

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高中組 物理科

佳作

040112

「彈」何容易—水珠的反彈

學校名稱：國立臺中女子高級中學

作者： 高二 高雅然 高二 林純儀	指導老師： 陳正昇
-------------------------	--------------

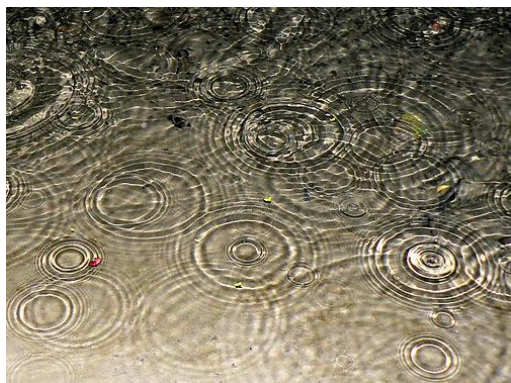
關鍵詞：水滴、反彈

## 摘要

本實驗探討水滴滴落水面反彈的運動情形。我們利用高速攝影機拍攝、觀察水滴滴落水面過程的變化，並改變落下水滴的高度、質量、壓克力水箱的水深，討論不同條件對反彈之分離珠數的影響，以及各分離水珠和落下水滴的能量關係。同時分析水滴撞擊出的凹洞大小，並嘗試以高中課程所學及現有的理論解釋其運動情形。在本實驗中，我們發現：落下水滴位能、水深介於某一範圍時，可出現最多的分離水珠。

## 壹、研究動機

下雨時，我們常看見水面上陣陣美麗的漣漪。但，除此之外，兩滴撞擊液面後還會反彈出水柱及一連串的水珠；平日裝水或是洗手的時候，也常發現類似的情景，只是反彈後的水柱沒有雨天時來的高。這讓我們感到好奇：什麼樣的情況下，才能讓水柱分成一顆顆的水珠？又有哪些條件會影響水滴滴液面後的反彈現象呢？於是，我們設計了一套實驗，試圖藉由觀察水滴滴落水面的運動情形歸納出一套規則，並嘗試以高中課程中的理論解釋之。



▲雨天時水面的陣陣漣漪



▲牛奶滴落液面後拉出液柱並分離出液珠

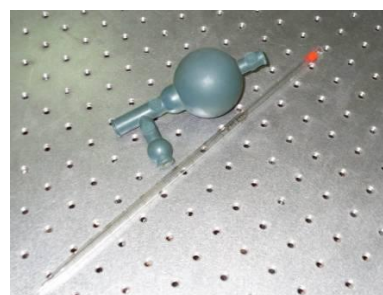
## 貳、研究目的

- 一、研究液滴滴落液面反彈的運動情形
- 二、研究不同條件對水滴反彈現象的影響
  - (一) 落下水滴位能對反彈現象的影響
  - (二) 水深對反彈現象的影響

## 參、研究設備及器材

### 一、硬體設備

- (一) 高速攝影機 (Casio EX-F1)
- (二) 腳架
- (三) 光學實驗台
- (四) 支架等金屬零件
- (五) 分度吸量管及安全吸球  
(1 滴質量= $0.0385\text{g}(\pm 0.0004\text{g})$ )
- (六) 點滴管及可替換針頭  
(1 滴質量= $0.0193\text{g}(\pm 0.0008\text{g})$ 及 1 滴質量= $0.0087\text{g}(\pm 0.0001\text{g})$ )
- (七) 壓克力水箱 (10cm×10cm×10cm)
- (八) 白色檔板
- (九) 尺 (準確度至 1mm)
- (十) 電子秤 (準確度至 0.01g)



▲分度吸量管及安全吸球

## 二、電腦軟體

(一) Microsoft Excel 2007

(二) Measure

(三) Tema

(四) Extra.Movie to MPG, WMV, AVI



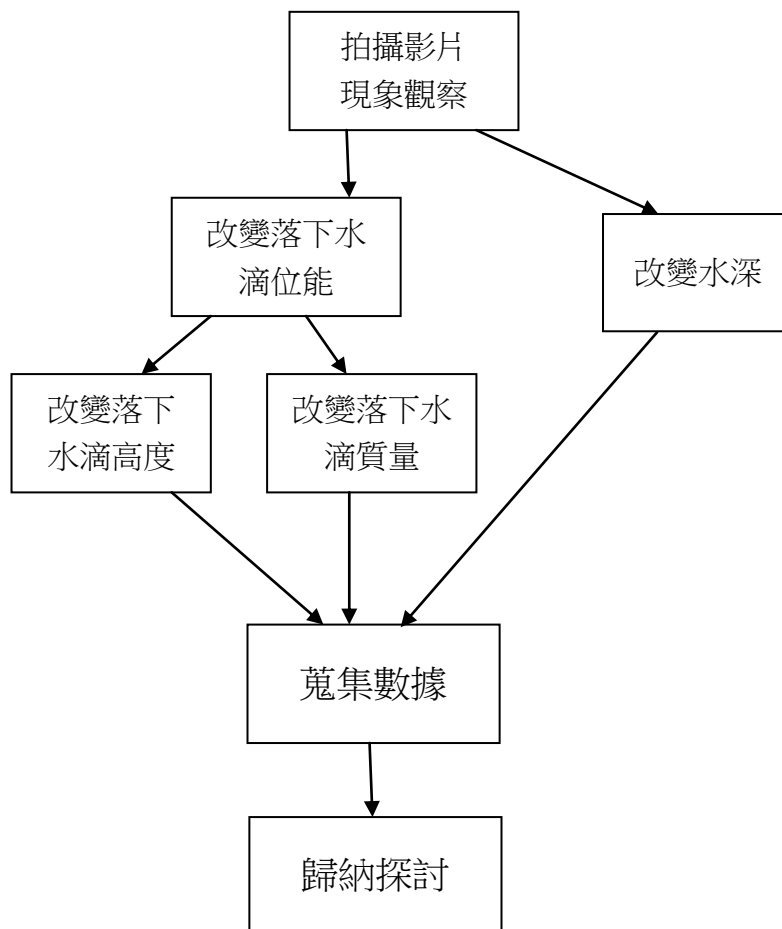
▲高速攝影機



▲點滴管及可替換針頭

## 肆、研究過程或方法

### 一、研究流程



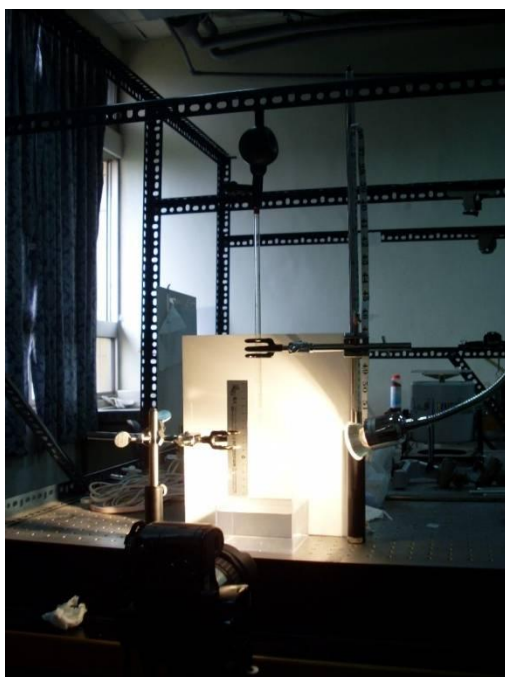
## 二、實驗方式

### (一) 落下水滴質量測量：

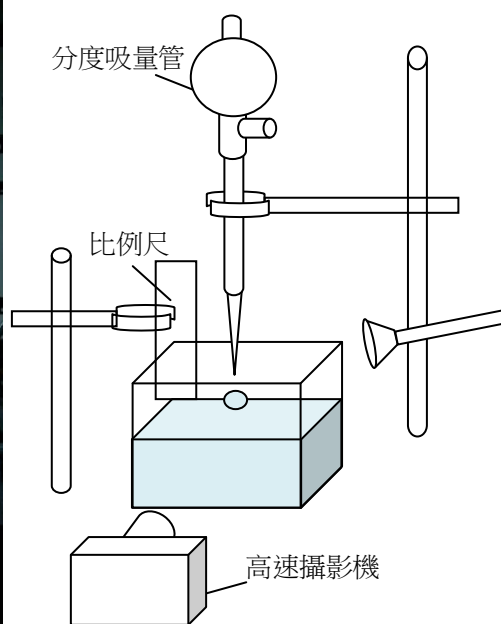
以分度吸量管或點滴管作為滴落水滴的儀器，取得三種不同的水滴質量。滴落 100 滴水滴，以電子秤測量總質量，得出單個水滴平均質量。重複數次測量，取得水滴質量平均值及標準差。

