

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080111

看誰最神「氣」？—探討影響水火箭拋射距離  
之研究

學校名稱：臺中市北屯區軍功國民小學

作者：	指導老師：
小五 陳奕安	林家元
小五 張 鈺	蕭惠尤
小五 王宥鈞	
小五 賴妍蓁	
小五 陳冠宇	
小五 韓丞妍	

關鍵詞：水火箭、反作用力、壓力

## 摘要

探討如何將水火箭拋射得更遠的試驗之後，本研究的結論：1.水火箭瓶內要裝水。至於裝入水與空氣的比例，依本研究而言是水量 120ml/空氣 480ml(1：4)，水火箭被拋射的最遠。2.裝入含洗衣粉濃度越低的水，水火箭被拋射的距離較近；含洗衣粉濃度越高，水火箭被拋射的距離較遠。3.瓶內壓力越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內壓力越高，水火箭被拋射的距離較遠。4.瓶內的水溫越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內的水溫越高，水火箭被拋射的距離較遠。

## 壹、研究動機

還記得我們剛上一年級時，有一群六年級學長姐正在玩一種叫水火箭的科學玩具，看著它忽近忽遠的飛行落地，讓我們用驚呼尖叫聲烙印了對水火箭滿滿的好奇，經過了三年，我們已經知道了水火箭的原理是利用作用力與反作用力而升空的，如何讓水火箭被拋射的最遠這個問題，應是觸動我們想要研究的最大動力，這時我們腦中突然靈光乍現閃過了一絲的念頭，是瓶內空氣與水的比例？或是利用洗衣粉改變水的流動性？還是改變瓶內壓力磅數？抑是改變瓶內水溫都會影響到水火箭的拋射距離？於是這一系列的實驗就在大家的腦力激盪後展開。

## 貳、研究目的

- 一、探討改變瓶內空氣與水的比例與拋射距離的關係。
- 二、探討利用洗衣粉改變水的流動性與拋射距離的關係。
- 三、探討改變瓶內壓力與拋射距離的關係。
- 四、探討改變瓶內水溫與拋射距離的關係。

## 參、研究設備器材

### 一、實驗材料：

(一)水火箭 (二)水火箭發射器 (三)打氣筒 (四)洗衣粉

### 二、測量工具：

(一)量杯 (二)手機距離測量 APP (三)磅秤 (四)壓力測量錶 (五)溫度計

## 肆、研究過程與步驟

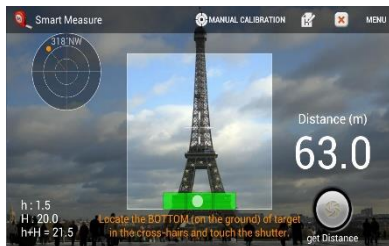
### 一、探討改變瓶內空氣與水的比例與拋射距離的關係

#### (一)實驗變因：

1. 操縱變因：瓶內空氣與水的比例。
2. 控制變因：瓶內的壓力（30 磅）、水的溫度（攝氏 20 度）、發射器的角度（45 度）、固定的位置。
3. 應變變因：水火箭發射的距離。

#### (二)研究流程：

1. 上網搜集相關資料。
2. 以量杯測量及調整水量分別是水量 0ml/空氣 600 ml、水量 120ml/空氣 480ml、水量 240ml/空氣 360ml、水量 360ml/空氣 240ml、水量 480ml/空氣 120ml、水量 600ml/空氣 0ml 等六種空氣與水的比例。
3. 每種水量進行五次測試，測試間隔 2 分鐘沖洗及擦拭排除水量不一致的因素。
4. 以手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離、輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形。



APP(Smart Measure)



APP(VidAnalysis)

5.針對實驗結果做討論。

## 二、探討利用洗衣粉改變水的流動性與拋射距離的關係

(一)實驗變因：

- 1.操縱變因：加入洗衣粉和水配置成濃度為 5%、10%、15%、20%、25%，。
- 2.控制變因：瓶內的壓力（30psi）、水的溫度（攝氏 20 度）、發射器的角度（45 度）、固定的位置。
- 3.應變變因：水火箭發射的距離。

(二)研究流程：

- 1.上網搜集相關資料。
- 2.以量杯量取水量 100ml 分別倒入洗衣粉 5 克、10 克、15 克、20 克、25 克配製成濃度為 5%、10%、15%、20%、25%。
- 3.每種水量進行五次測試，測試間隔 2 分鐘沖洗及擦拭排除水量不一致的因素。
- 4.以手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離、輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形。



APP(Smart Measure)



APP(VidAnalysis)

5.針對實驗結果做討論。

## 三、探討改變瓶內壓力與拋射距離的關係

(一)實驗變因：

- 1.操縱變因：不同的壓力分別是 30psi、32psi、34psi、36psi、38psi。
- 2.控制變因：瓶內空氣與水的比例(水量 120ml/空氣 480ml)、水的溫度（攝氏 20 度）、發射器的角度（45 度）、固定的位置。

