形成的水膜高度越高，相關係數為 1，屬於完全相關。
- (二) 108 公克的大彈珠所釋放的位能越大，形成的水膜高度越高，相關係數為.9907，屬於高度相關。
- (三) 24 公克的中彈珠所釋放的位能越大，形成的水膜高度越高，相關係數為.9672，屬於高度相關。
- (四) 以上三個不同降落物之能量觀點，共同特色為釋放的位能越大，其所形成的水膜高度越高，皆屬於高度相關。
- (五) 分析完水膜高度之後，我們認為以能量的觀點進行分析可同時考慮質量、高度的整體因素，因此我們繼續以能量的觀點分析投入能量與行程最大空氣甜筒的水深關係。

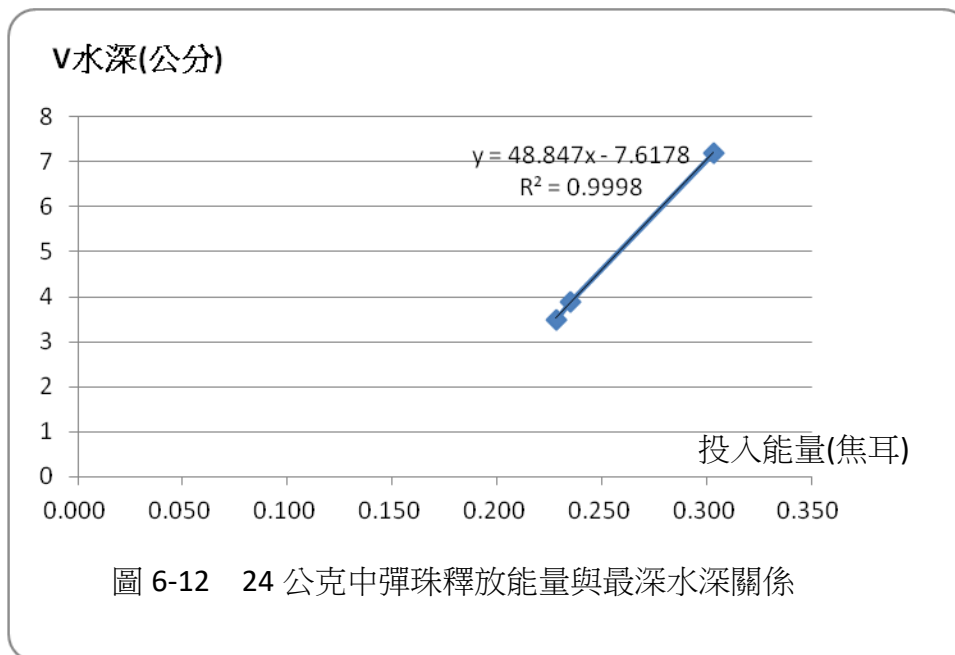
## 五、 投入能量與形成最大水深的比較

此段分析我們以三顆不同質量的圓球進入水中的能量進行個別分析，探討投入能量大小與所形成的空氣甜筒的最大水深的比較，其結果如下表 6-7 和圖 6-12、圖 6-13、圖 6-14 所示。

表 6-7 釋放能量與形成空氣甜筒之最大水深表

	484				108			24		
釋放能量 (焦耳)	6.119	4.743	3.795	3.178	1.365	1.058	0.847	0.303	0.235	0.228
V 字形形成最深水深 (公分)	18.1	13.5	11.6	9.2	11.9	7.7	5.7	7.2	4.8	3.5





以上分析結果發現：

- (一) 484 公克龜甲石所釋放的能量越大，其造成的空氣甜筒水深越深，兩者呈現正相關，相關係數達.99，屬於高度相關。
- (二) 108 公克大彈珠所釋放的能量越大，其造成的空氣甜筒水深越深，兩者呈現正相關，相關係數達.9907，屬於高度相關。
- (三) 24 公克中彈珠所釋放的能量越大，其造成的空氣甜筒水深越深，兩者呈現正相關，相關係數達.9998，屬於高度相關。
- (四) 三顆不同的圓球之共同特性為所釋放的能量越大，其造成的空氣甜筒水深越深，兩者關係屬於高度相關。
- (五) 探討完能量與空氣甜筒的水深關係之後，我們想知道所形成的水膜是否接近圓形，於是我們進行以下分析。



## 六、 水膜高與水膜寬、水膜長之關係(是否為圓形之探討)

此段分析我們以影片的截圖進行水膜的高度、水膜的寬度、水膜的長度進行比較，若將水膜假設成為半圓形的狀態，其高度、寬度、長度的比較，如下表 6-8 所示。

表 6-8: 水膜高與水膜寬、水膜長等誤差率比較表格

質量 484 克龜甲石						
水膜高(公分)	水膜寬(公分)	水膜長(公分)	平均圓直徑(公分)	平均圓半徑(公分)	誤差率(%)	誤差率平均(%)
10.3	22	20	21	10.5	1.90%	3.3%
8	13.5	16.5	15	7.5	-6.67%	
6.4	12.5	13.5	13	6.5	1.54%	
5.4	11.2	11.1	11.15	5.575	3.14%	
質量 108 克大彈珠						
水膜高(公分)	水膜寬(公分)	水膜長(公分)	平均圓直徑(公分)	平均圓半徑(公分)	誤差率(%)	誤差率平均(%)
8.5	16	17.5	16.75	8.375	-1.49%	1.48%
6.4	12.1	13.1	12.6	6.3	-1.59%	
5.4	11.1	10.8	10.95	5.475	1.37%	
質量 24 克中彈珠						
水膜高(公分)	水膜寬(公分)	水膜長(公分)	平均圓直徑(公分)	平均圓半徑(公分)	誤差率(%)	誤差率平均(%)
4	7.1	8	7.55	3.775	-5.96%	4.35%
3.2	6.8	6.5	6.65	3.325	3.76%	
2.9	6.1	5.9	6	3	3.33%	

由上表 6-8 的分析可知，質量 484 克的彈珠所形成的水膜是否為圓形的誤差率平均為 3.3%、質量 108 克的彈珠所形成的水膜是否為圓形的誤差率平均為 1.48%、質量 24 克的彈珠所形成的水膜是否為圓形的誤差率平均為 4.35%。以上數據判定水膜是否為圓形的誤差率皆小於 5%，所以我們推測水膜的形狀約等於半圓形，所以下列的數據分析，皆把水膜形成的空間當成半圓形進行分析與比較。

## 七、 空氣甜筒內的體積比較

此段分析我們將水面上形成的水膜所包裹的空氣體積與水面下所形成的圓錐體空氣體積總和形成空氣甜筒的體積進行分析與比較，其結果如下表 6-9 與圖 6-13、圖 6-14、圖 6-15 所示。

表 6-9 不同質量的圓球與其空氣體積

質量 484 公克		
空氣甜筒體積	高度	能量
4361.145	129	6.119
1527.138	100	4.743
937.053	80	3.795
511.207	67	3.178
質量 108 公克		
空氣甜筒體積	高度	能量
2065.607	129	1.365
805.607	100	1.058
484.685	80	0.847
質量 24 公克		
空氣甜筒體積	高度	能量
211.006	129	0.303
123.494	100	0.235
80.490	97	0.228

空氣甜筒體積(立方公分)

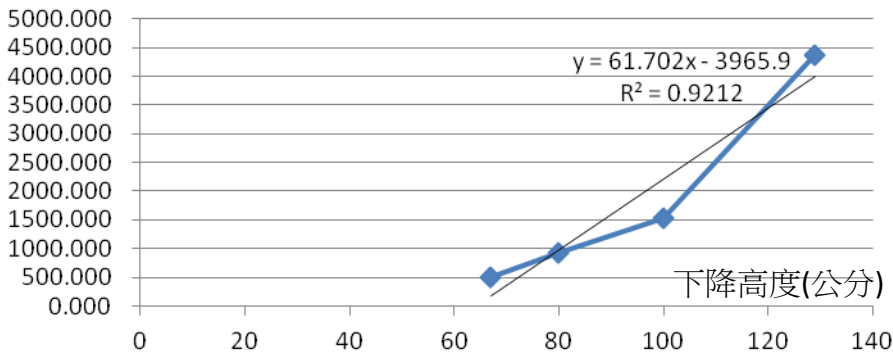


圖 6-13 484 公克龜甲石下降高度與空氣甜筒體積關係

空氣甜筒體積(立方公分)

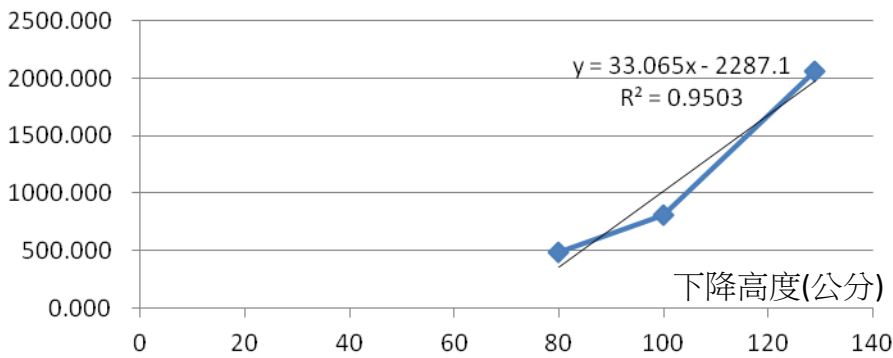


圖 6-14 108 公克大彈珠下降高度與空氣甜筒體積關係

空氣甜筒體積(立方公分)

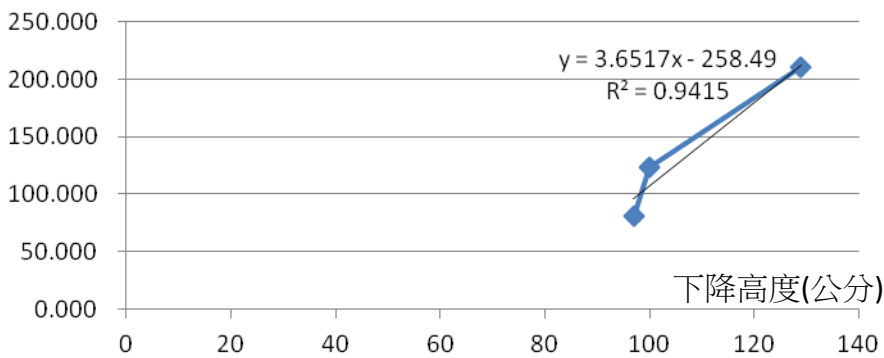


圖 6-15 24 公克中彈珠下降高度與空氣甜筒體積關係

分析三顆球體之下降高度與所形成的空氣甜筒體積關係，發現：

(一) 484 公克龜甲石之下降高度越高，其所形成的空氣甜筒體積越大，兩者呈現正相關，相關係數達.9212，屬於高度相關。

(二) 108 公克大彈珠之下降高度越高，其所形成的空氣甜筒體積越大，兩者呈現正相關，相關係數達.9503，屬於高度相關。

(三) 484 公克龜甲石之下降高度越高，其所形成的空氣甜筒體積越大，兩者呈現正相關，相關係數達.9415，屬於高度相關。

(四) 三顆不同的球體降落對於所形成的空氣甜筒關係皆為高高強度的正相關。

(五) 我們可以想像若是將橫坐標改為投入能量的話，也會產生同樣的圖形與相關係數。

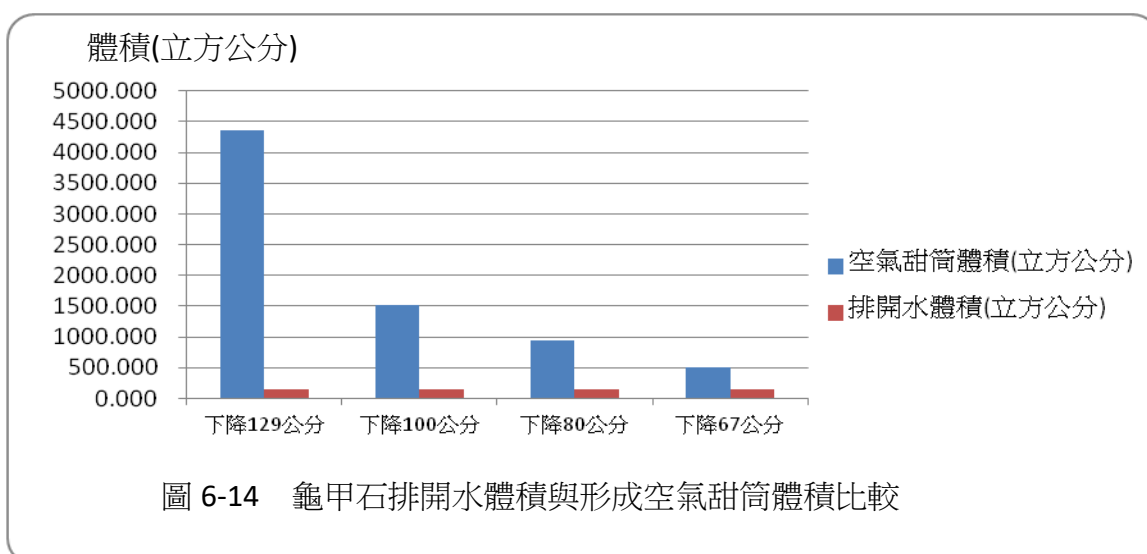
(六) 接下來我們繼續分析空氣甜筒與球體所排開的水體積之比較。

## 八、 空氣甜筒內的體積與排開的水體積之比較

此段分析我們將三顆球體利用排水法求知其體積，因為三顆球體都是沉體，所以其球體體積等於排開的水體積，我們將排開的水體積與所形成的空氣甜筒體積進行比較，其結果如下表 6-10 與圖 6-14、圖 6-15、圖 6-16 所示。