### (二) 影片拍攝：

以分度吸量管或點滴管滴落水滴，在水滴滴落處上方架設一把尺，作為比例轉換的依據。由右側照光，以高速攝影機（1200fps）拍攝水滴滴落過程。



▲實際裝置照



▲裝置示意圖

### (三) 數據處理：

#### 1. 剪輯影片：

以應用程式 Extra.Movie to MPG, WMV, AVI 剪輯拍攝影片，並將格式由 MOV 檔轉換成 MPG 檔，並調整成以每秒 30 張的影格數播放。

#### 2. 實驗值測量：

(1) 應用程式 Measure 可量取畫面上任兩點的距離。我們以 Measure 測量影片上凹洞的深度、水珠反彈高度等數值，並由畫面中的比例尺換算成實際長度。

#### (2) 分離水珠質量測量：

以 Measure 測量影片上的水珠半徑，再由比例尺換算成實際長度，並假設水珠為正球體、水的密度為  $1\text{g/cm}^3$ ，以球體體積公式推算水珠體積並導出質量。

3. x-t、v-t 資料取得：

軟體 Tema 藉由物體與背景的色彩對比度不同，追蹤紀錄影片中特定物體在每個影格的座標位置。我們利用 Tema 取得水滴的 x-t 資料及 v-t 資料，並藉由比例尺轉換成實際數字。

4. 整理資料，以 Microsoft Excel 2007 繪製圖表。

### 三、實驗

#### (一) 實驗一、落下水滴位能對反彈現象的影響

1. 改變水滴落下高度：

將質量  $m=0.0385\text{g}$  的水滴滴落於邊界為  $10\text{cm}\times 10\text{cm}$  的容器中心，固定壓克力容器內水深為  $5\text{cm}$ 。從距水面  $5\text{cm}$  開始，每  $5\text{cm}$  為一個單位，拍攝至  $100\text{cm}$ 。相同條件下，至少拍攝 10 個有效影片。

2. 改變落下水滴質量：

改變落下水滴質量  $m=0.0193\text{g}$ 、 $0.0087\text{g}$ ，重複 1. 步驟。

3. 比較分離珠數、凹洞寬深度、反彈高度等應變變因的不同。

#### (二) 實驗二、水深對反彈現象的影響

1. 改變水滴落下高度：

將質量  $m=0.0385\text{g}$  的水滴滴落於邊界為  $10\text{cm}\times 10\text{cm}$  的容器中心，固定壓克力水箱中的水深為  $0.5\text{cm}$ 。從距水面  $10\text{cm}$  開始，每  $10\text{cm}$  為一個單位，拍攝至  $100\text{cm}$ 。相同條件下，至少拍攝 10 個有效影片。

2. 改變水深：

改變水深為  $1\text{cm}$ 、 $1.5\text{cm}$ 、 $2\text{cm}$ 、 $3\text{cm}$ 、 $5\text{cm}$ 、 $7\text{cm}$ ，重複 1. 步驟。

3. 比較不同水深時分離珠數的不同。

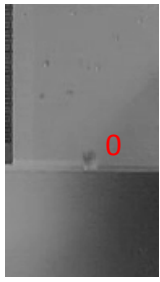
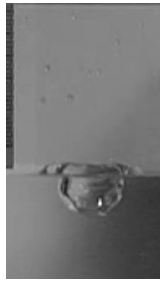
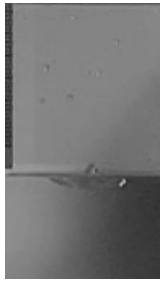
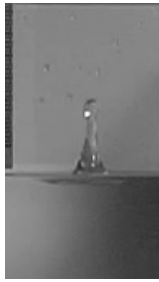
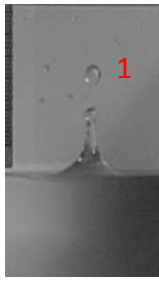
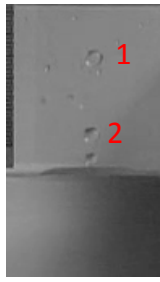
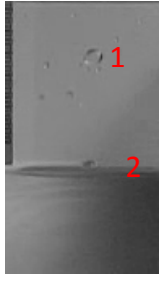

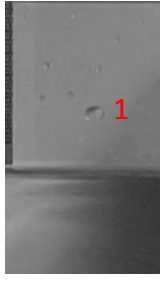
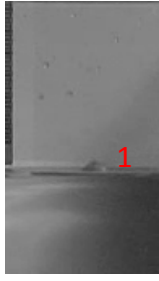


## 伍、研究結果

### 一、 水滴滴落液面反彈過程

(一) 1滴質量=0.0385g

水滴落下高度：距水面25cm

水深：5cm

					
t=36ms	t=56ms	t=76ms	t=86ms	t=106ms	t=126ms
水滴（標號為 0）撞擊液面	水滴撞擊出凹洞	凹洞收縮，拉起水柱	水柱上升	水柱分離出第一顆水珠（標號為 1）	水柱分離出第二顆水珠（標號為 2）
					
t=146ms	t=166ms	t=186ms	t=206ms	t=226ms	t=236ms
2 撞擊液面	1 落下	1 落下	1 撞擊液面	產生凹洞	過程結束

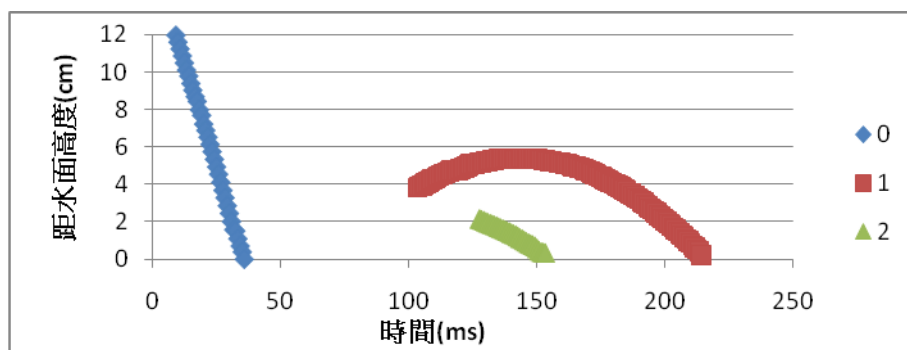


圖 1

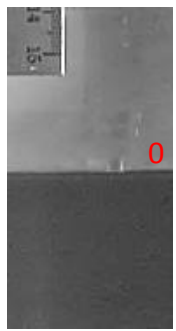





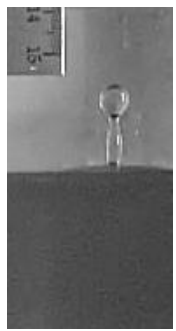





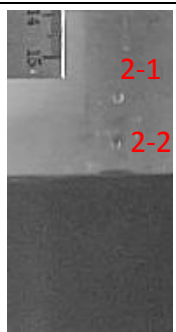
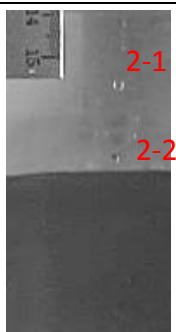
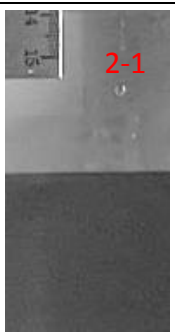



#### 圖 1（各分離水珠 x-t 圖）說明：

1. 中間空白處（約 36ms~106ms 之間），為水滴沒入液面，形成凹洞、拉起水柱，但尚未分離出水珠的階段。
2. 水珠 1 形成後仍繼續上升；水珠 2 則直接落下。
3. 水珠 1 在空中滯留時間明顯較水珠 2 長。

(二) 1滴質量=0.0385g

水滴落下高度：距水面75cm

水深：5cm

					
t=0ms	t=20ms	t=40ms	t=60ms	t=80ms	t=100ms
水滴（標號為 0）撞擊液面	產生凹洞及水花	凹洞收縮	拉起水柱	水柱上升	水柱前端聚集成球狀
					
t=120ms	t=140ms	t=160ms	t=180ms	t=200ms	t=220ms
水柱前端聚集成球狀	第一顆水珠分離（標號為 1-1）	分離水珠沒入水面	產生凹洞	凹洞收縮	拉起水柱，分離出第一顆水珠（標號為 2-1）
					
t=240ms	t=260ms	t=280ms	t=320ms	t=330ms	t=335ms
分離出第二顆水珠（標號為 2-2）	2-2 落回液面	2-1 落下	2-1 落回液面	產生凹洞	過程結束



## 二、實驗數據

### (一) 實驗一、落下水滴位能對反彈現象的影響

#### 1. 水滴落下高度-分離珠數平均值關係

(1) 1 滴質量=0.0385g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
水滴初位能( $10^6$ J)	18.87	37.73	56.60	75.46	94.33	113.19	132.06	150.92	169.79	188.65
分離珠數平均值	0.18	1.36	2.83	3.03	2.58	1.90	1.12	1.00	1.00	1.00
標準差	0.40	0.76	0.64	0.61	0.68	0.45	0.33	0.00	0.00	0.00

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
水滴初位能( $10^6$ J)	207.52	226.38	245.25	264.11	282.98	301.84	320.71	339.57	358.44	377.30
分離珠數平均值	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	0.84	0.90
標準差	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.37	0.31