3.應變變因：水火箭發射的距離。

(二)研究流程：

- 1.上網搜集相關資料。
- 2.以壓力測量錶，測量出不同的壓力分別是 30psi、32psi、34psi、36psi、38psi 等五種磅數。
- 3.每種磅數進行五次測試，測試間隔 2 分鐘沖洗及擦拭排除水量不一致的因素。
- 4.以手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離、輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形。



APP(Smart Measure)

APP(VidAnalysis)

5.針對實驗結果做討論。

#### 四、探討改變瓶內水溫與拋射距離的關係

(一)實驗變因：

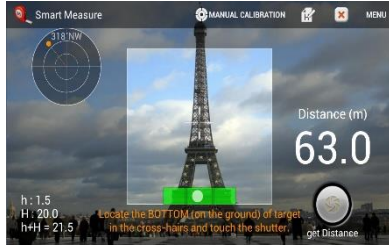
- 1.操縱變因：水的溫度。
- 2.控制變因：瓶內的壓力（30psi）、發射器的角度（45度）、固定的位置、瓶內空氣與水的比例(水量 120ml/空氣 480ml)。
- 3.應變變因：水火箭發射的距離。

(二)研究流程：

- 1.上網搜集相關資料。
- 2.量取不同的水溫分別是 20°C、25°C、30°C、35°C、40°C 等五種溫度裝入瓶中。
- 3.每種水溫進行五次測試，測試間隔 2 分鐘沖洗及擦拭排除水量不一致的

因素。

4.以手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離、輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形。



APP(Smart Measure)

APP(VidAnalysis)

5.針對實驗結果做討論。

## 伍、研究結果

### 一、探討改變瓶內空氣與水的比例與拋射距離的關係

分別紀錄以量杯測量及調整水量分別是水量 0ml/空氣 600 ml、水量 120ml/空氣 480ml、水量 240ml/空氣 360ml、水量 360ml/空氣 240ml、水量 480ml/空氣 120ml、水量 600ml/空氣 0ml 等六種空氣與水的比例經由手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離並輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形，如表一：

表一：探討瓶內的空氣與拋射遠近的關係

單位：公尺

	空氣 600ml 水 0ml	空氣 480ml 水 120ml	空氣 360ml 水 240ml	空氣 240ml 水 360ml	空氣 120ml 水 480ml	空氣 0ml 水 600ml
第 1 次	12.0	16.4	13.8	9.8	6.8	3.6
第 2 次	12.4	16.0	14.0	10.0	7.2	3.8
第 3 次	12.4	16.4	14.0	10.2	7.4	4.0
第 4 次	12.6	16.6	14.4	10.4	7.8	4.2
第 5 次	12.8	16.6	14.6	10.4	8.0	4.2
平均值	12.4	16.4	14.2	10.2	7.4	4.0

## 二、探討利用洗衣粉改變水的流動性與拋射距離的關係

分別紀錄加入洗衣粉和水配置成濃度為 5%、10%、15%、20%、25% 的數

據經由手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離並輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形，如表二。

表二：探討水和多少洗衣粉濃度的流動性最好 單位：公尺

	水 100ml 洗衣粉 5g	水 100ml 洗衣粉 10g	水 100ml 洗衣粉 15g	水 100ml 洗衣粉 20g	水 100ml 洗衣粉 25g
第一次	15.2	15.6	16.5	16.7	17.3
第二次	15.4	15.8	16.2	17.0	17.4
第三次	15.5	15.9	16.0	16.8	17.5
第四次	15.3	15.8	16.4	16.6	17.4
第五次	15.2	15.7	16.2	17.1	17.6
平均	15.3	15.8	16.3	16.8	17.4

結果： $(\text{水 } 100\text{ml 洗衣粉 } 25\text{g}) > (\text{水 } 100\text{ml 洗衣粉 } 20\text{g}) > (\text{水 } 100\text{ml 洗衣粉 } 15\text{g}) > (\text{水 } 100\text{ml 洗衣粉 } 10\text{g}) > (\text{水 } 100\text{ml 洗衣粉 } 5\text{g})$

## 三、探討改變瓶內壓力與拋射距離的關係

分別紀錄五個不同的壓力分別是、30psi 32psi、34psi、36psi、38psi 的數據經由手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離並輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形，如表三：

表三：探討瓶內壓力和拋射遠近的關係

單位：公尺

	瓶內壓力 30psi	瓶內壓力 32psi	瓶內壓力 34psi	瓶內壓力 36psi	瓶內壓力 38psi
第一次	8.2	8.4	8.8	9.3	9.8
第二次	8.0	8.5	8.9	9.4	9.9
第三次	8.2	8.4	8.8	9.4	9.9
第四次	8.3	8.5	8.8	9.3	9.8
第五次	8.3	8.5	8.9	9.4	9.8
平均	8.2	8.5	8.8	9.4	9.8

結果： $(\text{瓶內壓力 } 38\text{psi}) > (\text{瓶內壓力 } 36\text{psi}) > (\text{瓶內壓力 } 34\text{psi}) > (\text{瓶內壓力 } 32\text{psi}) > (\text{瓶內壓力 } 30\text{psi})$