表 6-10 不同質量球體之排開水體積與造成空氣甜筒體積表

質量 484 公克龜甲石		
下降高度(公分)	空氣甜筒體積(立方公分)	排開水體積(立方公分)
下降 129 公分	4361.145	150.8
下降 100 公分	1527.138	150.8
下降 80 公分	937.053	150.8
下降 67 公分	511.207	150.8
質量 108 公克大彈珠		
下降高度(公分)	空氣甜筒體積(立方公分)	排開水體積(立方公分)
下降 129 公分	2065.607	37.7
下降 100 公分	805.607	37.7
下降 80 公分	484.685	37.7
質量 24 公克中彈珠		
下降高度(公分)	空氣甜筒體積(立方公分)	排開水體積(立方公分)
下降 129 公分	211.006	9
下降 100 公分	123.494	9
下降 97 公分	80.490	9



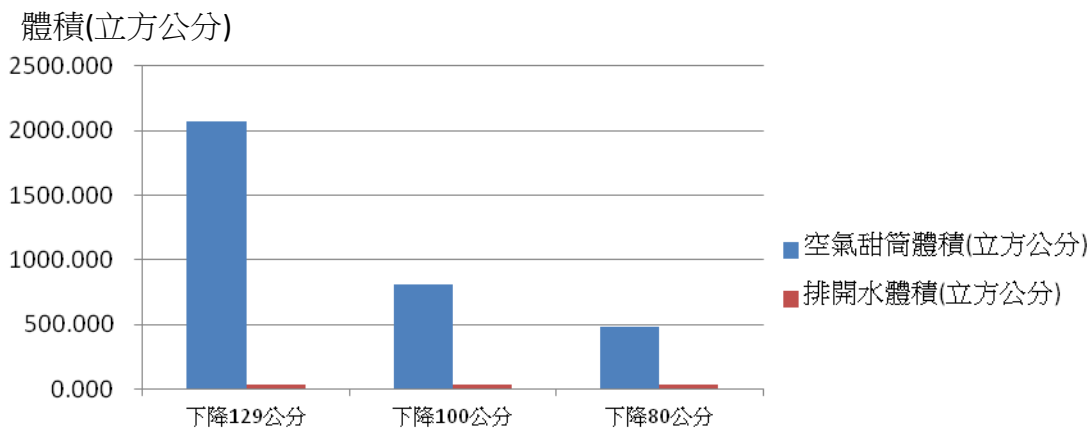


圖 6-15 大彈珠排開水體積與形成空氣甜筒體積比較

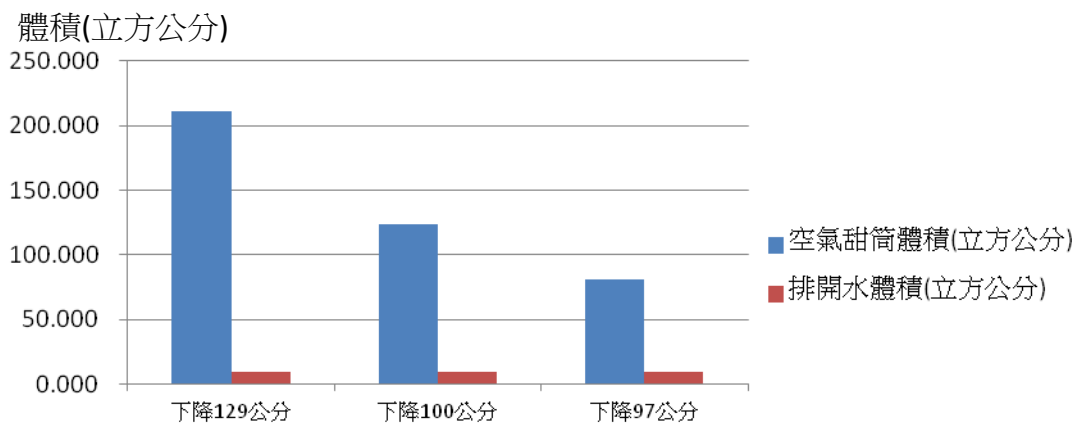


圖 6-16 中彈珠排開水體積與形成空氣甜筒體積比較

以上結果我們可以清楚發現，球體沉入水中所造成的排開水的體積遠小於所造成空氣甜筒的體積，這點讓我們覺得很有趣。因為空氣甜筒的體積包含水膜的半球體加上水面下的錐形體體積所構成，這兩者的體積與所排開的空氣體積是否有差異，我們進行下列的分析。

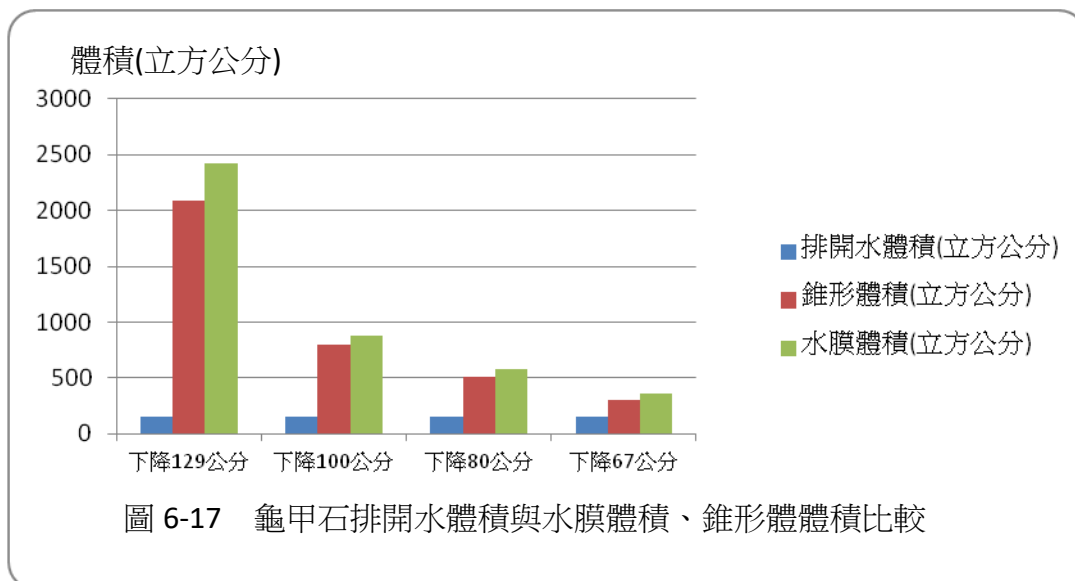


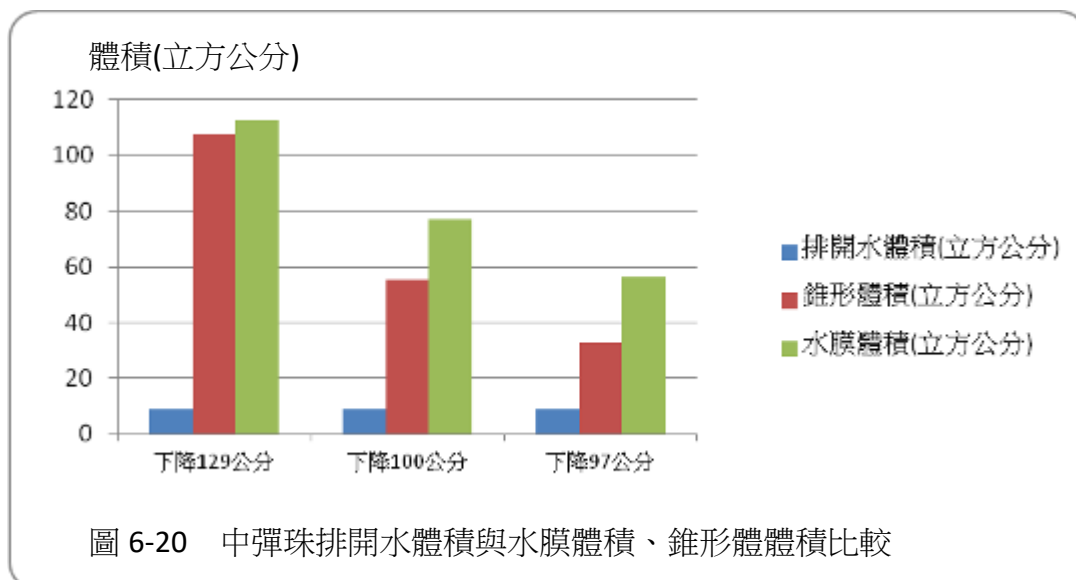
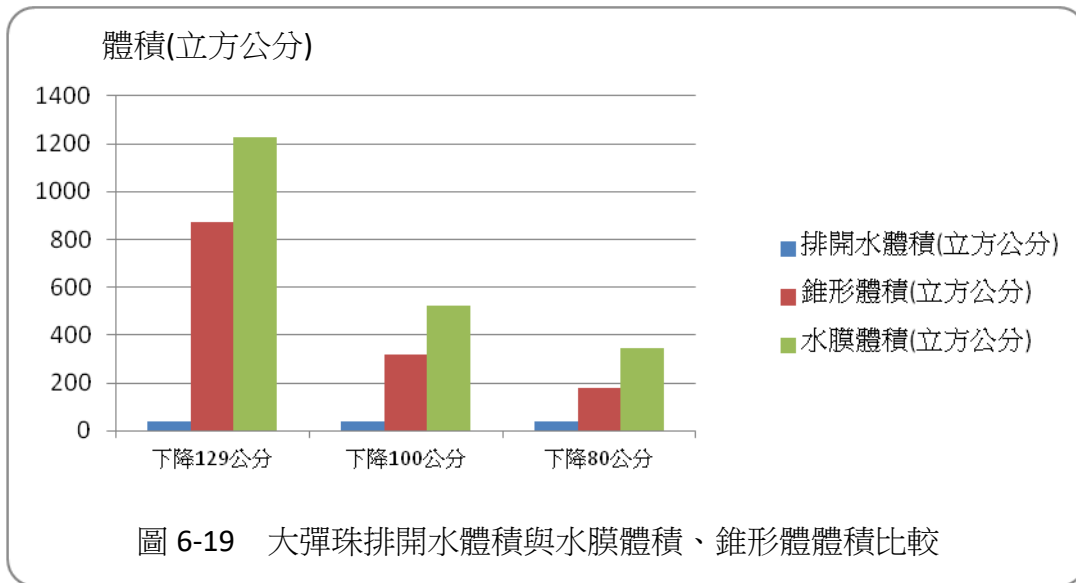
## 九、 水膜體積、錐形體體積與排開的水體積之比較

此段分析我們以三顆球體在不同高度降下所形成的水下錐形體體積、水面上水膜體積與球體本身排開水的體積進行比較分析，結果如下表 6-11 與圖 6-17、圖 6-18、圖 6-19 所示。

表 6-11 水下錐形體體積、水面上水膜體積與球體本身排開水的體積表

質量 484 公克龜甲石			
下降高度(公分)	排開水體積(立方公分)	錐形體積(立方公分)	水膜體積(立方公分)
下降 129 公分	150.8	2088.650	2423.295
下降 100 公分	150.8	794.813	883.125
下降 80 公分	150.8	512.971	574.882
下降 67 公分	150.8	299.286	362.721
質量 108 公克大彈珠			
下降高度(公分)	排開水體積(立方公分)	錐形體積(立方公分)	水膜體積(立方公分)
下降 129 公分	37.7	873.625	1229.682
下降 100 公分	37.7	319.875	523.432
下降 80 公分	37.7	178.835	343.551
質量 24 公克中彈珠			
下降高度(公分)	排開水體積(立方公分)	錐形體積(立方公分)	水膜體積(立方公分)
下降 129 公分	9	107.393	112.613
下降 100 公分	9	55.543	76.951
下降 97 公分	9	32.970	56.520





以上結果發現，三顆球體所造成的水膜體積和錐形體體積都遠大於球體本身排開水的體積。我們推測在迅速下降的過程中，球體進入水中之後除了排開本身的體積之外，同時也帶入大量的空氣而形成錐形體，最後形成水膜，至終形成空氣甜筒，其相關解釋模型於綜合討論時會有另外的討論與說明。