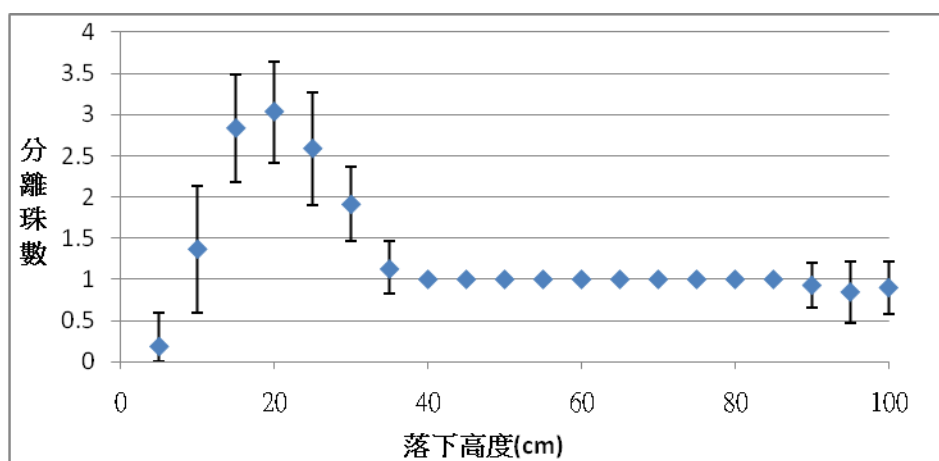


圖 2

#### 圖 2 說明:

1. 落下高度 5cm~20cm 時，分離珠數隨水滴落下高度增加而增加。
2. 標準差最大值（變異度最大）約和分離珠數最大值同時出現。
3. 分離珠數最大值（落下高度 20cm，曲線最高點）之後，分離珠數逐漸下降，並在 40cm 之後收斂至 1。
4. 90cm 之後出現幾次無分離水珠的情形。

(2) 1 滴質量=0.0193g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
水滴初位能( $10^6\text{J}$ )	9.46	18.91	28.37	37.83	47.29	56.74	66.20	75.66	85.11	94.57
分離珠數平均值	0.00	0.00	0.00	1.10	2.70	2.72	2.51	1.64	1.42	1.44
標準差	0.00	0.00	0.00	0.31	0.81	0.78	0.56	0.60	0.50	0.50

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
水滴初位能( $10^6\text{J}$ )	104.03	113.48	122.94	132.40	141.86	151.31	160.77	170.23	179.68	189.14
分離珠數平均值	1.19	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
標準差	0.40	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

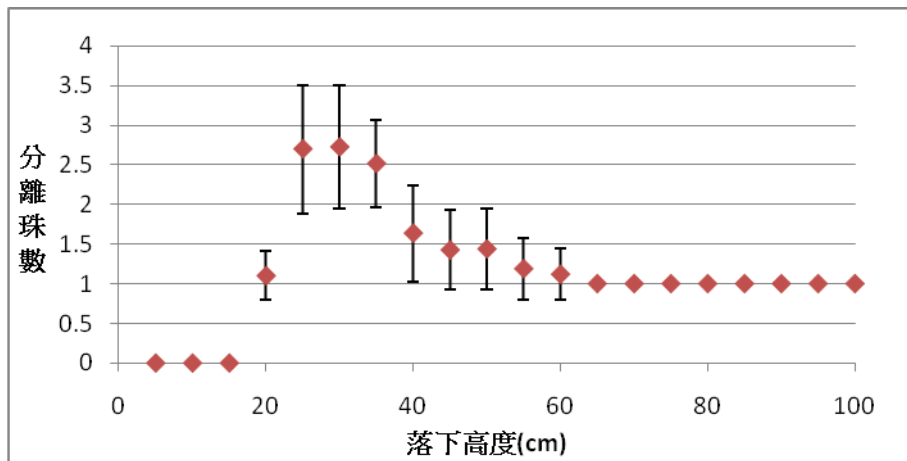


圖 3

**圖 3 說明:**

變化情形和圖 2 相似

1. 落下高度 5cm~30cm 時，分離珠數隨水滴落下高度增加而增加。
2. 標準差最大值(變異度最大)約和分離珠數最大值同時出現。
3. 分離珠數最大值(落下高度 30cm，曲線最高點)之後，分離珠數逐漸下降，並在 65cm 之後收斂至 1。
4. 未出現無分離水珠的情形，且未出現無分離水珠的情形，推測可能由於本實驗中水珠質量較小之故。

(3) 1 滴質量=0.0087 g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
水滴初位能( $10^6\text{J}$ )	4.26	8.53	12.79	17.05	21.32	25.58	29.84	34.10	38.37	42.63
分離珠數平均值	0.00	0.20	0.00	0.82	1.00	1.51	1.81	3.00	2.29	3.18
標準差	0.00	0.42	0.00	0.39	0.00	0.56	0.63	0.51	0.46	0.73

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
水滴初位能( $10^6\text{J}$ )	46.89	51.16	55.42	59.68	63.95	68.21	72.47	76.73	81.00	85.26
分離珠數平均值	2.63	2.67	2.80	2.63	2.76	2.57	2.56	1.18	1.08	1.00
標準差	0.58	0.83	0.41	0.49	0.44	0.51	0.51	0.39	0.28	0.00

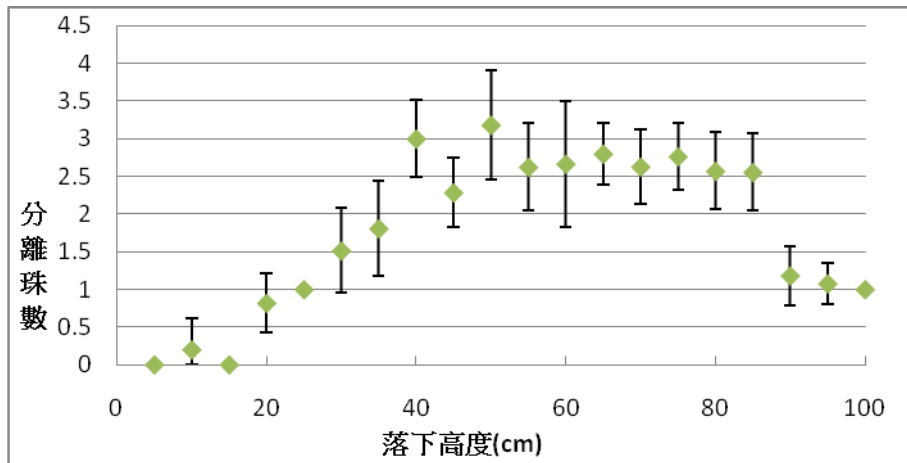


圖 4

**圖 4 說明:**

變化情形和圖 2、圖 3 相似

1. 落下高度 5cm~50cm 時，分離珠數隨水滴落下高度增加而增加。
2. 標準差最大值(變異度最大)約和分離珠數最大值同時出現。
3. 分離珠數最大值(落下高度 50cm)之後，分離珠數逐漸下降，但並未明顯收斂至 1，且未出現無分離水珠的情形，推測可能由於本實驗中水珠質量較小之故。

## 2. 落下水滴初位能-分離珠數平均值關係圖

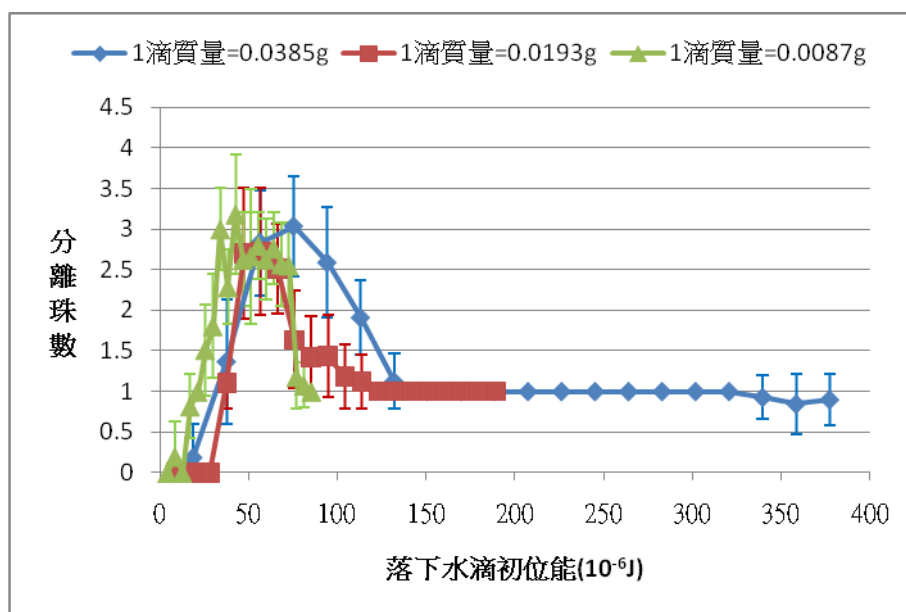


圖 5

### 圖 5 說明:

由於圖 2、圖 3、圖 4 皆有相似的趨勢，且三者操縱變因為落下水滴質量，於是將水珠質量列入考慮（即將橫軸單位改為位能），把圖 2、圖 3、圖 4 之曲線並列比較，可以發現以下趨勢：