#### 四、探討改變瓶內水溫與拋射距離的關係

分別紀錄五個 20°C、25°C、30°C、35°C、40°C 的水溫發射的數據經由手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離並輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形，如表四：

表四、探討水溫與拋射距離的關係

單位：公尺

	瓶內水溫 20°C	瓶內水溫 25°C	瓶內水溫 30°C	瓶內水溫 35°C	瓶內水溫 40°C
第一次	8.2	8.6	9.2	9.8	10.2
第二次	8.0	8.7	9.3	9.7	10.3
第三次	8.2	8.6	9.3	9.7	10.3
第四次	8.3	8.7	9.2	9.8	10.3
第五次	8.3	8.7	9.3	9.7	10.2
平均	8.2	8.7	9.3	9.7	10.3



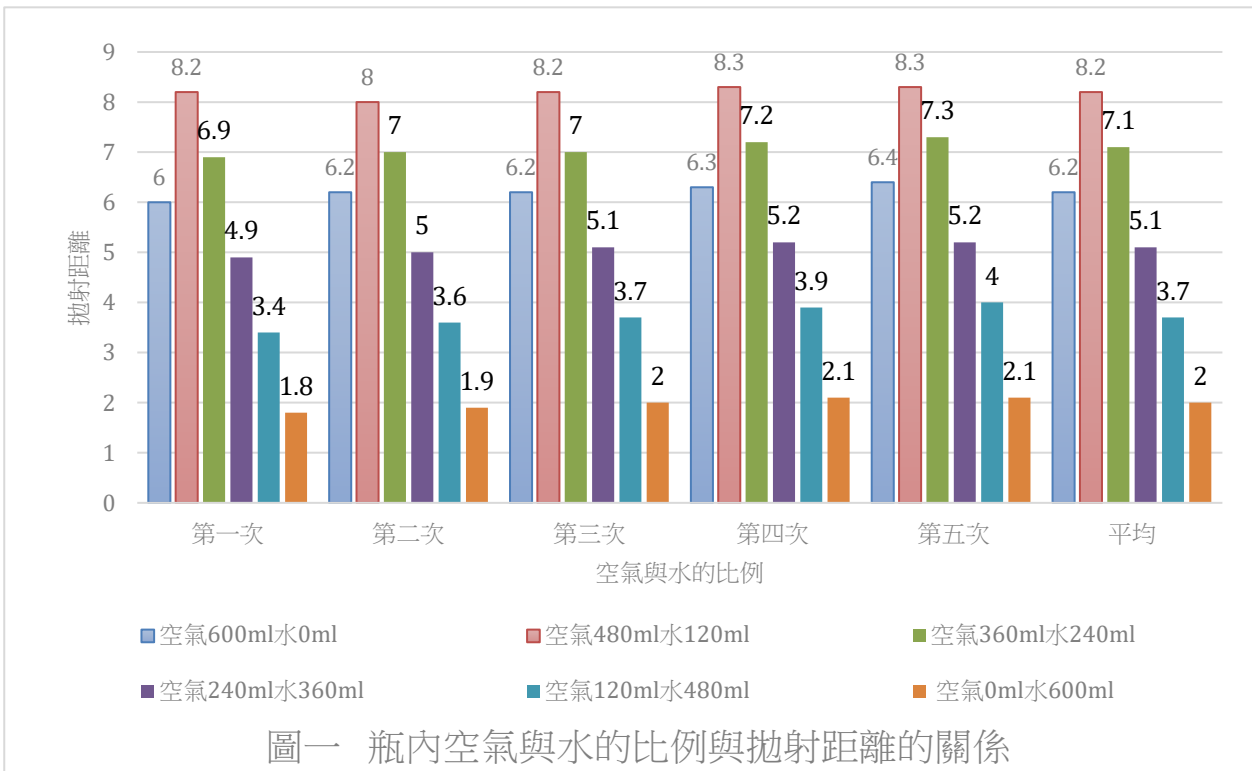
結果：(瓶內水溫 40°C) > (瓶內水溫 35°C) > (瓶內水溫 30°C) > (瓶內水溫 25°C) > (瓶內水溫 20°C)