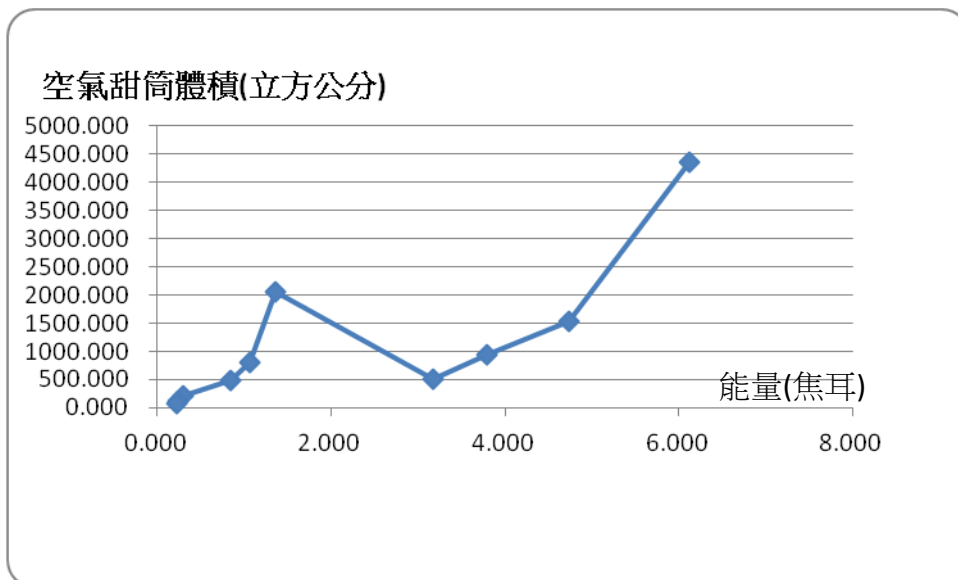
## 柒、綜合討論

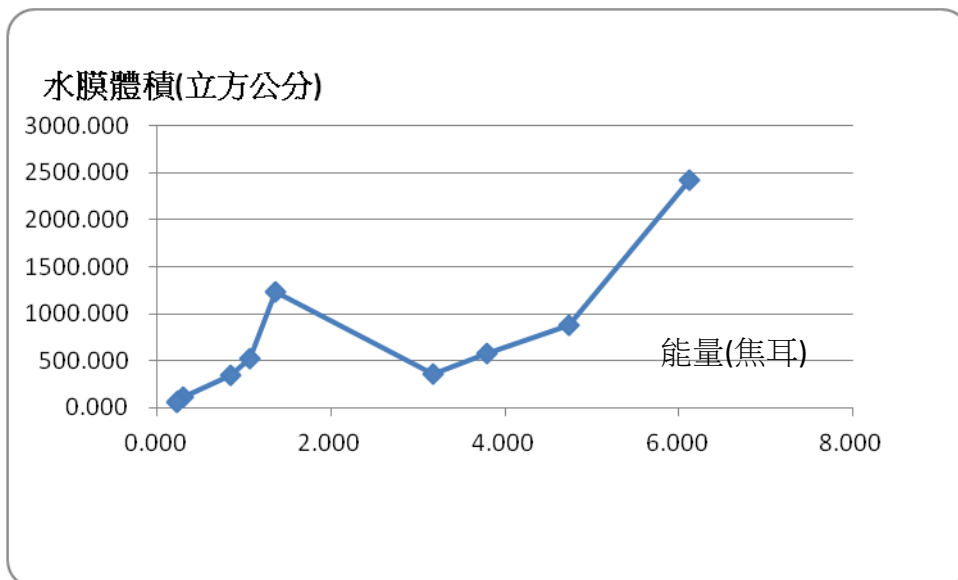
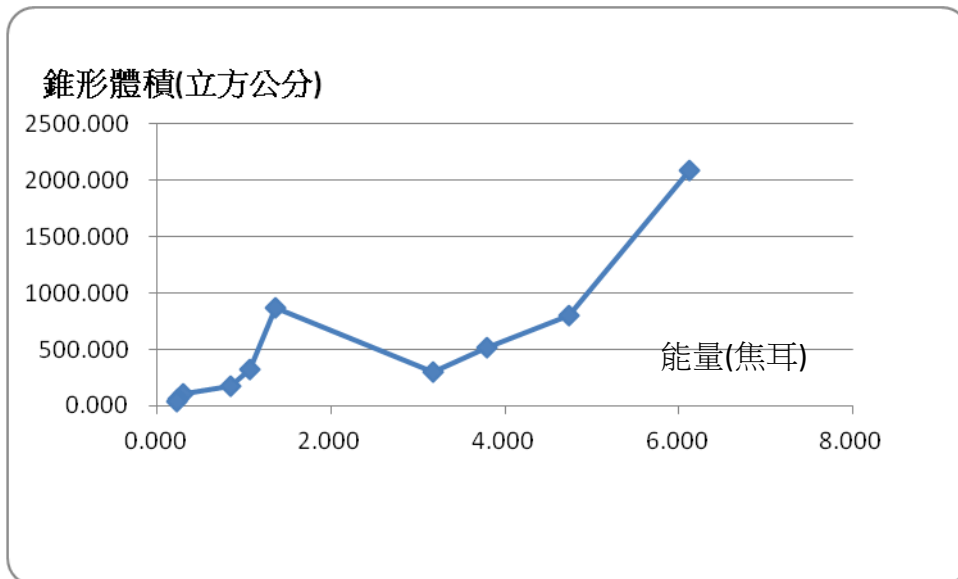
### 一、 若以投入能量觀點分析能量大小與水膜大小之關係為何?

在之前的結果與討論中，我們是將三個不同球體分開討論。在此，若是我們將其能量數據統整起來分析，其結果如下表 7-1 和圖 7-1、圖 7-2、圖 7-3 所示。

表 7-1 投入能量與空氣甜筒、錐形體、水膜體積表

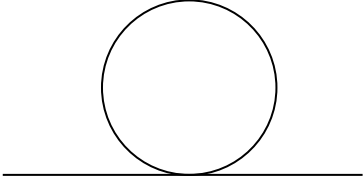
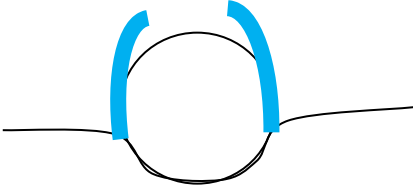
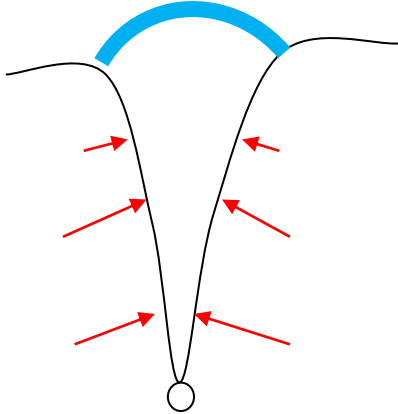
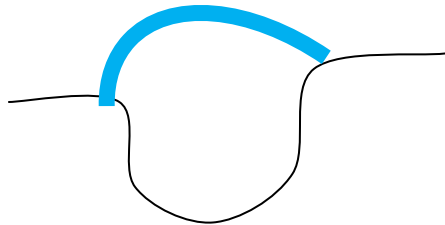
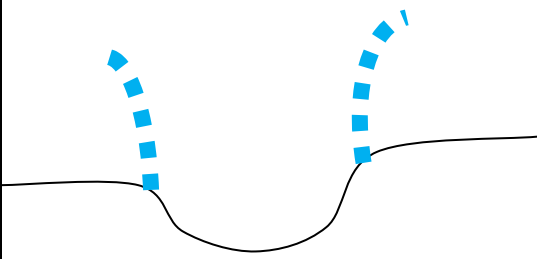
能量(焦耳)	空氣甜筒體積(立方公分)	錐形體體積(立方公分)	水膜體積(立方公分)
6.119	4361.145	2088.650	2423.295
4.743	1527.138	794.813	883.125
3.795	937.053	512.971	574.882
3.178	511.207	299.286	362.721
1.365	2065.607	873.625	1229.682
1.058	805.607	319.875	523.432
0.847	484.685	178.835	343.551
0.303	211.006	107.393	112.613
0.235	123.494	55.543	76.951
0.228	80.490	32.970	56.520





我們的結果是預測能量越高，所形成的空氣甜筒體積、錐形體體積、水膜體積越大，可是我們分析出來的結果卻是有所區別，轉折點約在 **0.847** 焦耳的地方。我們認為這可能也與入水時候的接觸面積有關，雖然三者都是球體，可是其入水的瞬間接觸面積不同，可能會造成這樣的情形發生。我們就思考一個問題，若是一個形狀不規則的物體於相同高度掉落到水中(質量、高度與釋放能量都相同)，其物體不同的地方入水所造成的空氣甜筒會相同嗎?請見討論三。。

## 二、 水膜成膜是否有模型可建立?

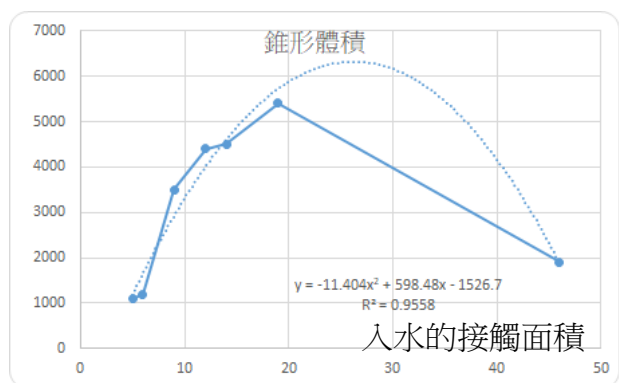
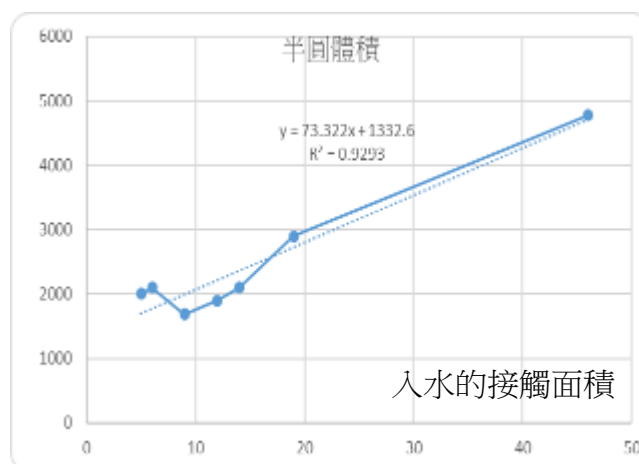
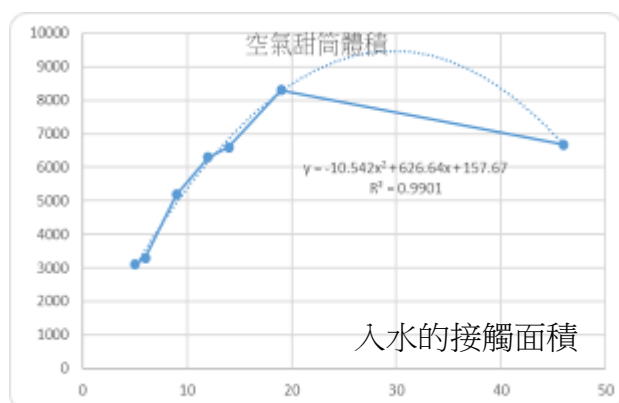
成膜與破膜步驟	圖示	說明
接觸水面		球體接觸到水面，此時能量準備由自由落體傳入水體。
濺起水花		球體接觸水面，反作用力將水體往空氣濺出，形成水花。
形成空氣甜筒		球體下降的過程中，推測球體下方運動較為快速，造成的壓力較小，所以造成外界較大的大氣壓力帶進更多的空氣，形成空氣柱。同時因為越往下方移動，水壓越高，因此造成水面下的錐形體，且錐形體內的空氣壓力小於外界大氣壓力，因此擠壓濺起的水體向內產生水膜。此時我們在實驗中稱為形成空氣甜筒。
空氣甜筒體積變小		當錐形體達到最深的時候，錐形體開始變小，空氣甜筒內的壓力逐漸變大。
水膜破裂		當空氣甜筒內的壓力大於外界大氣壓力的時候，將空氣甜筒內的空氣向外推擠，造成水膜破裂，空氣甜筒解體。

### 三、 不規則體積石頭進入水面所產生的空氣甜筒分析

我們將一個不規則體積的石頭(質量 405 克)，於高度 129 公分處掉落水面，會造成一個有趣的現象，每次落下的能量相同，可是會因為不同著水面積而產生不同的空氣甜筒體積、水面下的錐形體積、空氣中的半圓體積，事實上我們的觀察結果也是如此，其結果如下表和下圖所示：