1. 在分離珠數最大值之前，分離珠數隨水滴落下位能增加而增加。
2. 標準差的最大值（變異度最大）約和分離珠數最大值同時出現。
3. 分離珠數最大值之後，分離珠數逐漸下降，之後收斂至 1。
4. 若能量足夠，可能出現無分離水珠之情形。
5. 綜合以上，可以歸納：落下水滴初位能存在臨界範圍（約  $4.6 \times 10^{-5} \sim 7.5 \times 10^{-5}$  J），在臨界範圍內，可出現最多分離水珠。

### 3. 分離水珠位能和

(1) 1 滴質量=0.0385g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
分離水珠位能和平 均值( $10^{-6}$ J)	0.00	0.91	8.66	12.90	12.77	12.41	13.78	14.41	16.95	14.87
標準差( $10^{-6}$ )	0.00	0.17	2.78	2.50	2.85	1.95	2.25	2.28	1.96	0.96

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
分離水珠位能和平 均值( $10^{-6}$ J)	18.65	19.46	19.25	21.10	18.58	15.23	16.26	18.93	24.67	19.41
標準差( $10^{-6}$ )	3.17	2.16	2.94	1.70	3.28	1.46	1.89	2.64	3.89	5.39

(2) 1 滴質量=0.0193g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
分離水珠位能和平 均值( $10^{-6}$ J)	0.00	0.00	0.00	0.55	3.96	6.84	4.52	4.00	4.85	4.62
標準差( $10^{-6}$ )	0.00	0.00	0.00	0.17	2.25	1.46	1.30	1.42	0.75	0.65

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
分離水珠位能和平 均值( $10^{-6}$ J)	6.25	5.78	7.34	9.37	7.15	8.75	10.50	12.22	10.00	11.81
標準差( $10^{-6}$ )	0.73	0.37	0.93	1.40	0.83	0.85	2.83	1.95	1.03	1.12

(3) 1 滴質量= 0.0087g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
分離水珠位能和平 均值( $10^{-6}$ J)	0.00	0.00	0.00	0.27	0.80	0.76	0.82	2.28	2.23	3.32
標準差( $10^{-6}$ )	0.00	0.00	0.00	0.11	0.34	0.13	0.11	0.66	0.32	1.39

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
分離水珠位能和平 均值( $10^{-6}$ J)	4.52	4.91	4.66	4.36	4.23	3.21	3.68	2.47	3.03	3.04
標準差( $10^{-6}$ )	1.38	0.62	1.74	1.55	1.18	0.54	0.31	0.68	0.31	0.24

#### (4) 落下高度-分離水珠位能和關係圖

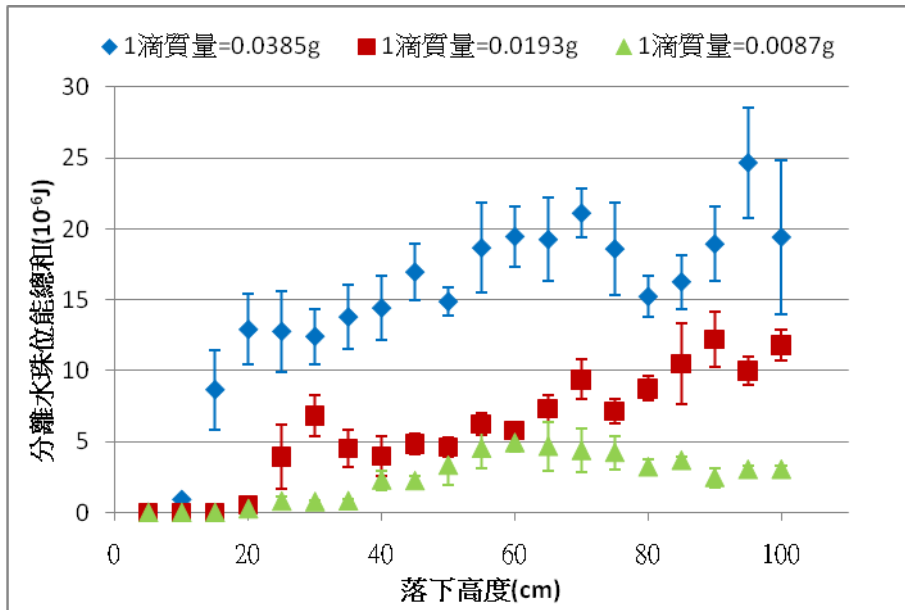


圖 6

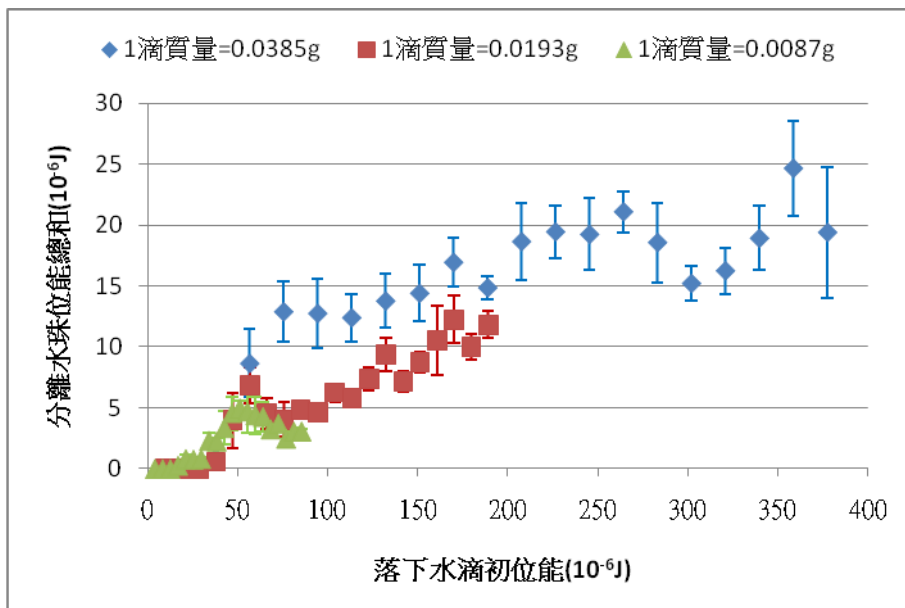


圖 7

#### 圖 6 說明:

1. 分離水珠位能總和大致與落下高度成正相關。
2. 相同條件下,落下水滴質量越大,分離水珠位能總和也越大。
3. 落下水滴質量=0.0087g時,由於畫面中水滴體積較小,測量誤差較大,因此趨勢較不明顯。

#### 圖 7 說明:

1. 分離水珠位能總和大致與落下水滴初位能成正相關,且不論落下水滴質量大小為何,趨勢相似。
2. 分離水珠位能總和至多占落下水滴初位能約 20%,即落下水滴能量僅有少部分轉變為分離水珠位能。

4. 分離水珠位能和/原落下水珠位能(比值)

(1) 1滴質量=0.0385g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
分離水珠位能和÷ 水滴原位能	0.000	0.024	0.153	0.171	0.135	0.110	0.104	0.095	0.100	0.079
標準差	0.000	0.004	0.049	0.033	0.030	0.017	0.017	0.015	0.012	0.005

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
分離水珠位能和÷ 水滴原位能	0.090	0.086	0.078	0.080	0.066	0.050	0.051	0.056	0.069	0.051
標準差	0.015	0.010	0.012	0.006	0.012	0.005	0.006	0.008	0.011	0.014