### 陸、討論

#### 一、探討瓶內空氣與水的比例與拋射距離的關係

(一)由表一數據整理繪製成圖一：

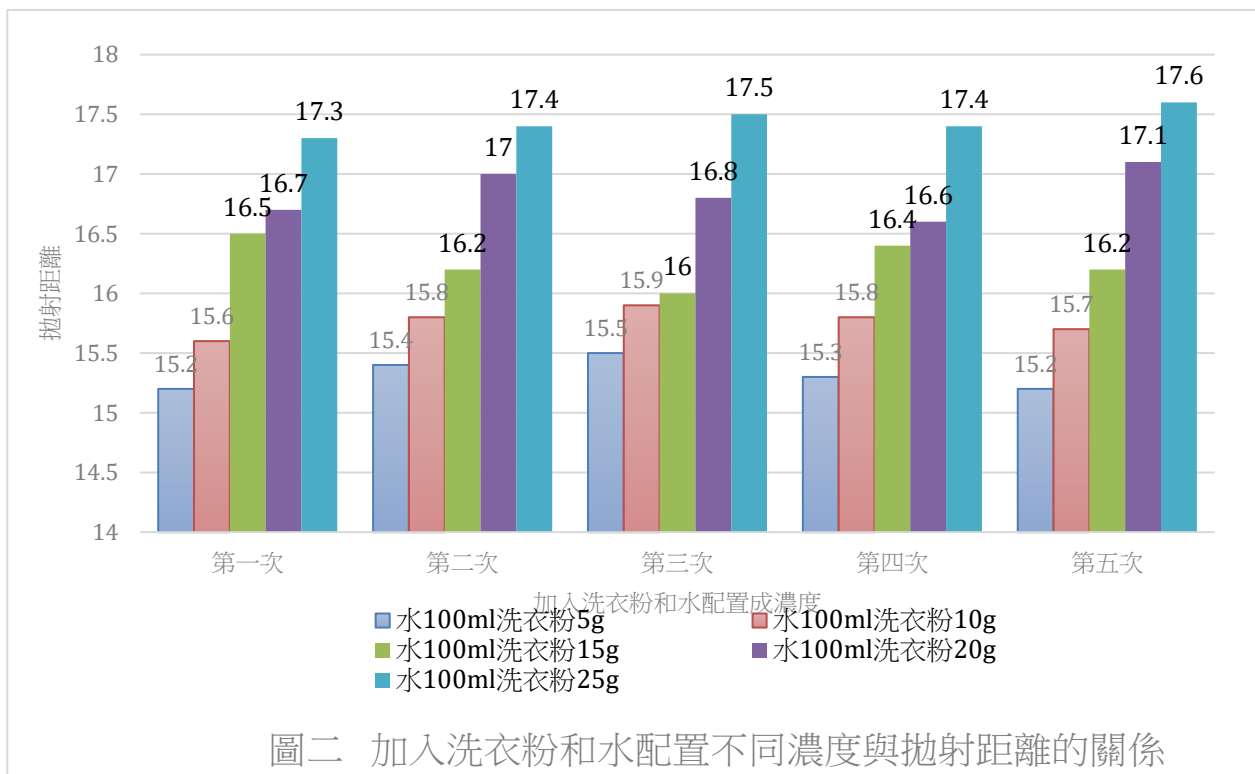


(二)由圖一分析：

- 1.空瓶的水火箭被拋射的距離介於(空氣 360ml 水 240ml)和(空氣 240ml 水 360ml)之間。
- 2.空氣比例越少，水火箭被拋射的距離較近；空氣比例越多，水火箭被拋射的距離較遠。
- 3.固定瓶內壓力為 30psi，觀察到瓶內裝越多水，瓶內的水尚未向後噴射完畢即落地，換句話說，瓶內殘留的水越多，因受地心引力作用影響而拋射距離會越來越近。
- 4.打入相同瓶內壓力為 30psi，雖然瓶內裝入越多水向後噴射力道越大，但拋射的距離卻越來越近。