表 7-2 同一位能不同接觸面入水產生的相關體積表

石頭落水接觸面(cm <sup>2</sup> )	空氣甜筒體積(cm <sup>3</sup> )	錐形體積(cm <sup>3</sup> )	半圓體積(cm <sup>3</sup> )
46	6677	1900	4777
19	8300	5400	2900
14	6600	4500	2100
12	6300	4400	1900
9	5189	3500	1689
6	3300	1200	2100
5	3100	1100	2000



此結果分析中，我們發現入水的接觸面積與形成空氣甜筒產生二次拋物線，與水面下的錐形體積也成二次拋物線，而與空氣中的半圓體積呈現直線關係。

## 捌、研究結論

- 一、以 484 公克的龜甲石球體而言：
  - (一) 其高度越高，所造成的水膜高度越高。
  - (二) 其高度越高，所造成的水面下錐形體水深越深。
  - (三) 其高度越高，所造成的空氣甜筒體積越大。
  - (四) 其形成空氣甜筒最低的降下高度為 67 公分，最小成膜能量為 3.178 焦耳。
- 二、以 108 公克的大彈珠球體而言：
  - (一) 其高度越高，所造成的水膜高度越高。
  - (二) 其高度越高，所造成的水面下錐形體水深越深。
  - (三) 其高度越高，所造成的空氣甜筒體積越大。
  - (四) 其形成空氣甜筒最低的降下高度為 80 公分，最小成膜能量為 0.228 焦耳。
- 三、以 24 公克的中彈珠球體而言：
  - (一) 其高度越高，所造成的水膜高度越高。
  - (二) 其高度越高，所造成的水面下錐形體水深越深。
  - (三) 其高度越高，所造成的空氣甜筒體積越大。
  - (四) 其形成空氣甜筒最低的降下高度為 97 公分，最小成膜能量為 0.228 焦耳。
- 四、球體降入水中所形成的水膜，其形狀推測為半球體。
- 五、當空氣甜筒形成的時候，其上方的水膜體積與水面下的錐形體體積皆大於球體本身所排開的水體積。推測可能在球體迅速入水形成空氣甜筒的時候會帶進大量的空氣所致。
- 六、球體下降的過程中，推測球體下方運動較為快速，造成的壓力較小，所以造成外界較大的大氣壓力帶進更多的空氣，形成空氣柱。同時因為越往下方移動，水壓越高，因此造成水面下的錐形體，且錐形體內的空氣壓力小於外界大氣壓力，因此擠壓濺起的水體向內產生水膜。

## 玖、參考文獻

- 水蔥花-散射水膜所形成的完整水苞----第 41 屆全國科展 物理科 第二名 新竹女中
- 水珠低落固液表面之擴散探討----第 47 屆全國科展 物理科 台中女中



## 【評語】 030111

本研究由投石入水濺起的水花發想，探討三種圓形重物在不同高度處入水，濺起的圓形水膜跟形成的空氣甜筒之間的關係。雖是生活中的發想，但是研究科學精神相當的值得讚賞。作品中分析的物理方法需要再做一些修正。建議在計算能量守恆處要多些調整。

## 作品簡報

030111

科 別：物理科

組 別：國中組

作品名  
稱：

# 膜 力

- 探討圓形石頭或彈珠在不同高度落水時產生的現象 -

關鍵詞：水膜、大氣壓力、白努力



# 壹、研究動機

我們發現石子拋得越高，濺起的水花越高，甚至水花會包起來，形成膜狀。使我們想要進一步了解物體撞擊水面產生水花到產生水膜的因素是甚麼。

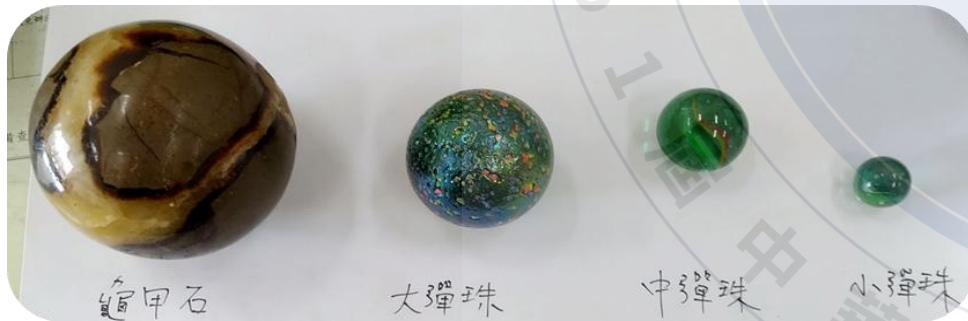
# 貳、文獻回顧

關於這類的研究，多半是討論水滴滴到薄液產生水花皇冠（53屆全國科展物理科）或是水滴滴到物體表面濺起的水花形狀（54屆全國科展物理科）。因此，我們提出以下數個問題：一、石子下落高度是否影響水膜的形成難易。二、相同高度下，石子的重量是否影響水膜的形成難易。

# 參、實驗目的

1. 測量不同直徑與質量的彈珠或石子在不同高度落下時產生的水膜大小
2. 推測水膜的體積與物體排開水的體積的關係

# 肆、主要實驗樣品



龜甲石484gw，直徑8cm 2. 大彈珠108gw，直徑3cm 3. 中彈珠24gw，直徑2cm 4. 小彈珠8gw，直徑1cm

# 伍、實驗方式與步驟

一、重物在一定的高度掉落進水面時，所造成的冠型水膜會變高變大，且開始收縮我們猜測可能跟重物造成的能量,物體與水接觸的表面積有關係，所以我們設計了以下變因：

- (1) 我們嘗試用不同高度，利用重力位能 ( $mgh$ ) 來求出形成水膜的臨界能量。
- (2) 用不同的大小的彈珠其直徑和表面積和水膜變化的關係。
- (3) 約略算出水膜的體積。

二、水膜的水應該是石子落水時排出水，在水面上產生水膜。所以我們算物體在水下排開水的圓柱體體積,和水面上水膜的體積,並加以探討。



# 實驗條件設計與步驟

# 實驗方式圖解

## 實驗條件設計

不同下落的高度

不同直徑大小

石子不同體積

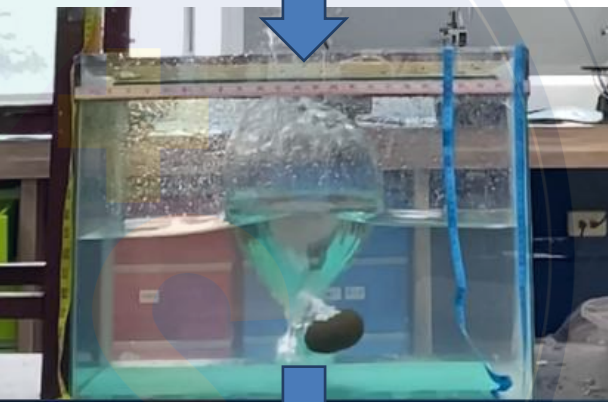
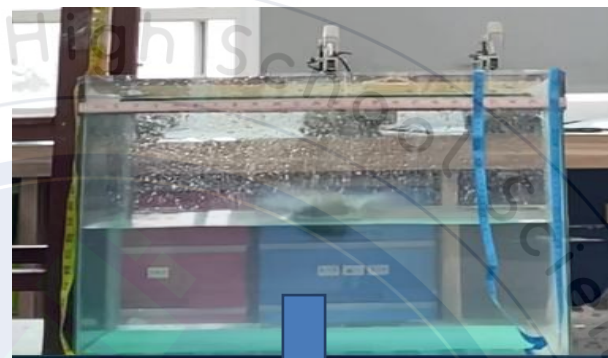
129cm起，向下每20cm記錄一次。直到找到成膜的最小高度

龜甲石8cm  
大彈珠3cm  
中彈珠2cm  
小彈珠1cm

龜甲石150.8cm<sup>3</sup>  
大彈珠37cm<sup>3</sup>  
中彈珠9cm<sup>3</sup>  
小彈珠1cm<sup>3</sup>

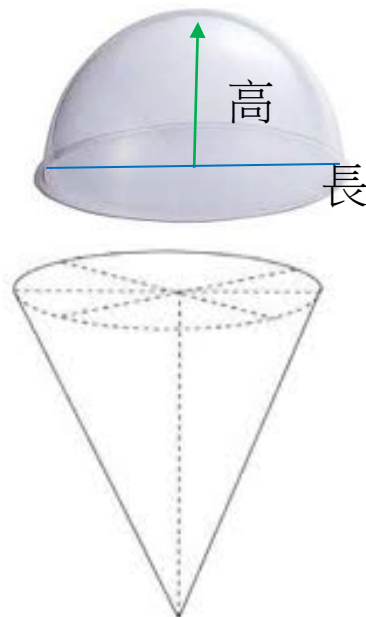
利用慢速攝影找出彈珠或石子形成水膜的臨界高度，並算出水膜的體積。

總結歸納實驗結果

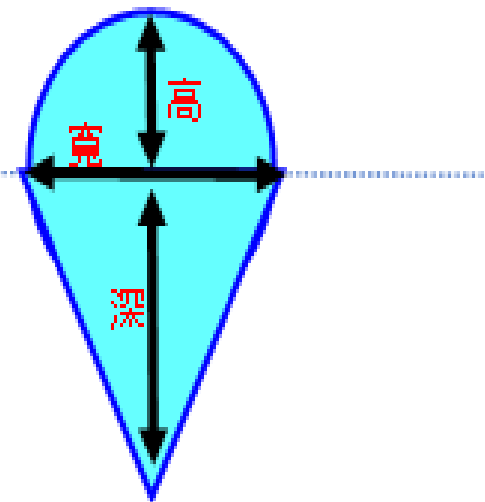


空氣甜筒包含:

- 水面上的水膜。
- 水面下的錐形體



水面



# 陸、研究結果與討論

表 6-1 龜甲石之過程記錄

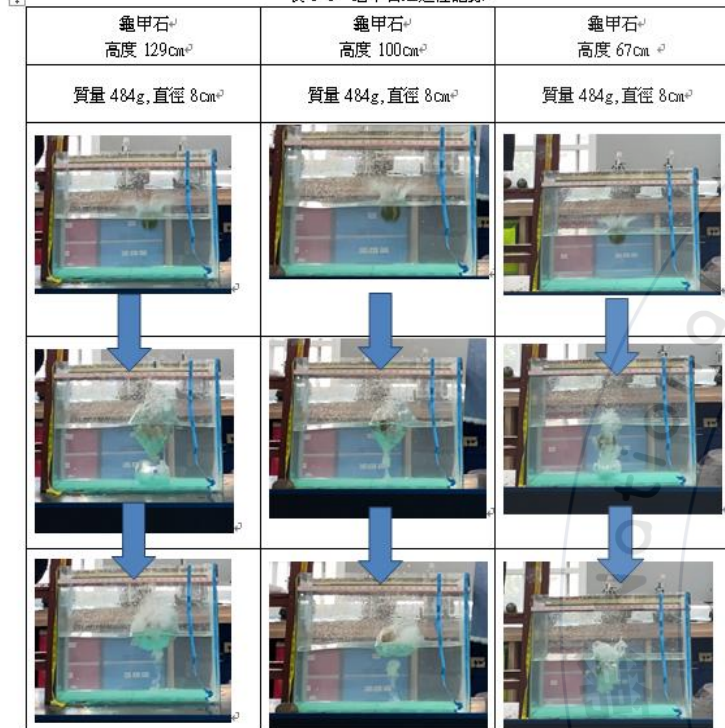


表 6-2 大彈珠之過程記錄

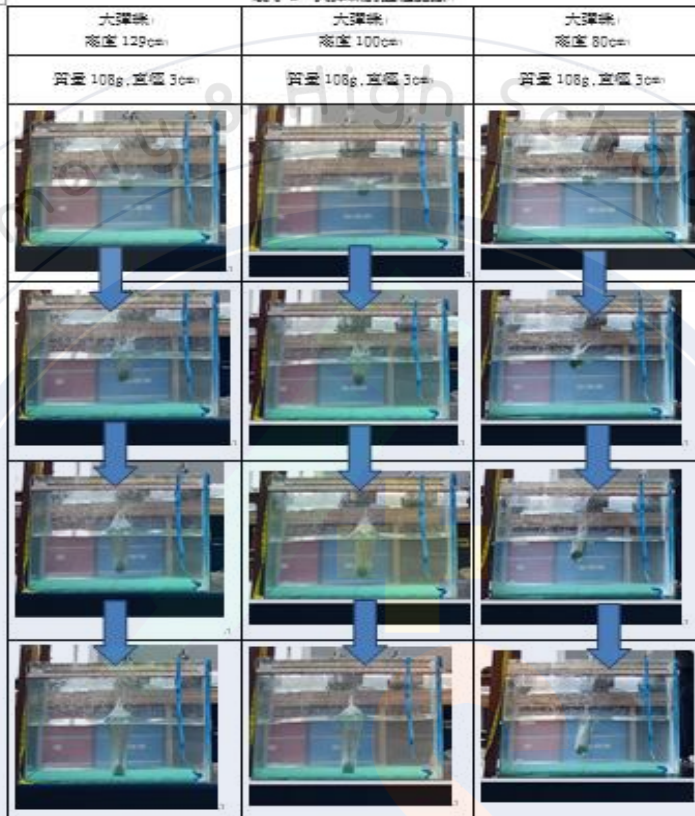


表 6-3 中彈珠之過程記錄

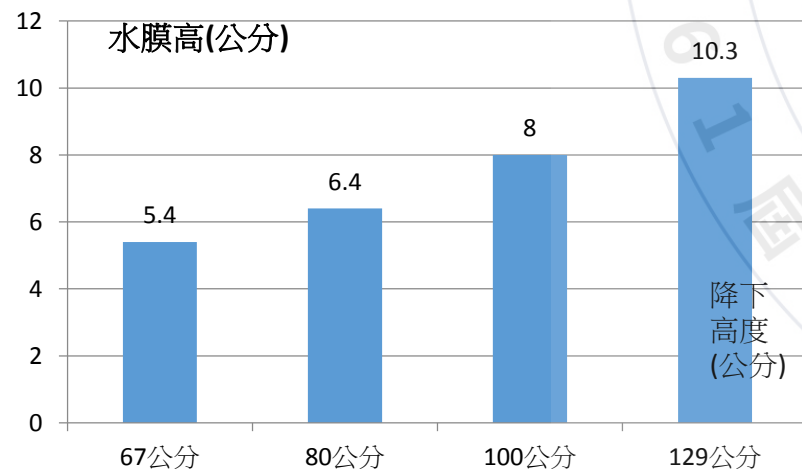
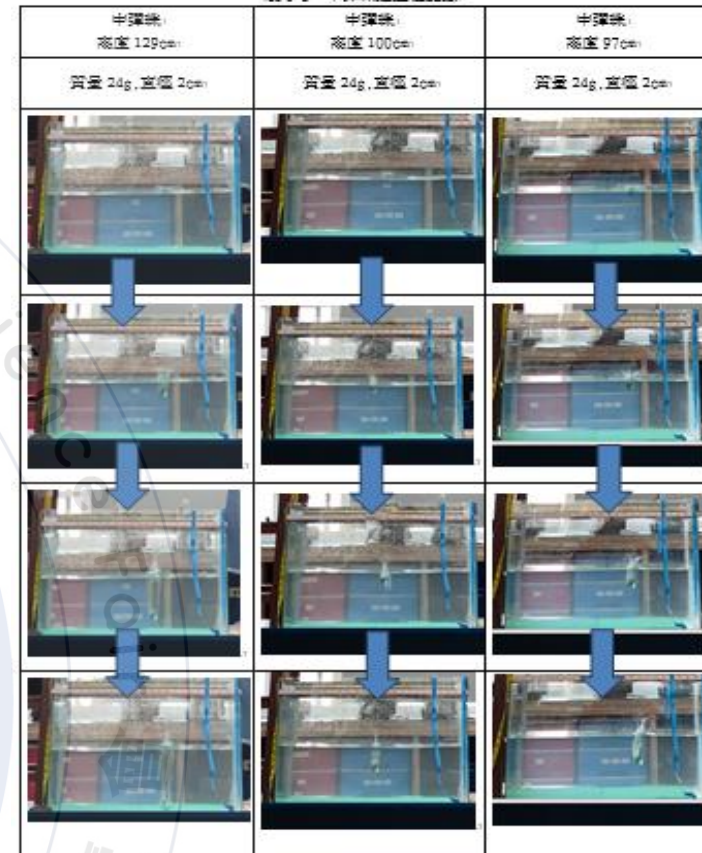


圖6-1 龜甲石之降下高度與水膜高度圖

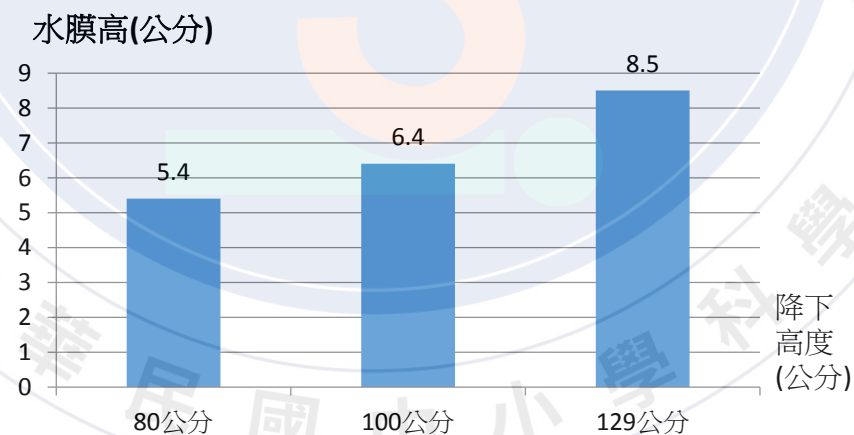


圖6-2 大彈珠之降下高度與水膜高度圖

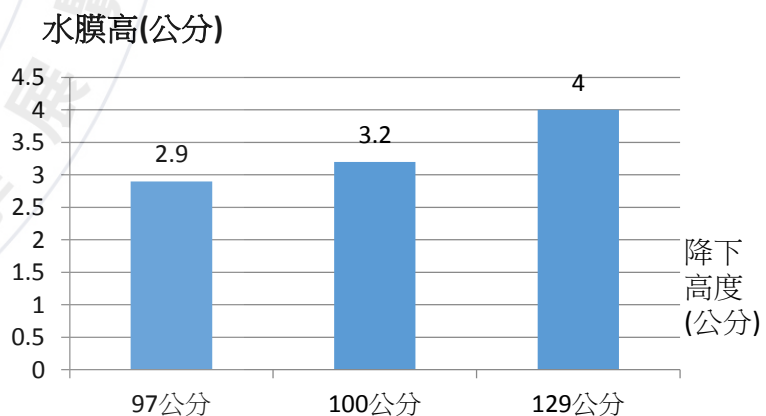


圖6-3 中彈珠之降下高度與水膜高度圖

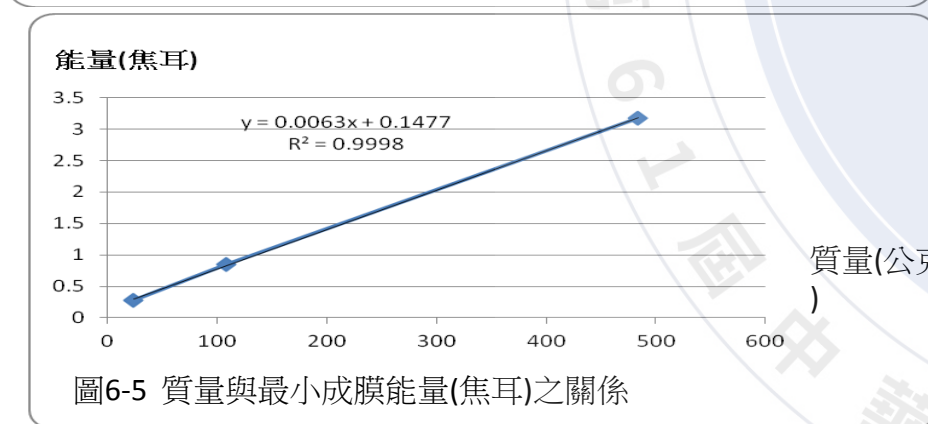
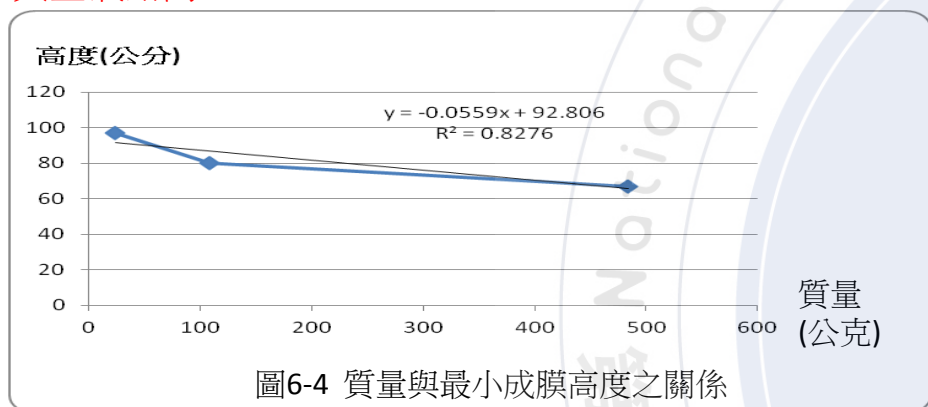


## 二、不同質量可以形成水膜的最小高度與最小能量分析

表6-4 不同質量之最小成膜高度和最小成膜能量比較

質量(公克)	最小成膜高度(公分)	最小成膜能量(焦耳)
龜甲石 484	67	3.178
大彈珠 108	80	0.847
中彈珠 24	97	0.228

小彈珠以最高高度129公分下降，實驗多次皆無法形成水膜與空氣甜筒

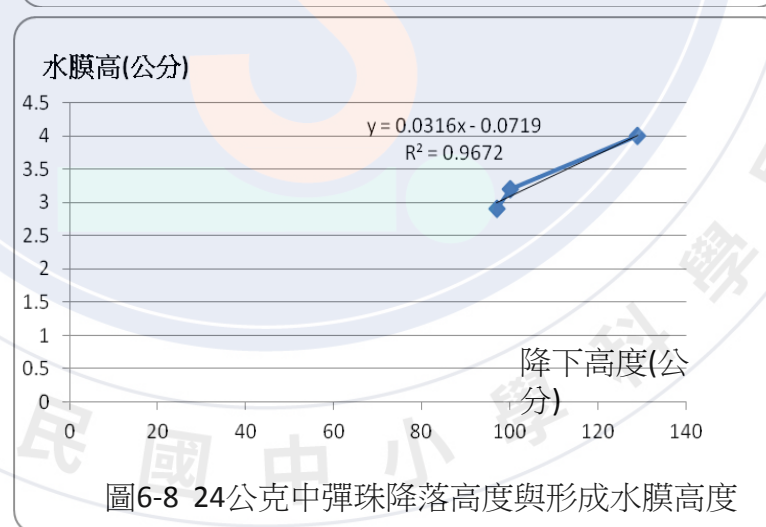
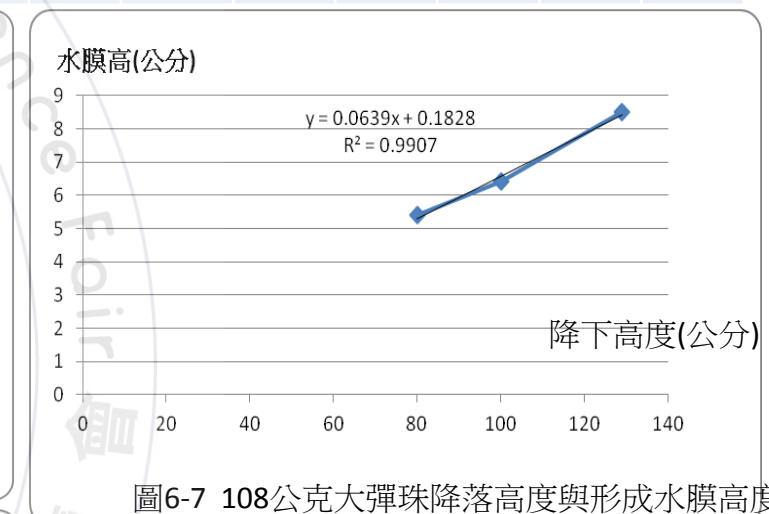
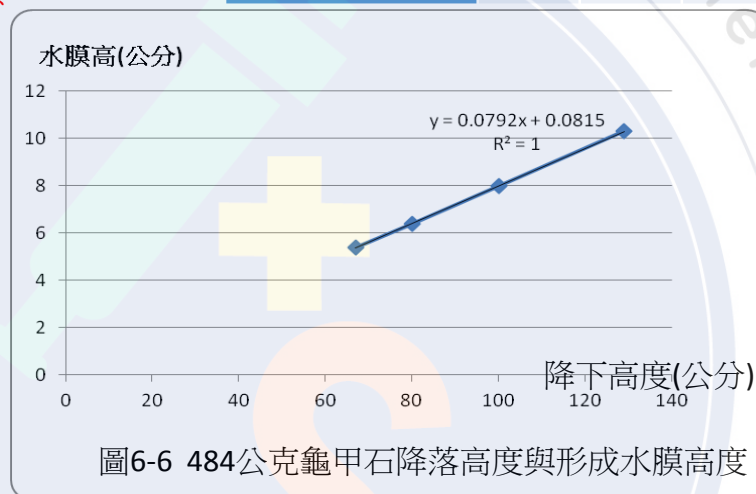