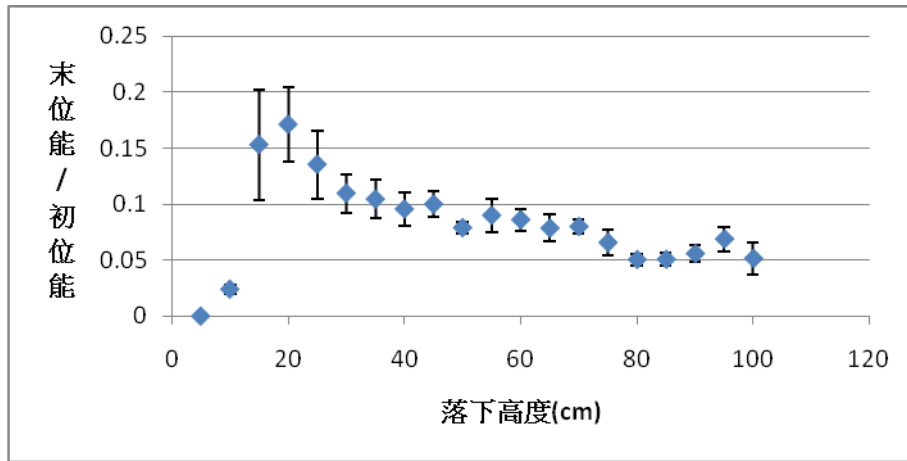


圖 8

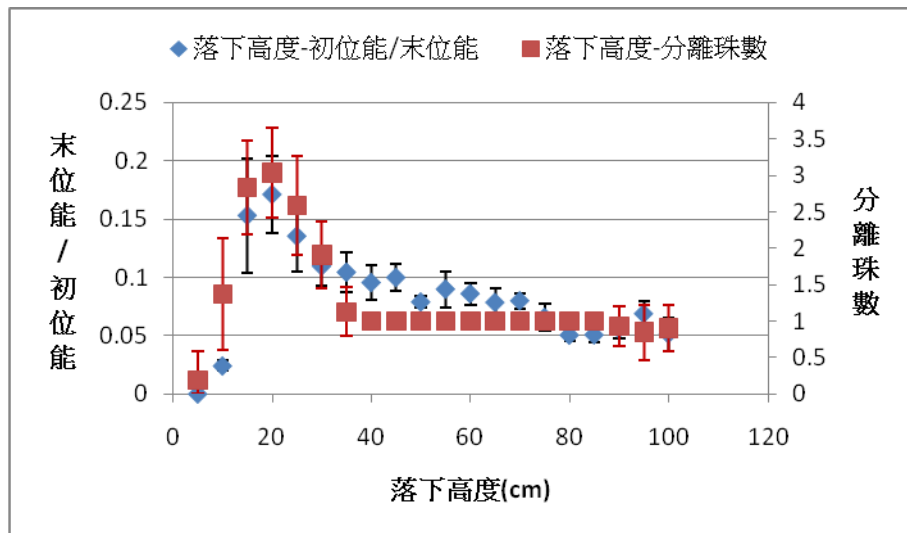


圖 9

**圖 8 說明:**

1. 落下高度 5cm~20cm 時，分離水珠位能和/原落下水珠位能（比值）隨水滴落下高度增加而增加。
2. 標準差最大值（變異度最大）約和比值最大值同時出現。
3. 最大值（落下高度 20cm，曲線最高點）後，比值逐漸下降，並趨於平緩。

**圖 9 說明:**

將圖 2（落下高度-分離珠數）、圖 8（落下高度-比值）曲線合併比較，可發現兩者趨勢十分吻合。

(2) 1 滴質量=0.0193g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
分離水珠位能和÷ 水滴原位能	0.000	0.000	0.000	0.015	0.084	0.120	0.068	0.053	0.057	0.049
標準差	0.000	0.000	0.000	0.004	0.048	0.026	0.02	0.019	0.009	0.007

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
分離水珠位能和÷ 水滴原位能	0.060	0.051	0.060	0.071	0.050	0.058	0.065	0.072	0.056	0.062
標準差	0.007	0.003	0.008	0.011	0.006	0.006	0.018	0.011	0.006	0.006

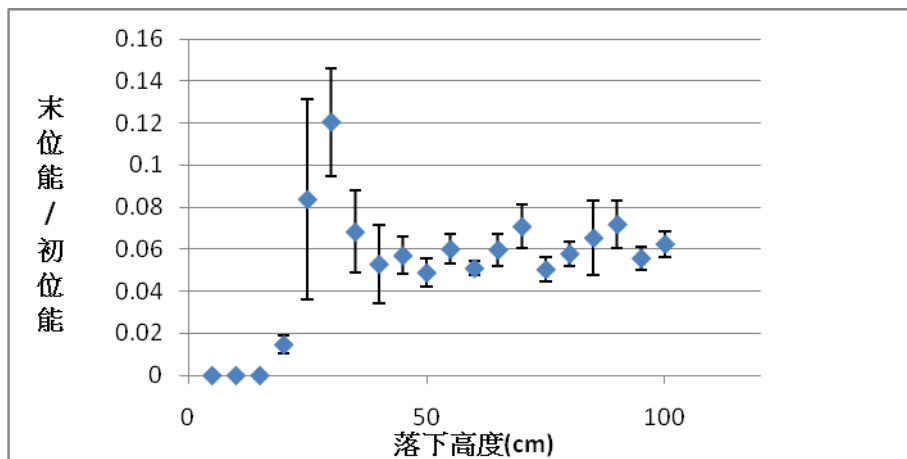


圖 10



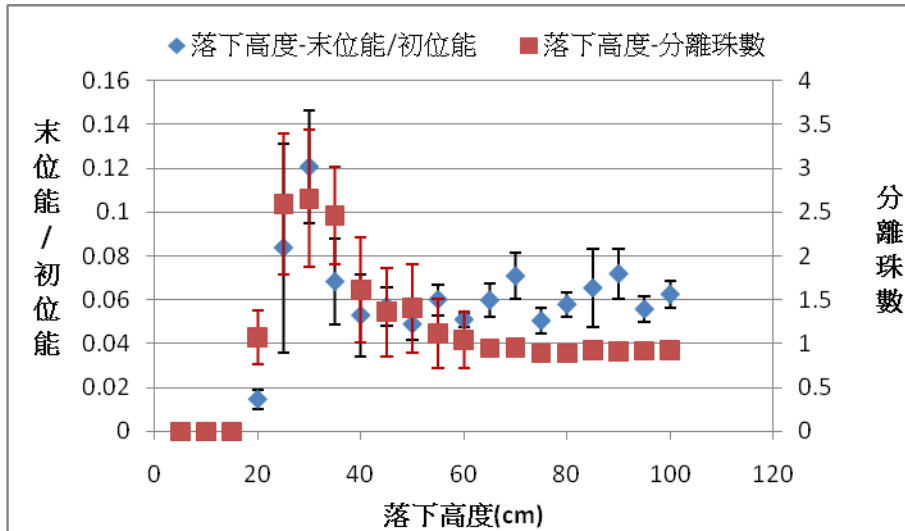


圖 11

**圖 10 說明:**

變化情形和圖 8 相似

1. 落下高度 5cm~30cm 時, 比值隨水滴落下高度增加而增加。
2. 標準差最大值 (變異度最大) 約和比值最大值同時出現。
3. 最大值 (落下高度 30cm, 曲線最高點) 後, 比值逐漸下降, 並趨於平緩。

**圖 11 說明:**

將圖 3 (落下高度-分離珠數)、圖 10 (落下高度-比值) 曲線合併比較, 可發現兩者趨勢十分吻合。

(3) 1 滴質量 = 0.0087g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
分離水珠位能和 ÷ 水滴原位能	0.000	0.000	0.000	0.016	0.038	0.030	0.027	0.067	0.058	0.078
標準差	0.000	0.000	0.000	0.006	0.016	0.005	0.004	0.019	0.008	0.033

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
分離水珠位能和 ÷ 水滴原位能	0.096	0.096	0.084	0.073	0.066	0.047	0.051	0.032	0.037	0.036
標準差	0.029	0.012	0.031	0.026	0.018	0.008	0.004	0.009	0.004	0.003

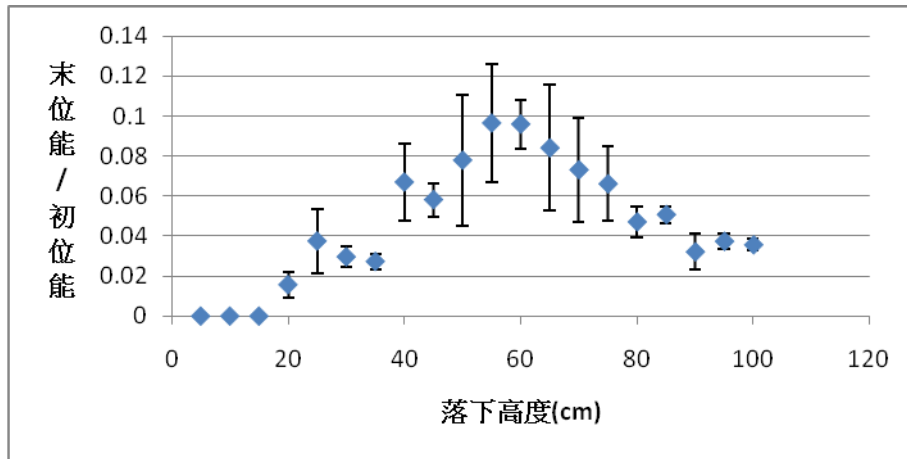


圖 12

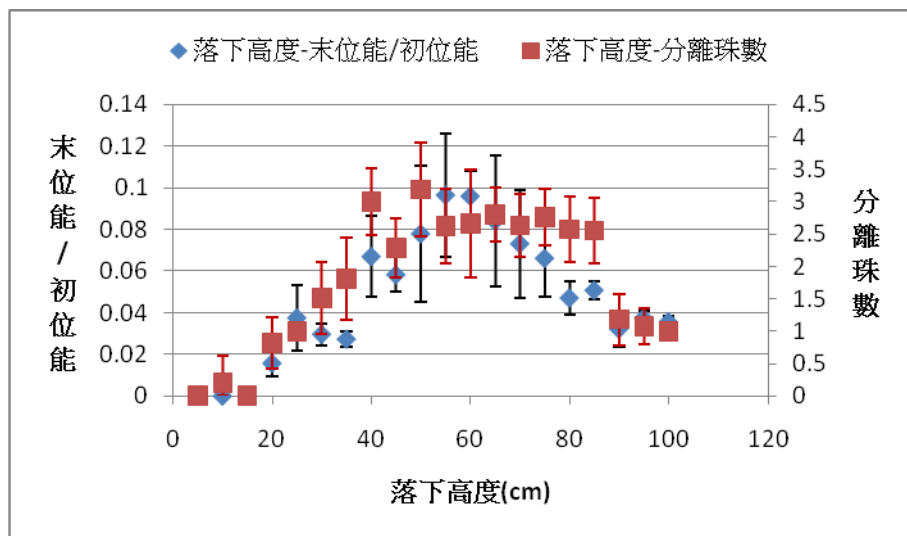


圖 13

**圖 12 說明:**

變化情形和圖 8、圖 10 相似

1. 落下高度 5cm~50cm 時，比值隨水滴落下高度增加而增加。
2. 標準差最大值（變異度最大）約和比值最大值同時出現。
3. 最大值（落下高度 50cm，曲線最高點）之後，比值逐漸下降。