## 二、探討利用洗衣粉改變水的流動性與拋射距離的關係

(一)由表二數據整理繪製成圖二：



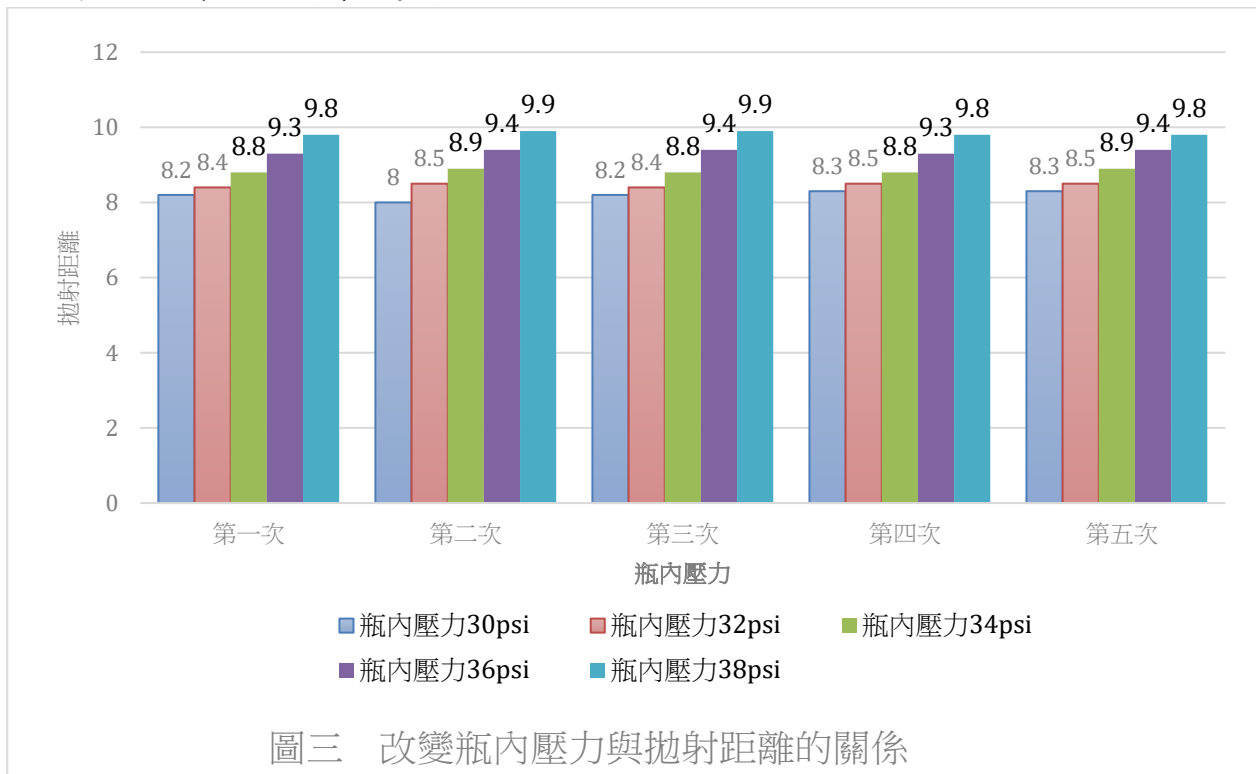
(二)由圖二分析：

- 1.裝入含洗衣粉濃度越低的水，水火箭被拋射的距離較近；含洗衣粉濃度越高的水，水火箭被拋射的距離較遠。

- 2.觀察到瓶內水含洗衣粉濃度越高，水向後噴射力道越大，水火箭被拋射的距離較遠。
- 3.經由附屬實驗所得資料：洗衣粉會破壞水的表面張力，換句話說，洗衣粉會讓水分子間的內聚力降低而大大的提高水和其他物體間的附著力，因此，我們看到高濃度的洗衣粉水，在打入相同瓶內壓力為 30psi 時，水向後噴射力道越大。
- 4.水向後噴射力道越大，其所產生的反作用力也越大，水火箭被拋射的距離就越遠。

### 三、探討改變瓶內壓力與拋射距離的關係

(一)由表三數據整理繪製成圖三：



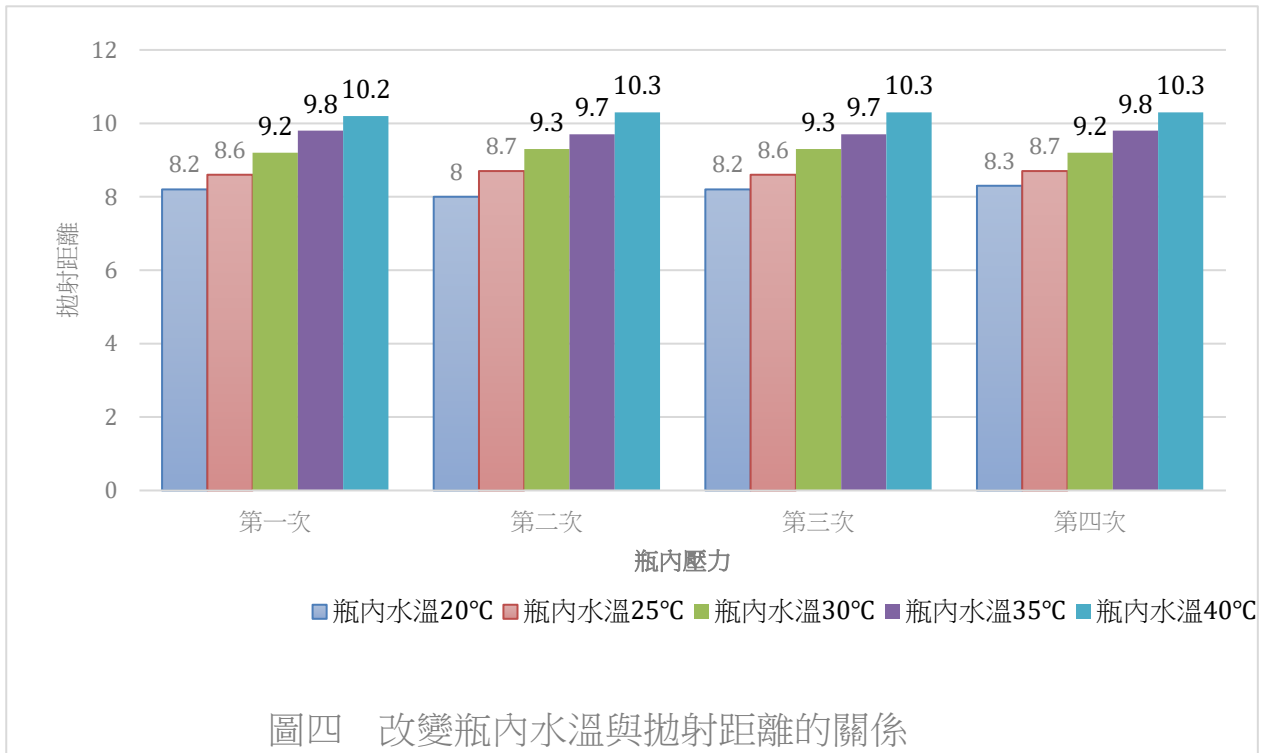
(二)由圖三分析：

- 1.瓶內壓力越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內壓力越高，水火箭被拋射的距離較遠。
- 2.因水火箭的瓶身是 600ml，當打入壓力達 40psi 時，在實驗過程中發生了洩氣的狀況，因此，我們推測：不同容積的瓶身都有它可承受的最大臨