投入的質量越大，投入水中時可形成的最小水膜高度越大

## 三、投入高度與水膜高度的關係

表6-5 不同質量之最小成膜高度比較

質量(公克)	484				108			24		
降下高度(公分)	129	100	80	67	129	100	80	129	100	97
水膜高(公分)	10.3	8	6.4	5.4	8.5	6.4	5.4	4	3.2	2.9



以上三點發現共同特色為降落高度越高，其所形成的水膜高度越高，皆呈現高度相關。



## 四、投入能量與水膜高度的關係

表6-6 釋放能量與形成水膜高度表

質量(公克)	484				108			24		
釋放能量(焦耳)	6.119	4.743	3.795	3.178	1.365	1.058	0.847	0.303	0.235	0.228
水膜高(公分)	10.3	8	6.4	5.4	8.5	6.4	5.4	4	3.2	2.9

水膜高度(公分)

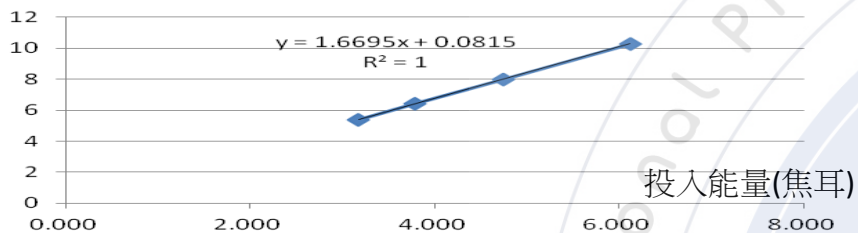


圖6-9 484公克龜甲石釋放能量與形成水膜高度關係

水膜高度(公分)

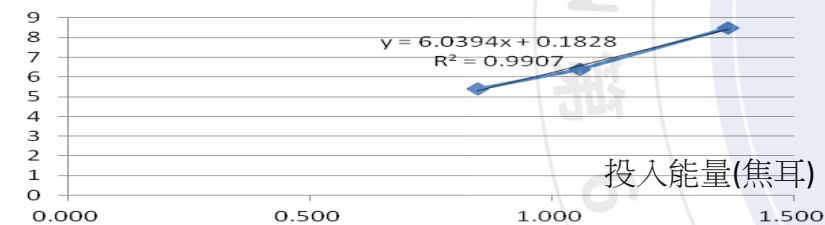


圖6-10 108公克中彈珠釋放能量與形成水膜高度關係

水膜高度(公分)

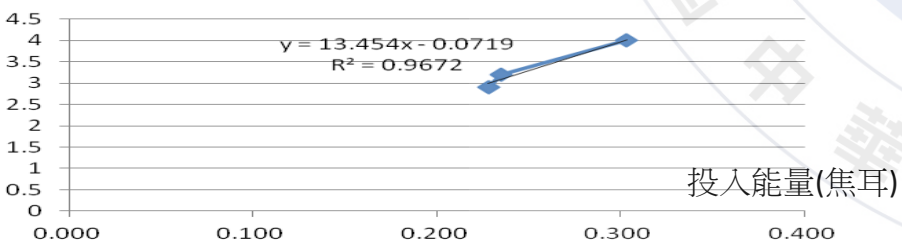


圖6-11 24公克中彈珠釋放能量與形成水膜高度關係

## 五、投入能量與形成最大水深的比較

表6-7 釋放能量與形成空氣甜筒之最大水深表

	484				108			24		
釋放能量(焦耳)	6.119	4.743	3.795	3.178	1.365	1.058	0.847	0.303	0.235	0.228
V字形形成最深水深(公分)	18.1	13.5	11.6	9.2	11.9	7.7	5.7	7.2	4.8	3.5

V水深(公分)

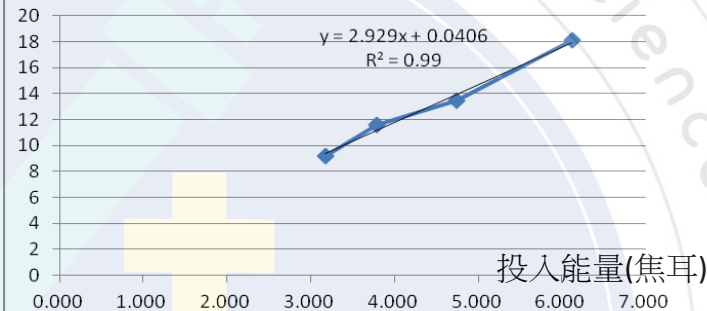


圖6-12 484公克龜甲石釋放能量與最深水深關係

V水深(公分)

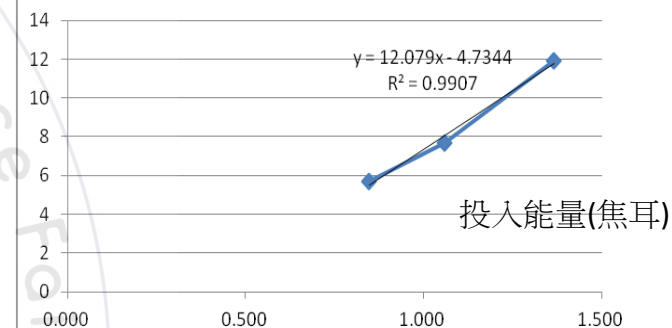


圖6-13 108公克大彈珠釋放能量與最深水深關係

V水深(公分)

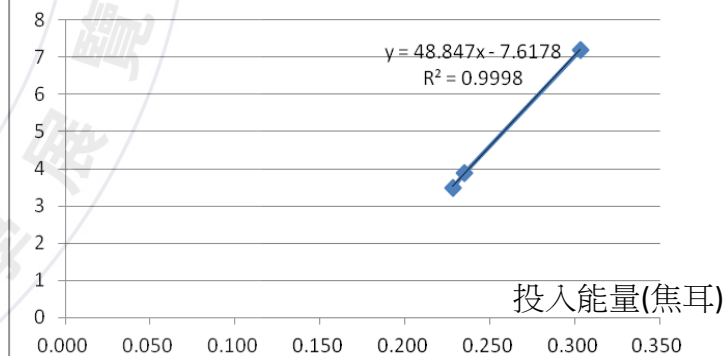


圖6-14 24公克中彈珠釋放能量與最深水深關係

共同特色為釋放的位能越大，其所形成的水膜高度越高，皆屬於高度相關。

且所釋放的能量越大，其造成的空氣甜筒水深越深，兩者關係屬於高度相關。

## 六、水膜高與水膜寬、水膜長之關係

(是否為圓形之探討)

表 6-8: 水膜高與水膜寬、水膜長比值比較表格

質量484克龜甲石						
水膜高(公分)	水膜寬(公分)	水膜長(公分)	平均圓直徑(公分)	平均圓半徑(公分)	誤差率(%)	誤差率平均(%)
10.3	22	20	21	10.5	1.90%	3.3%
8	13.5	16.5	15	7.5	-6.67%	
6.4	12.5	13.5	13	6.5	1.54%	
5.4	11.2	11.1	11.15	5.575	3.14%	
質量108克大彈珠						
水膜高(公分)	水膜寬(公分)	水膜長(公分)	平均圓直徑(公分)	平均圓半徑(公分)	誤差率(%)	誤差率平均(%)
8.5	16	17.5	16.75	8.375	-1.49%	1.48%
6.4	12.1	13.1	12.6	6.3	-1.59%	
5.4	11.1	10.8	10.95	5.475	1.37%	
質量24克中彈珠						
水膜高(公分)	水膜寬(公分)	水膜長(公分)	平均圓直徑(公分)	平均圓半徑(公分)	誤差率(%)	誤差率平均(%)
4	7.1	8	7.55	3.775	-5.96%	4.35%
3.2	6.8	6.5	6.65	3.325	3.76%	
2.9	6.1	5.9	6	3	3.33%	

由上表6-8的分析可知，無論是何種以上數據判定水膜是否為圓形的誤差率皆小於5%，所以我們推測水膜的形狀約等於半圓形，所以下列的數據分析，**皆把水膜形成的空間當成半圓形進行分析與比較**。請看下段分析

## 七、空氣甜筒內的體積比較

表6-9 不同質量的圓球與其空氣體積

質量484公克		
空氣甜筒體積	高度	能量
4361.145	129	6.119
1527.138	100	4.743
937.053	80	3.795
511.207	67	3.178
質量108公克		
空氣甜筒體積	高度	能量
2065.607	129	1.365
805.607	100	1.058
484.685	80	0.847
質量24公克		
空氣甜筒體積	高度	能量
211.006	129	0.303
123.494	100	0.235
80.490	97	0.228

三顆不同的球體降落對於所形成的空氣甜筒關係皆為高強度的正相關。若是將橫坐標改為投入能量的話，也會產生同樣的圖形與相關係數。

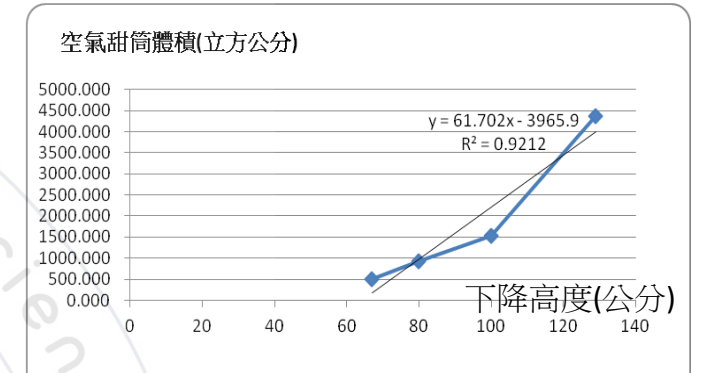


圖6-15 484公克龜甲石下降高度與空氣甜筒體積關係

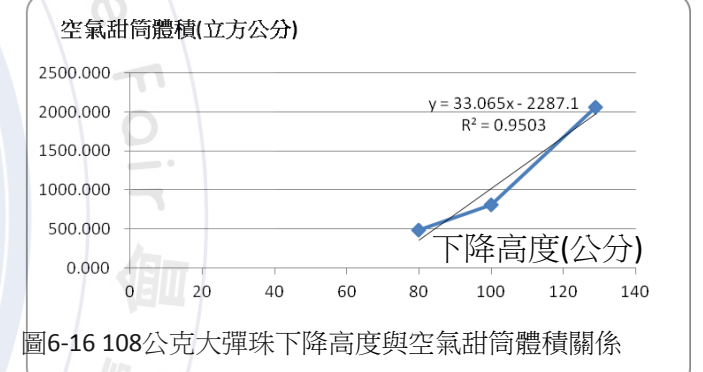


圖6-16 108公克大彈珠下降高度與空氣甜筒體積關係

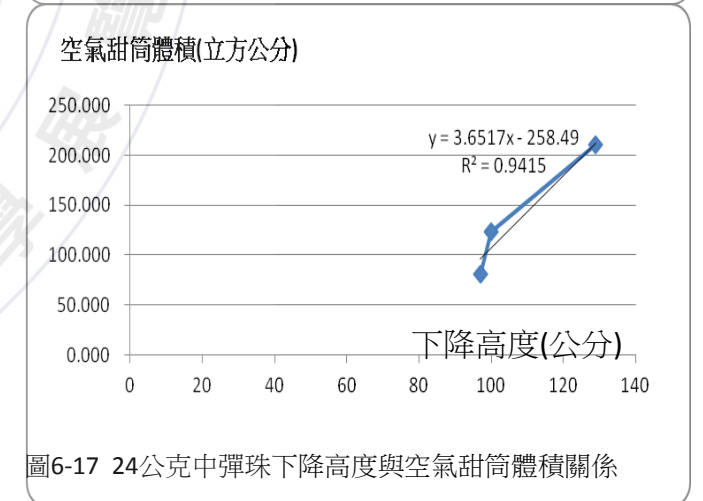


圖6-17 24公克中彈珠下降高度與空氣甜筒體積關係

## 八、空氣甜筒內的體積與排開的水體積之比較

表6-10 不同質量球體之排開水體積與造成空氣甜筒體積表

質量484公克龜甲石		
下降高度(公分)	空氣甜筒體積(立方公分)	排開水體積(立方公分)
下降129公分	4361.145	150.8
下降100公分	1527.138	150.8
下降80公分	937.053	150.8
下降67公分	511.207	150.8
質量108公克大彈珠		
下降高度(公分)	空氣甜筒體積(立方公分)	排開水體積(立方公分)
下降129公分	2065.607	37.7
下降100公分	805.607	37.7
下降80公分	484.685	37.7
質量24公克中彈珠		
下降高度(公分)	空氣甜筒體積(立方公分)	排開水體積(立方公分)
下降129公分	211.006	9
下降100公分	123.494	9
下降97公分	80.490	9