**圖 13 說明:**

將圖 4（落下高度-分離珠數）、圖 12（落下高度-比值）曲線合併比較，可發現兩者趨勢十分吻合。

(4) 落下水滴位能-初位能/末位能關係圖

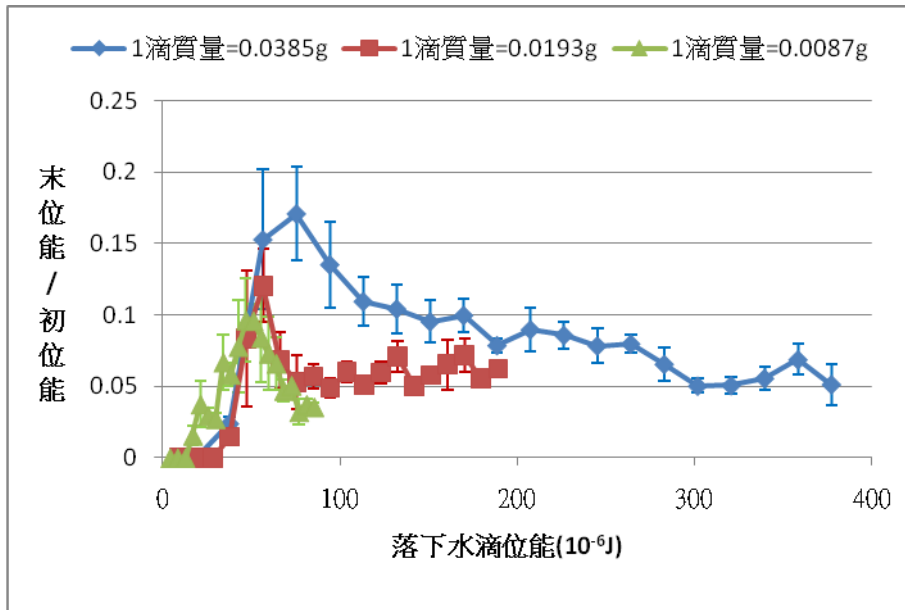


圖 14

**圖 14 說明:**

由於圖 8、圖 10、圖 12 皆有相似的趨勢，且三者操縱變因為落下水滴質量，於是將水珠質量列入考慮（即將橫軸單位改為位能），把圖 8、圖 10、圖 12 之曲線並列比較，可以發現大致的趨勢：

1. 在初位能/末位能（比值）最大值之前，比值隨水滴落下位能增加而增加。
2. 標準差最大值（變異度最大）約和比值最大值同時出現。
3. 最大值之後，比值逐漸下降，變異度也降低，並趨於平緩。
4. 綜合以上，可以歸納：落下水滴初位能存在臨界範圍（約  $4.6 \times 10^{-5} \sim 7.5 \times 10^{-5} \text{ J}$ ），在臨界範圍內，比值最大。

#### 4. 凹洞深度

(1) 1 滴質量= 0.0385g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
凹洞深度(cm)	0.71	0.78	0.75	0.81	0.75	0.83	0.96	0.97	1.01	0.98
標準差	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.04	0.05	0.04	0.03

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
凹洞深度(cm)	1.03	0.95	0.97	0.96	0.99	0.96	0.93	1.01	1.07	1.10
標準差	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01	0.07	0.06	0.05

(2) 1 滴質量= 0.0193g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
凹洞深度(cm)	0.43	0.61	0.63	0.58	0.90	0.72	0.71	0.69	0.73	0.74
標準差	0.05	0.07	0.04	0.04	0.02	0.02	0.06	0.03	0.04	0.06

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
凹洞深度(cm)	0.76	0.72	0.81	0.77	0.76	0.83	0.87	0.80	0.86	0.76
標準差	0.03	0.02	0.01	0.02	0.05	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03

(3) 1 滴質量= 0.0087g

水滴落下高度(cm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
凹洞深度(cm)	0.34	0.48	0.49	0.50	0.54	0.55	0.59	0.64	0.67	0.64
標準差	0.01	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01

水滴落下高度(cm)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
凹洞深度(cm)	0.62	0.67	0.61	0.66	0.65	0.67	0.67	0.69	0.71	0.73
標準差	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.02

(4) 落下高度-凹洞深度關係圖

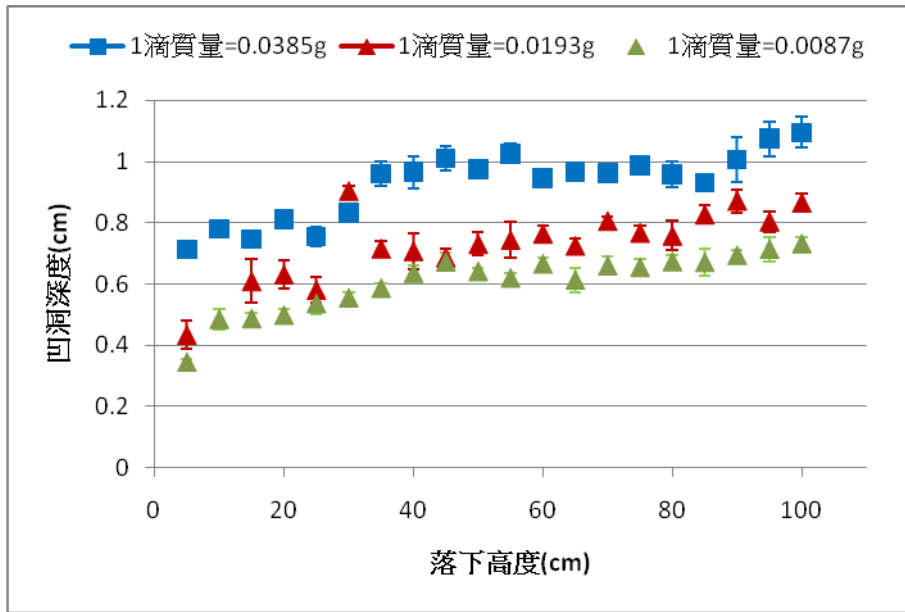


圖 15

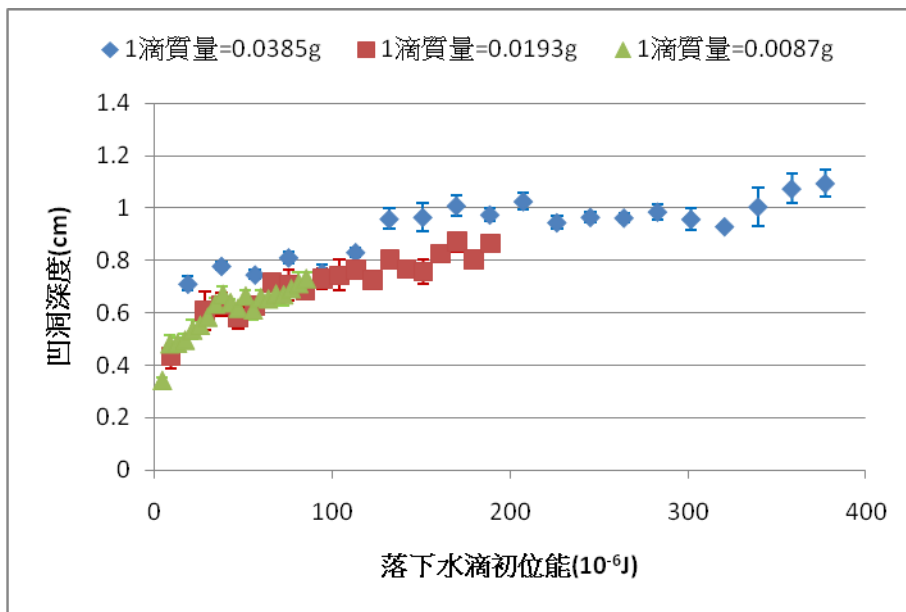


圖 16

**圖 15 說明:**

1. 凹洞深度大致和落下高度成正相關。
2. 相同高度下，質量越大，凹洞越深。
3. 當落下水滴質量=0.0385g 時，落下高度 > 70cm 的情況下，凹洞深度會逐漸逼近 1cm。