界壓力(幸好沒有發生爆瓶)。

#### 四、探討水溫與拋射距離的關係

(一)由表四數據整理成圖四：



(二)由圖四分析：

- 1.瓶內的水溫越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內的水溫越高，水火箭被拋射的距離較遠。
- 2.觀察到瓶內的水溫越高，水向後噴射力道越大，水火箭被拋射的距離較遠。
- 3.水溫越高會加大瓶內的壓力，換句話說，溫度越高會讓水分子間的內聚力變小而降低表面張力，增加溫水的蒸發，造成瓶內壓力變大(原瓶內480ml空氣壓力+打入30psi空氣壓力+該水溫所產生的蒸氣壓)。因此，我們看到水溫越高，在打入相同瓶內壓力為30psi時，水向後噴射力道越大。
- 4.水向後噴射力道越大，其所產生的反作用力也越大，水火箭被拋射的距離就越遠。

## 柒、結論

- 一、水火箭瓶內要裝水。至於裝入水與空氣的比例，依本研究而言是水量 120ml/空氣 480ml(1：4)，水火箭被拋射的最遠。當然這是否是最佳比例，因我們的操縱變因沒分得很細微，在此不做推論。
  - 二、裝入含洗衣粉濃度越低的水，水火箭被拋射的距離較近；含洗衣粉濃度越高的水，水火箭被拋射的距離較遠。
  - 三、瓶內壓力越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內壓力越高，水火箭被拋射的距離較遠。
  - 四、瓶內的水溫越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內的水溫越高，水火箭被拋射的距離較遠。
- 綜上：水火箭飛行時間越久，水火箭被拋射的距離越遠。

## 捌、建議

- 一、依本研究而言是水量 120ml/空氣 480ml(1：4)，水火箭被拋射的最遠。建議後續研究可將操縱變因細分或只針對此操縱變因另單獨研究。
- 二、裝入含洗衣粉濃度的水，在實驗過程容易造成研究場域濕滑而發生危險，建議後續研究可另覓活性界面劑。
- 三、建議後續研究針對改變壓力，務必清楚不同容積的瓶身都有它可承受的最大臨界壓力，避免發生爆瓶而發生危險。
- 四、瓶內的水溫越高，更要注意瓶身材質的耐熱性及因高溫水在實驗過程中易發生危險。

## 參、參考資料

- 一、<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-008.html> 國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系科學遊戲實驗室。
- 二、手機測量器 Smart Measure. VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)
- 三、<https://waterrocket.pixnet.net/blog/post/25416172>-水火箭的原理。
- 四、<https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/03/2016032819244288.pdf>

## 【評語】 080111

1. 本實驗能在各種條件下多次發射水火箭，以量測射程分佈，但是在數據作圖分析時，宜注意加入誤差棒，以便清楚討論在各變數下的趨勢。
2. 本實驗內容為一項普遍性之科學活動，宜參考以往的相關作品，比較與本實驗結果之差異，以作為修正或討論的依據。
3. 部分實驗結果之結論宜注意適用範圍，以避免可能的誤解，例如，一定水量下改變瓶內壓力，得到結果為：壓力越高，射程越遠，但是本實驗限於裝置漏氣問題，僅加壓到 38 psi，可以改善裝置，探究更高壓力的範圍，或是論述可能的結果。

# 摘要

探討如何將水火箭拋射得更遠的試驗之後，本研究的結論：1.水火箭瓶內要裝水。至於裝入水與空氣的比例，依本研究而言是水量 120ml/空氣 480ml(1 : 4)，水火箭被拋射的最遠。2.裝入含洗衣粉濃度越低的水，水火箭被拋射的距離較近；含洗衣粉濃度越高，水火箭被拋射的距離較遠。3.瓶內壓力越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內壓力越高，水火箭被拋射的距離較遠。4.瓶內的水溫越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內的水溫越高，水火箭被拋射的距離較遠。

## 壹、研究動機

還記得我們剛上一年級時，有一群六年級學長姐正在玩一種叫水火箭的科學玩具，看著它忽近忽遠的飛行落地，讓我們用驚呼尖叫聲烙印了對水火箭滿滿的好奇，經過了三年，我們已經知道了水火箭的原理是利用作用力與反作用力而升空的，如何讓水火箭被拋射的最遠這個問題，應是觸動我們想要研究的最大動力，這時我們腦中突然靈光乍現閃過了一絲的念頭，是瓶內空氣與水的比例？或是利用洗衣粉改變水的流動性？還是改變瓶內壓力磅數？抑是改變瓶內水溫都會影響到水火箭的拋射距離？於是這一系列的實驗就在大家的腦力激盪後展開。