以上結果我們可以清楚發現，**球體沉入水中所造成的排開水的體積遠小於所造成空氣甜筒的體積**，這點讓我們覺得很有趣。因為空氣甜筒的體積包含水膜的半球體加上水面下的錐形體體積所構成，這兩者的體積與所排開的空氣體積是否有差異，我們進行下列的分析。

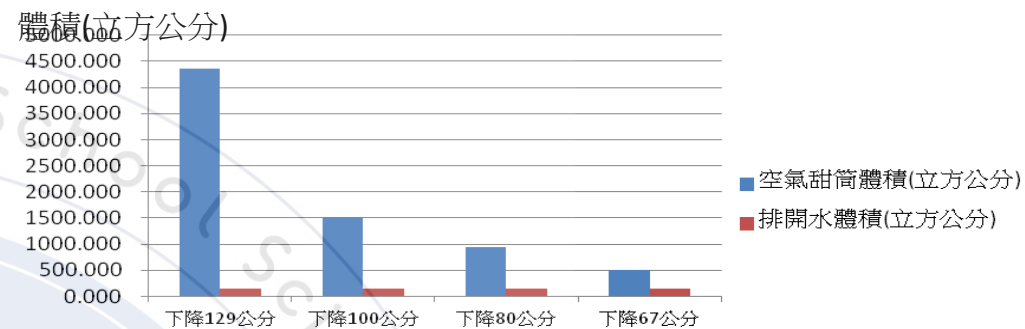


圖6-18 龜甲石排開水體積與形成空氣甜筒體積比較

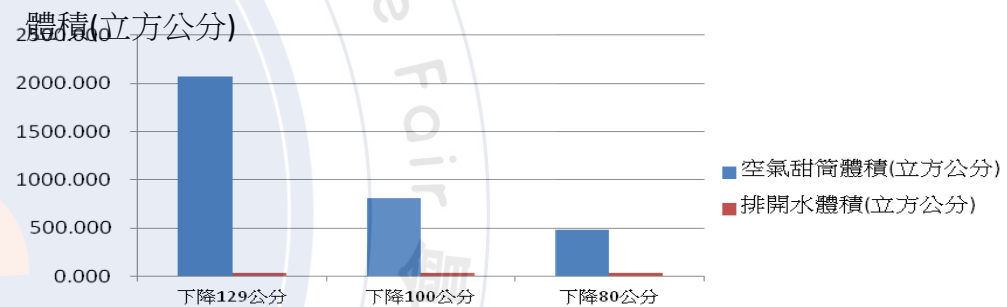


圖6-19 大彈珠排開水體積與形成空氣甜筒體積比較

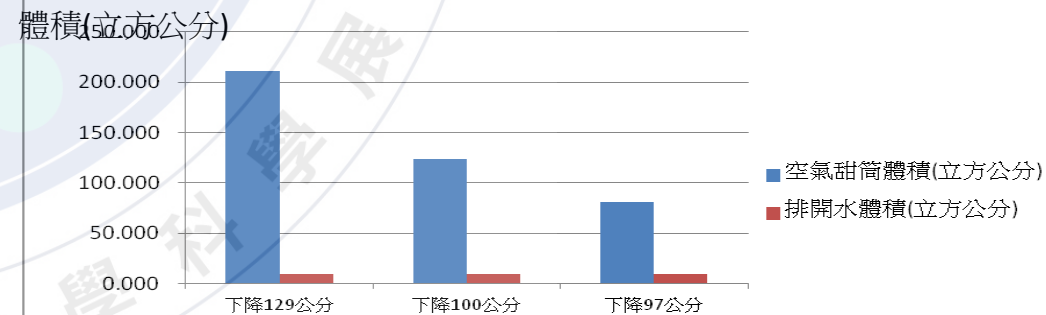


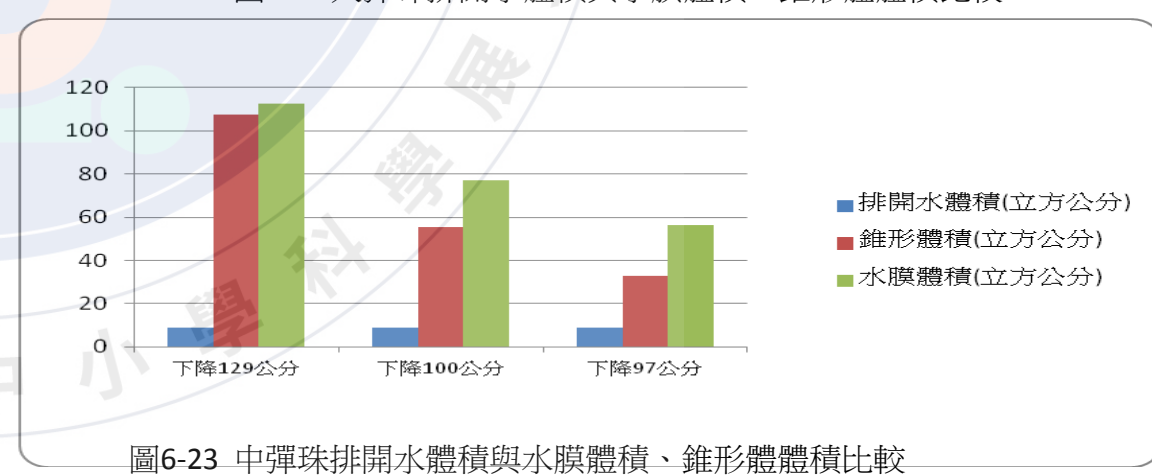
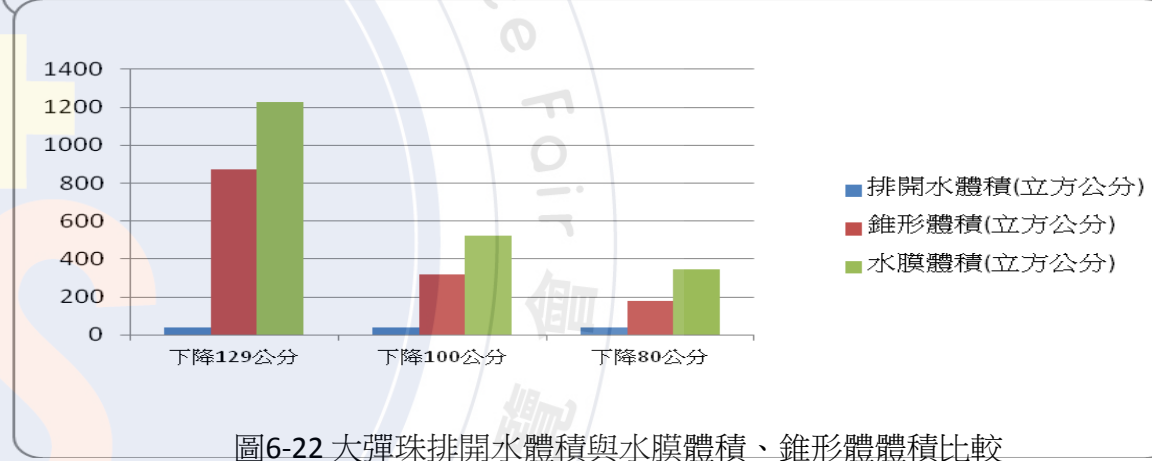
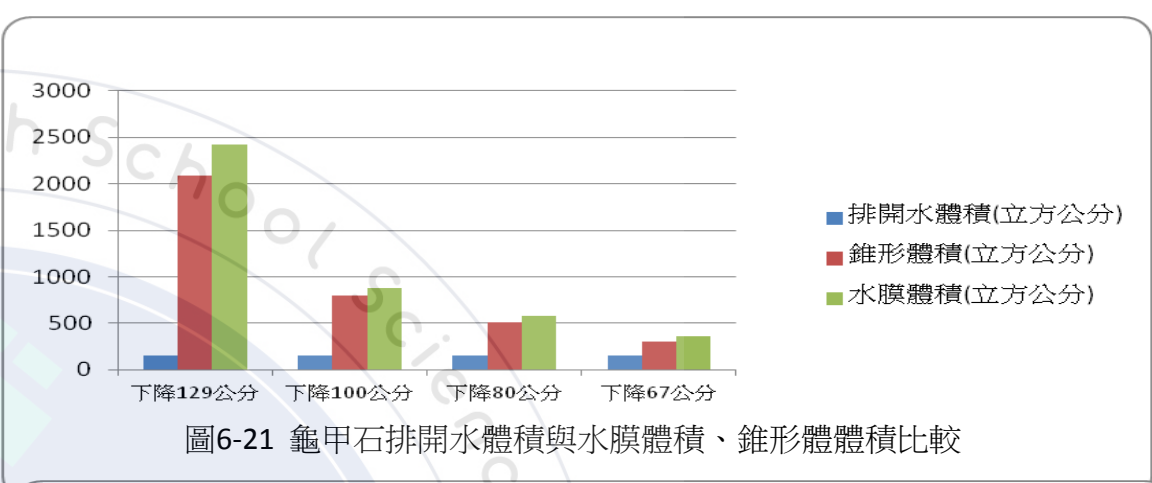
圖6-20 中彈珠排開水體積與形成空氣甜筒體積比較



# 九、水膜體積、錐形體體積與排開的水體積之比較

表6-11 水下錐形體體積、水面上水膜體積與球體本身排開水的體積表

質量484公克龜甲石			
下降高度(公分)	排開水體積(立方公分)	錐形體積(立方公分)	水膜體積(立方公分)
下降129公分	150.8	2088.650	2423.295
下降100公分	150.8	794.813	883.125
下降80公分	150.8	512.971	574.882
下降67公分	150.8	299.286	362.721
質量108公克大彈珠			
下降高度(公分)	排開水體積(立方公分)	錐形體積(立方公分)	水膜體積(立方公分)
下降129公分	37.7	873.625	1229.682
下降100公分	37.7	319.875	523.432
下降80公分	37.7	178.835	343.551
質量24公克中彈珠			
下降高度(公分)	排開水體積(立方公分)	錐形體積(立方公分)	水膜體積(立方公分)
下降129公分	9	107.393	112.613
下降100公分	9	55.543	76.951
下降97公分	9	32.970	56.520



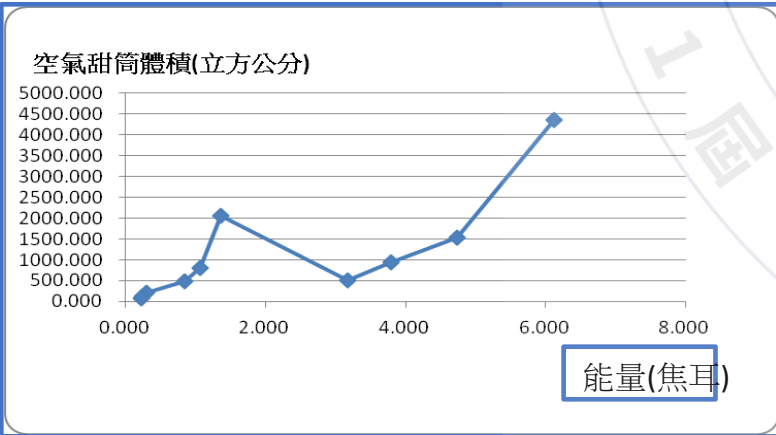
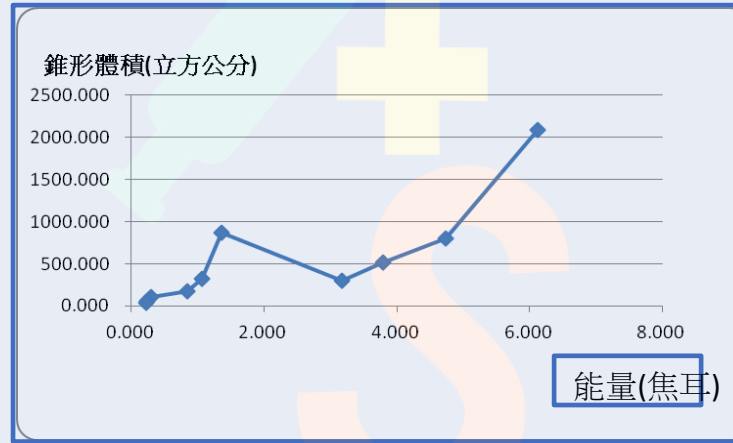
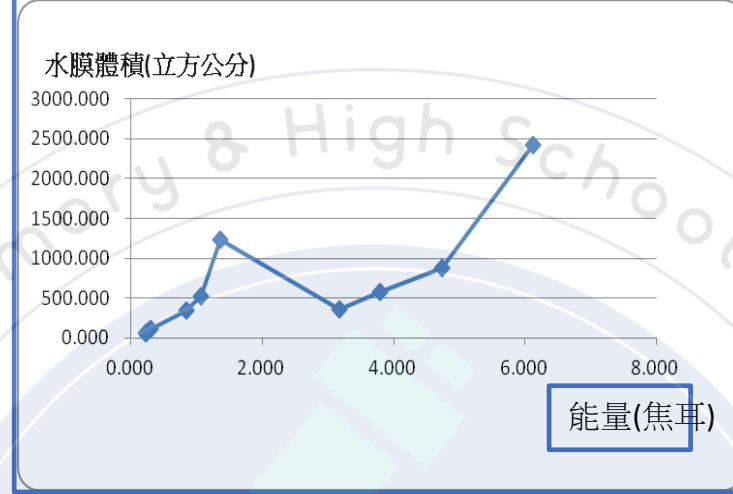
以上結果發現，三顆球體所造成的水膜體積和錐形體體積都遠大於球體本身排開水的體積。我們推測在迅速下降的過程中，球體進入水中之後除了排開本身的體積之外，同時也帶入大量的空氣而形成錐形體，最後形成水膜，至終形成空氣甜筒，其相關解釋模型於綜合討論時會有另外的討論與說明。