**圖 16 說明:**

1. 凹洞深度大致和落下水滴初位能成正相關，且不論落下水滴質量為何，趨勢相似。

(二)實驗二、水深對反彈現象的影響

1. 水深 0.5cm－水滴落下高度與分離珠數關係

水滴落下高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
分離珠數平均值	0.00	0.75	1.07	1.50	1.58	2.26	3.19	2.25	3.04	3.23
標準差	0.00	0.46	0.26	0.52	0.67	0.45	1.28	0.87	0.82	1.01

2. 水深 1cm－水滴落下高度與分離珠數關係

水滴落下高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
分離珠數平均值	0.10	4.67	4.50	3.80	3.91	3.33	2.75	6.41	7.88	8.88
標準差	0.32	0.71	0.69	0.63	0.94	0.65	0.45	1.37	1.59	1.09

3. 水深 1.5cm－水滴落下高度與分離珠數關係

水滴落下高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
分離珠數平均值	1.80	2.94	2.18	1.82	1.08	1.15	2.56	1.93	2.00	1.67
標準差	0.63	0.77	0.66	0.40	0.28	0.38	0.53	0.54	0.49	0.49

4. 水深 2cm－水滴落下高度與分離珠數關係

水滴落下高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
分離珠數平均值	1.15	2.71	2.10	1.36	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
標準差	0.38	0.61	0.45	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5. 水深 3cm－水滴落下高度與分離珠數關係

水滴落下高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
分離珠數平均值	1.33	2.70	2.18	1.50	1.50	1.38	1.00	1.00	1.00	1.00
標準差	0.65	0.48	0.40	0.52	0.52	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00

6. 水深 5cm－水滴落下高度與分離珠數關係

水滴落下高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
分離珠數平均值	1.36	3.03	1.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	0.9
標準差	0.76	0.61	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.31

7. 水深 7cm－水滴落下高度與分離珠數關係

水滴落下高度(cm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
分離珠數平均值	1.08	3.17	2.43	1.67	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
標準差	0.28	0.39	0.51	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

8. 不同水深的落下高度-分離珠數圖

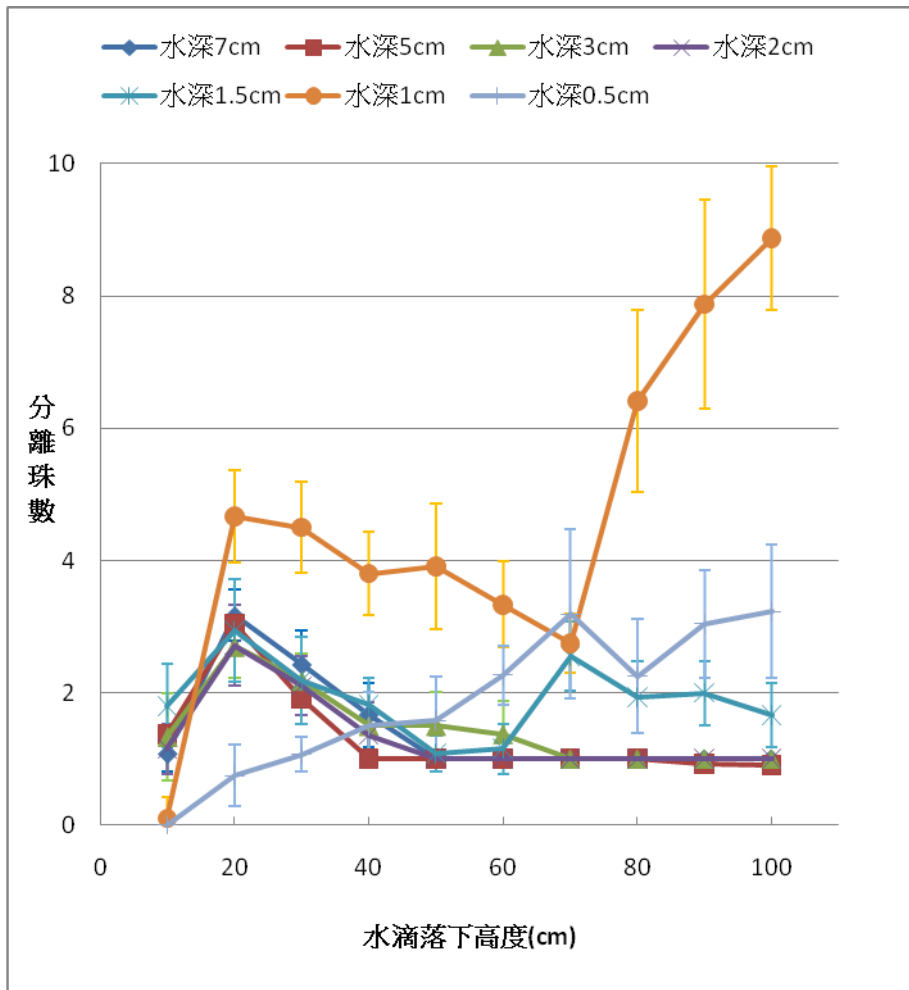


圖 17

圖 17 說明:

1. 水深 2cm、3cm、5cm、7cm 的曲線大致相似（稱之為一般情形）；而水深 0.5cm、1cm、1.5cm 的變化趨勢則有明顯的區別。
2. 當水深 0.5cm 時：分離珠數大致隨高度增加。
3. 水深 1cm 的條件下，當水滴落下高度 < 70cm 時，分離珠數的變化情形約和一般情形相似，但數值明顯偏大，也未收斂至 1；落下高度 > 70cm 時，分離珠數劇增，可達 10 多顆。
4. 當水深 1.5cm 時：水滴落下高度 < 70cm 時，分離珠數曲線同一般情形；但落下高度 > 70cm 時，分離珠數較一般情形多，且無明顯的增加或減少趨勢。

## 陸、討論

### 一、水滴反彈過程探討：

(一) 水滴落下過程中，位能減少，動能增加，撞擊液面時，抵抗浮力，形成一個凹洞。

(二) 由於凹洞底部和周圍相同垂直高度的水壓力不同，四周的水會迅速向中間聚積，在原凹洞位置的中央匯集成一水柱，並逐漸上升。

(三) 水柱逐漸變細、變長，表面積逐漸增大，為了降低整體的表面能，水柱上端形成並分離出水珠。

(四) 分離水珠再度落回水面，形成凹洞；反彈過程將重複，直至能量不足。



### 二、落下水滴位能對反彈現象的影響探討：

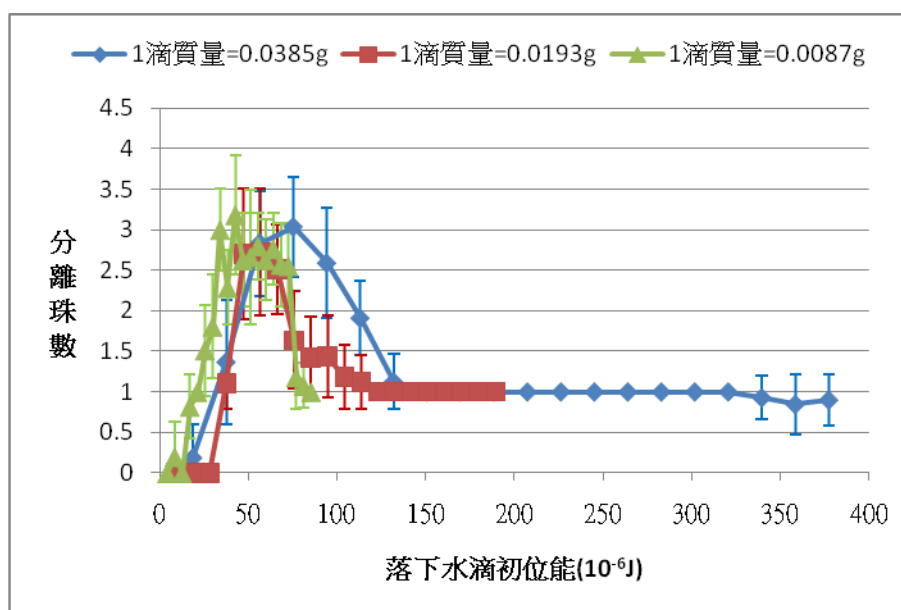


圖 5

(一) 水滴原位能越大，落水面時的動能也就越大；水滴撞擊液面時的動能越大，撞出的凹洞也越大。因此，所形成的水柱便隨高度增加逐漸變長、變細。

(二) 水柱的長、寬是影響分離珠數的重要條件：水柱越長、越細，表面積也會越大，為了降低整體的表面能，便形成較多水珠。



- (三) 一旦水滴撞擊液面時的動能超過臨界範圍，撞出的凹洞越大，所形成的水柱開始加粗；水柱越粗，表面積也會越小，不須分離出水珠以降低表面能。
- (四) 因此，可歸納：落下水滴位能在臨界範圍內時，分離水珠可達最大值。