## 貳、研究目的

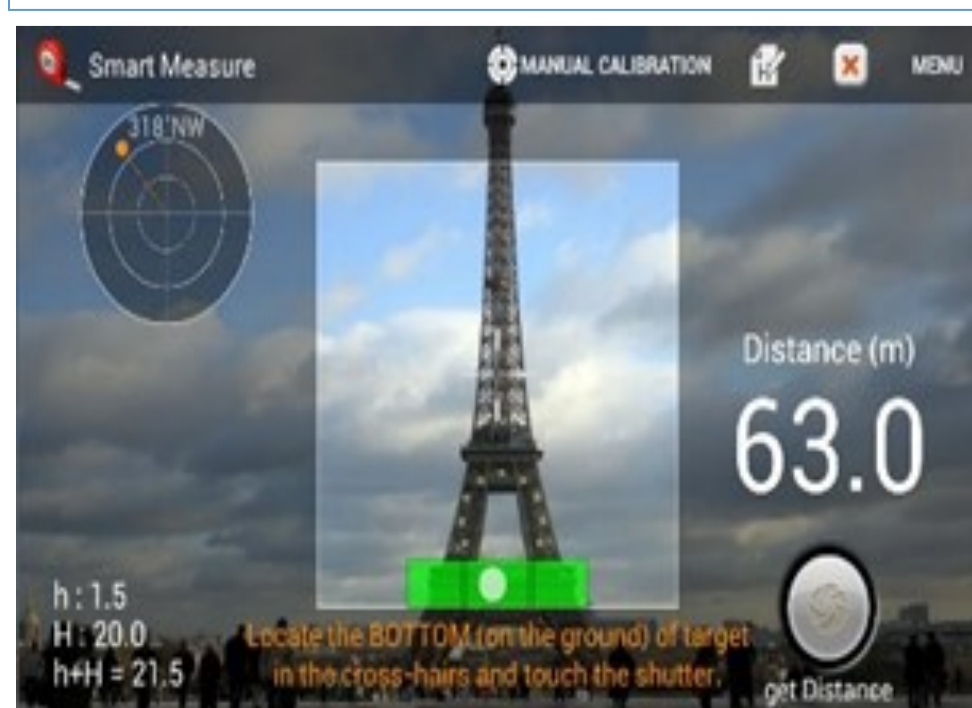
- 一、探討改變瓶內空氣與水的比例與拋射距離的關係。
- 二、探討利用洗衣粉改變水的流動性與拋射距離的關係。
- 三、探討改變瓶內壓力與拋射距離的關係。
- 四、探討改變瓶內水溫與拋射距離的關係。

## 參、研究設備器材

- 一、實驗材料：
  - (一)水火箭
  - (二)水火箭發射器
  - (三)打氣筒
  - (四)洗衣粉
- 二、測量工具：
  - (一)量杯
  - (二)手機距離測量 APP
  - (三)磅秤
  - (四)壓力測量錶
  - (五)溫度計