# 柒、綜合討論

## 一、若以投入能量觀點分析能量大小與水膜大小之關係為何？

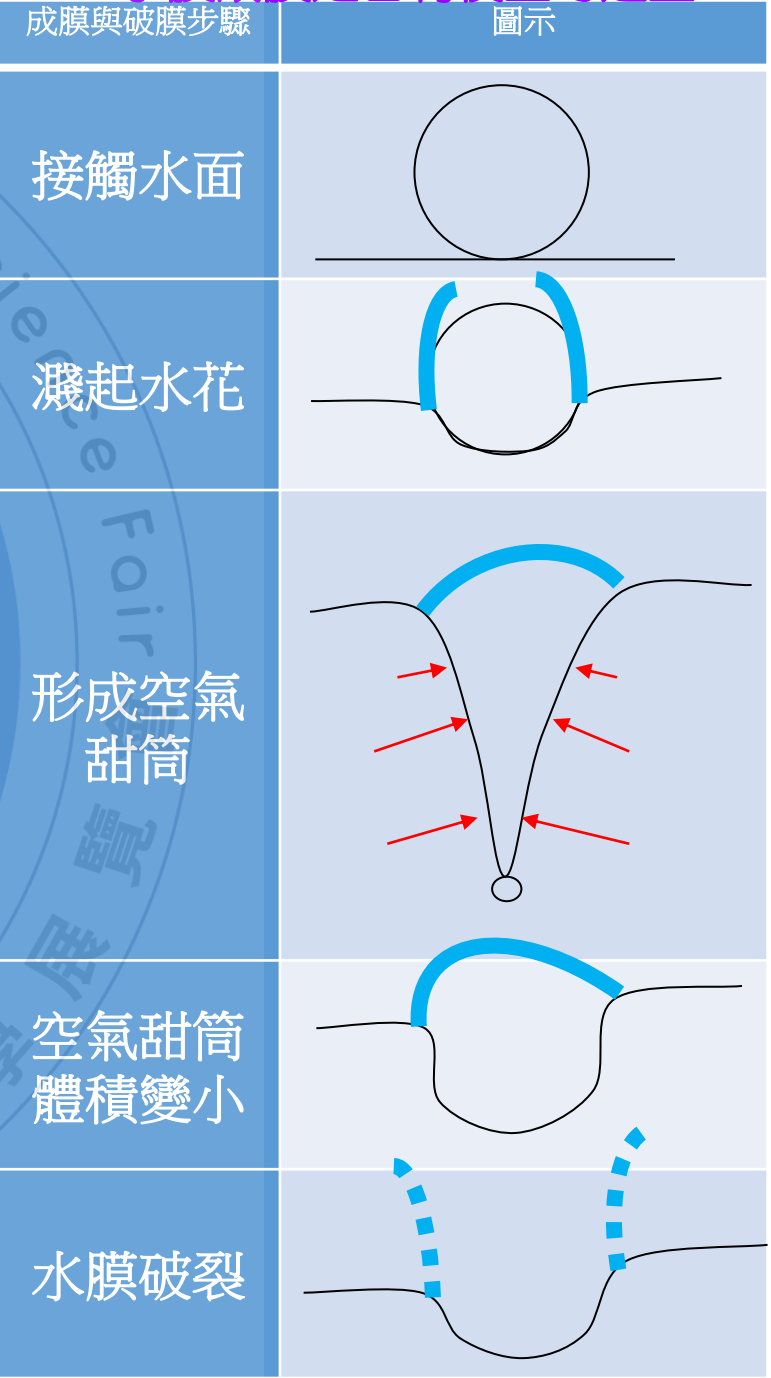
表7-1 投入能量與空氣甜筒、錐形體、水膜體積表

能量(焦耳)	空氣甜筒體積(立方公分)	錐形體體積(立方公分)	水膜體積(立方公分)
6.119	4361.145	2088.650	2423.295
4.743	1527.138	794.813	883.125
3.795	937.053	512.971	574.882
3.178	511.207	299.286	362.721
1.365	2065.607	873.625	1229.682
1.058	805.607	319.875	523.432
<b>0.847</b>	<b>484.685</b>	<b>178.835</b>	<b>343.551</b>
0.303	211.006	107.393	112.613
0.235	123.494	55.543	76.951
0.228	80.490	32.970	56.520



我們的結果是能量越高，所形成的空氣甜筒體積、錐形體體積、水膜體積越大，我們分析出來的結果卻是有所區別，轉折點約在**0.847焦耳**的地方。這可能跟入水時候的接觸面積有關，雖然三者都是球體，可是其**入水的瞬間接觸面積不同造成的**。

## 二、水膜成膜是否有模型可建立？

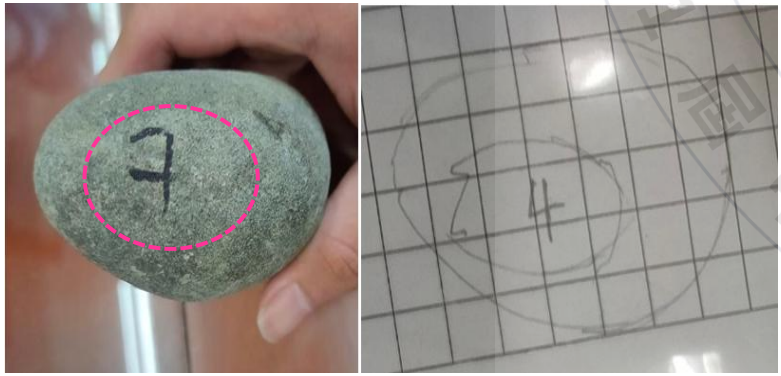
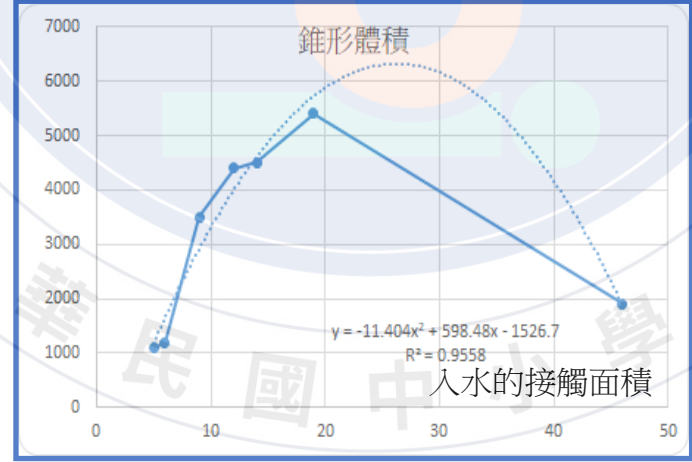
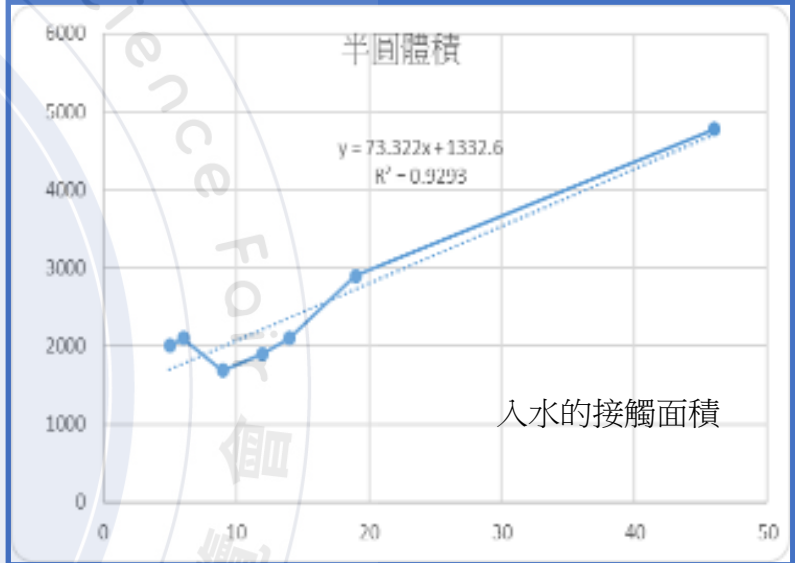
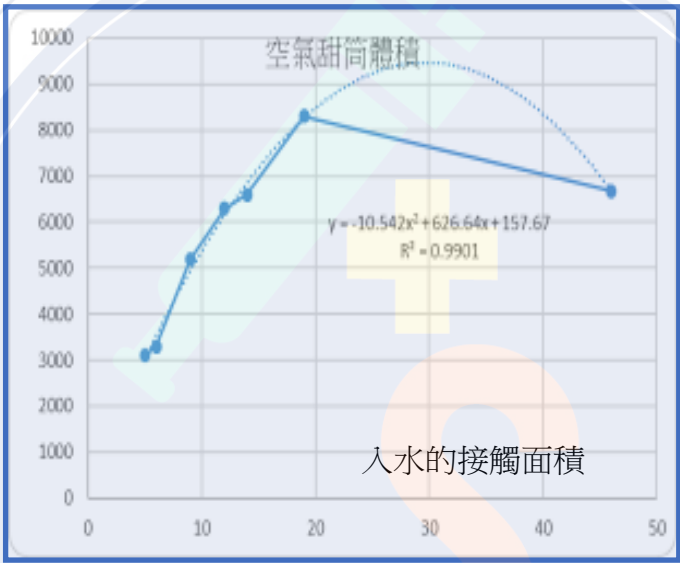


# 三、不規則體積石頭進入水面所產生的空氣甜筒分析

將一個不規則體積的石頭(質量405克)，於高度129公分處掉落水面，會造成一個有趣的現象，每次落下的能量相同，可是會因為不同著水面積而產生不同的空氣甜筒體積、水面下的錐形體體積、空氣中的半圓體體積，其結果如下表和下圖所示：

表 7-2 同一位能不同接觸面入水產生的相關體積表

石頭落水接觸面(cm <sup>2</sup> )	空氣甜筒體積(cm <sup>3</sup> )	錐形體積(cm <sup>3</sup> )	半圓體積(cm <sup>3</sup> )
46	6677	1900	4777
19	8300	5400	2900
14	6600	4500	2100
12	6300	4400	1900
9	5189	3500	1689
6	3300	1200	2100
5	3100	1100	2000



- 我們發現：
1. 入水的接觸面積與形成空氣甜筒產生二次拋物線
  2. 與水面下的錐形體積也成二次拋物線
  3. 與空氣中的半圓體積呈現直線關係



# 捌、研究結論

一、無論是**484公克**的龜甲石球體、**108公克**的大彈珠球體與**24公克**的中彈珠球體而言：

(一)其高度越高，所造成的水膜高度越高。

(二)其高度越高，所造成的水面下錐形體水深越深。

(三)其高度越高，所造成的空氣甜筒體積越大。

(四)而形成空氣甜筒最低的降下高度：

- 1.龜甲石球體為**67公分**，最小成膜能量為**3.178焦耳**。
- 2.大彈珠球體為**80公分**，最小成膜能量為**0.847焦耳**。
- 3.中彈珠為**97公分**，最小成膜能量為**0.228焦耳**。

二、球體降入水中所形成的水膜，其形狀觀察為接近半球體。

三、當空氣甜筒形成的時候，其上方的水膜體積與水面下的錐形體體積皆大於球體本身所排開的水體積。推測可能在球體迅速入水形成空氣甜筒的時候會帶進大量的空氣所致。

四、球體下降的過程中，推測球體下方運動較為快速，造成的壓力較小，所以造成外界較大的大氣壓力帶進更多的空氣，形成空氣柱。同時因為越往下方移動，水壓越高，因此造成水面下的錐形體，且錐形體內的空氣壓力小於外界大氣壓力，因此擠壓濺起的水體向內產生水膜。