### 三、水深對反彈現象的影響探討：

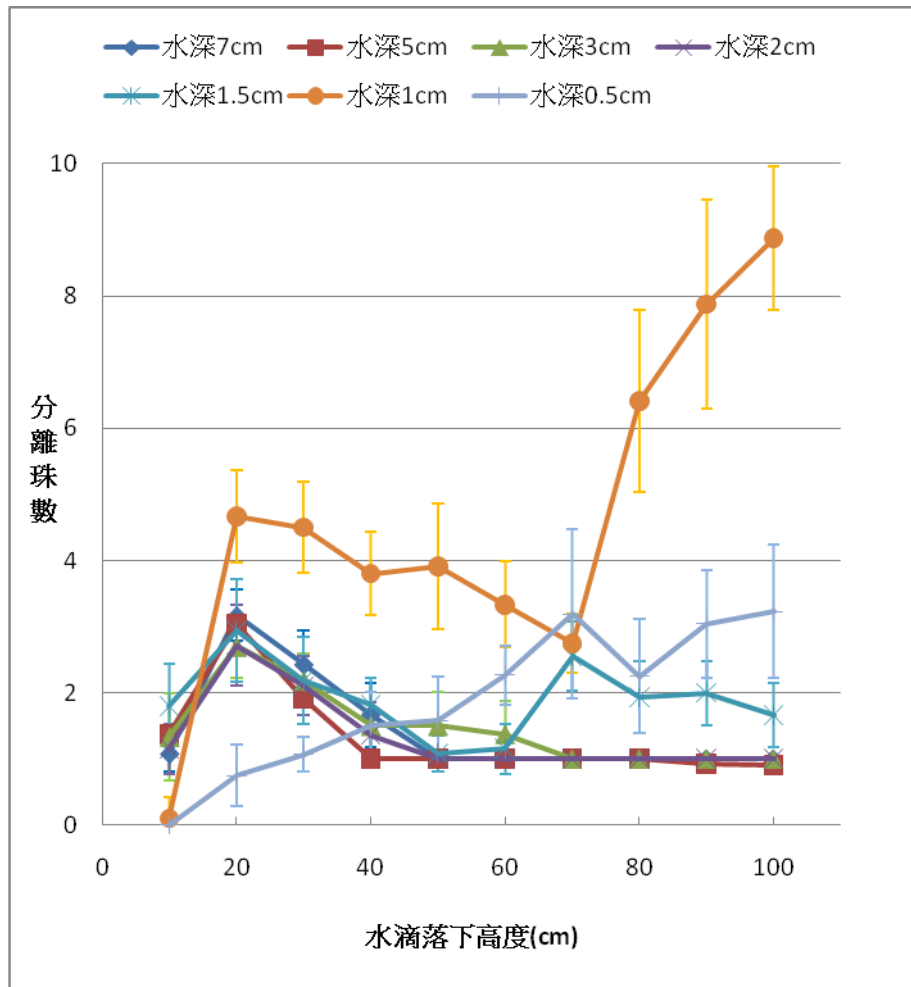


圖 17

由圖 17，可發現：水深 2cm、3cm、5cm、7cm 的曲線大致相似（稱之為一般情形）；而水深 0.5cm、1cm、1.5cm 的變化趨勢則有明顯的區別。

#### (一) 水深和分離珠數的關係：

##### 1. 從能量觀點探討：

當水深較深時，底部水所分散掉的能量較多，分離水珠所分配的能量相對較少。也就是說：自能量觀點探討，水深越深，不利於分離水珠形成。

##### 2. 從水量觀點探討：

當水深太淺時，沒有充足水量形成水柱及分離水珠。也就是說：自水量觀點探討，水深太淺，不利於分離水珠形成。

3. 於是，可歸納：水深為某一值時，分離水珠可獲得一定比例能量，且有足夠水量形成水柱，可出現最多的分離水珠。
4. 根據本實驗中的數據，水深 1cm 時，出現的分離珠數最多；因此，我們推測：在相同條件下，水深介於 0.5~1.5cm 之間，可出現最多的分離水珠。

(二)水深較淺時分離珠數變化探討：

1. 水深 1cm 時的曲線變化：

(1)水滴落下高度 < 70cm：

分離珠數變化趨勢與一般情形相似，但因水深較淺，落下水滴能量被底部的水吸收比例較少，液柱所獲得的能量相對較多，形成分離水珠較一般情形多。

(2)水滴落下高度 > 70cm：

落下水滴能量較大，但因為水深的限制，使凹洞底部直接接觸固體容器（參考圖 15：落下高度-凹洞深度關係圖，1 滴質量=0.0385g），產生類似彈性碰撞之現象，分離水珠再度增多，且達到本實驗的最大值。

2. 水深 1.5cm 的曲線變化：

(1)水滴落下高度 < 70cm 時：

分離珠數變化趨勢與一般情形相同。

(2)水滴落下高度 > 70cm 時：

因水深較淺，落下水滴能量被底部的水吸收比例較少，液柱獲得的能量相對較多，形成分離水珠較一般情形多。

3. 水深 0.5cm 的曲線變化：

(1) 因容器內水量過少，形成分離珠數較少。

(2) 由於在水深較深的條件下，凹洞深度皆 > 0.5cm（參考圖 15：落下高度-凹洞深度關係圖，1 滴質量=0.0385g），因此：水深 0.5cm 時，凹洞底部都會直接接觸固體容器，產生類似彈性碰撞之現象。於是，落下高度越高，能量越大，碰撞後分離水珠所獲得的能量也越大，可形成較多分離水珠。

四、 誤差來源

- (一) 反彈現象實與水滴撞擊液面時所帶動能較相關，但我們使用落下水滴初位能進行計算，未考慮落下時所受的阻力，造成誤差。
- (二) 影片解析度的限制，使畫面上的水珠邊界不夠明確，測量水珠半徑時便會產生一定程度的誤差。而當水珠體積越小時，相對誤差的影響會更明顯。

## 柒、結論

一、在實驗一的條件下，落下水珠位能約  $4.6 \times 10^{-5} \sim 7.5 \times 10^{-5}$  J 為一個臨界範圍：

(一) 當落下水滴位能  $<$  臨界範圍時，分離珠數隨水滴位能增加而增加。

(二) 當落下水滴位能介於臨界範圍時，分離珠數最多。

(三) 當落下水滴位能  $>$  臨界範圍時，分離珠數隨水滴位能增加而減少，曲線趨於平緩。

(四) 若能量足夠，可能出現無分離水珠的情形。

二、在實驗一的條件下，分離水珠位能和/原落下水珠位能（比值）存在極限值（約 10~18%）：

(一) 當原水滴的位能介於臨界範圍時，分離水珠可自原水滴獲得最大比例的能量。

(二) 無論原水滴的質量大小為何，分離水珠所佔有的位能比值並不會超過此極限值。

(三) 由圖 9、圖 11、圖 13，可歸納：當分離水珠所獲得位能比值達最大值時，分離珠數最多。

(四) 於是，我們可以推論：當原水滴位能約為  $4.6 \times 10^{-5} \sim 7.5 \times 10^{-5}$  (J) 時，比值最大、分離珠數最多。水深 2cm、3cm、5cm、7cm 的曲線大致相似（稱之為一般情形）；而水深 0.5cm、1cm、1.5cm 的變化趨勢則有明顯的區別：

三、水深 2cm、3cm、5cm、7cm 的曲線大致相似（稱之為一般情形）；而水深 0.5cm、1cm、1.5cm 的變化趨勢則有明顯區別：

(一) 當水深為某一值時，分離珠數可獲得一定比例能量、且有足夠水量形成水柱，因此可出現最多的分離珠數。根據本實驗中的數據，水深 1cm 時，出現的分離珠數較其他條件多；因此，我們推測：在相同條件下，水深介於 0.5~1.5cm 之間，可出現最多的分離珠數。

(二) 水深 1cm 時，在水滴落下高度  $> 70$ cm 的條件下，分離珠數再次增多，且達到本實驗的最大值，為分離水珠形成的最佳條件。

## 二、未來展望

一、探討壓克力水箱邊界大小對液滴滴落液面反彈現象的影響。

二、探討不同表面張力值對液滴滴落液面反彈現象的影響。

## 三、參考資料及其他

一、David Halliday, 物理第八版（上）, 台北縣, 全華圖書, 第 14 章, 2009 年

二、物質科學物理篇（下）, 龍騰出版

## 【評語】 040112

1. 以高速攝影方式觀測現象並探討，現象清晰詳盡，值得肯定。
2. 作品中以高度、位能作為分析單位，來探討分離數目雖然貼切，但在環境(容器)條件的探討與描述不夠詳盡，可進一步由此探究。
3. 可加強水珠彈起的力學分析與水波在水柱，水柱中所扮演的角色，應可讓作品更加具體出色。。