## 肆、研究過程與步驟

<p>一、探討改變瓶內空氣與水的比例與拋射距離的關係</p> <p>(一)實驗變因：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.操縱變因：瓶內空氣與水的比例。</li><li>2.控制變因：瓶內的壓力（30 磅）、水的溫度（攝氏 20 度）、發射器的角度（45 度）、固定的位置。</li><li>3.應變變因：水火箭發射的距離。</li></ol> <p>(二)研究流程：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.上網搜集相關資料。</li><li>2.以量杯測量及調整水量分別是水量 0ml/空氣 600 ml、水量 120ml/空氣 480ml、水量 240ml/空氣 360ml、水量 360ml/空氣 240ml、水量 480ml/空氣 120ml、水量 600ml/空氣 0ml 等六種空氣與水的比例。</li><li>3.每種水量進行五次測試，測試間隔 2 分鐘沖洗及擦拭排除水量不一致的因素。</li><li>4.以手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離、輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形。</li><li>5.針對實驗結果做討論。</li></ol>	<p>三、探討改變瓶內壓力與拋射距離的關係</p> <p>(一)實驗變因：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.操縱變因：不同的壓力分別是 30psi、32psi、34psi、36psi、38psi。</li><li>2.控制變因：瓶內空氣與水的比例(水量 120ml/空氣 480ml)、水的溫度（攝氏 20 度）、發射器的角度（45 度）、固定的位置。</li><li>3.應變變因：水火箭發射的距離。</li></ol> <p>(二)研究流程：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.上網搜集相關資料。</li><li>2.以壓力測量錶，測量出不同的壓力分別是 30psi、32psi、34psi、36psi、38psi 等五種磅數。</li><li>3.每種磅數進行五次測試，測試間隔 2 分鐘沖洗及擦拭排除水量不一致的因素。</li><li>4.以手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離、輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形。</li><li>5.針對實驗結果做討論。</li></ol>
<p>二、探討利用洗衣粉改變水的流動性與拋射距離的關係</p> <p>(一)實驗變因：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.操縱變因：加入洗衣粉和水配置成濃度為 5%、10%、15%、20%、25%。</li><li>2.控制變因：瓶內的壓力（30psi）、水的溫度（攝氏 20 度）、發射器的角度（45 度）、固定的位置。</li><li>3.應變變因：水火箭發射的距離。</li></ol> <p>(二)研究流程：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.上網搜集相關資料。</li><li>2.以量杯量取水量 100ml 分別倒入洗衣粉 5 克、10 克、15 克、20 克、25 克配製成濃度為 5%、10%、15%、20%、25%。</li><li>3.每種水量進行五次測試，測試間隔 2 分鐘沖洗及擦拭排除水量不一致的因素。</li><li>4.以手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離、輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形。</li><li>5.針對實驗結果做討論。</li></ol>	<p>四、探討改變瓶內水溫與拋射距離的關係</p> <p>(一)實驗變因：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.操縱變因：水的溫度。</li><li>2.控制變因：瓶內的壓力（30psi）、發射器的角度（45 度）、固定的位置、瓶內空氣與水的比例(水量 120ml/空氣 480ml)。</li><li>3.應變變因：水火箭發射的距離。</li></ol> <p>(二)研究流程：</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1.上網搜集相關資料。</li><li>2.量取不同的水溫分別是 20°C、25°C、30°C、35°C、40°C 等五種溫度裝入瓶中。</li><li>3.每種水溫進行五次測試，測試間隔 2 分鐘沖洗及擦拭排除水量不一致的因素。</li><li>4.以手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離、輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形。</li><li>5.針對實驗結果做討論。</li></ol>



Smart Measure is a tool in the 2nd set of the Smart Tools collection. This rangefinder (telemeter) measures the distance and height of a target using trigonometry. Usage is simple : Stand up and press the shutter. The important point is that you must aim your camera at the GROUND, NOT the object. (i.e. In order to measure the distance from someone, aim at his shoes.) After pressing the height button, you can measure your friend's height. If it is not accurate, please read the instructions and see checklist diagram in my blog. You can calibrate this app with calibrate menu for yourself.



VidAnalysis is a multipurpose tool: In this app measurement, physics and the actual math behind it are combined. For example you can film the free fall of a small ball or a pendulum experiment with the camera of your smartphone or tablet. Next you analyze the video by marking the object you want the motion to be tracked in every frame of the video. With this information the app creates a time-x-distance-, time-y-distance-, x-distance-y-distance-diagram and adds all values to a list. You can also add your own function to the measured values into the diagrams.

## 伍、研究結果

### 一、探討改變瓶內空氣與水的比例與拋射距離的關係

分別紀錄以量杯測量及調整水量分別是水量 0ml/空氣 600 ml、水量 120ml/空氣 480ml、水量 240ml/空氣 360ml、水量 360ml/空氣 240ml、水量 480ml/空氣 120ml、水量 600ml/空氣 0ml 等六種空氣與水的比例經由手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離並輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形，如表一：

表一：探討瓶內的空氣與拋射遠近的關係 單位：公尺

	空氣 600ml 水 0ml	空氣 480ml 水 120ml	空氣 360ml 水 240ml	空氣 240ml 水 360ml	空氣 120ml 水 480ml	空氣 0ml 水 600ml
第 1 次	12.0	16.4	13.8	9.8	6.8	3.6
第 2 次	12.4	16.0	14.0	10.0	7.2	3.8
第 3 次	12.4	16.4	14.0	10.2	7.4	4.0
第 4 次	12.6	16.6	14.4	10.4	7.8	4.2
第 5 次	12.8	16.6	14.6	10.4	8.0	4.2
平均值	12.4	16.4	14.2	10.2	7.4	4.0

結果：(空氣 480ml 水 120ml) > (空氣 360ml 水 240ml) > (空氣 600ml 水 0ml) > (空氣 240ml 水 360ml) > (空氣 0ml 水 600ml)

### 二、探討利用洗衣粉改變水的流動性與拋射距離的關係

分別紀錄加入洗衣粉和水配置成濃度為 5%、10%、15%、20%、25% 的數據經由手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離並輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形，如表二。

表二：探討水和多少洗衣粉濃度的流動性最好 單位：公尺

	水 100ml 洗衣粉 5g	水 100ml 洗衣粉 10g	水 100ml 洗衣粉 15g	水 100ml 洗衣粉 20g	水 100ml 洗衣粉 25g
第 1 次	15.2	15.6	16.5	16.7	17.3
第 2 次	15.4	15.8	16.2	17.0	17.4
第 3 次	15.5	15.9	16.0	16.8	17.5
第 4 次	15.3	15.8	16.4	16.6	17.4
第 5 次	15.2	15.7	16.2	17.1	17.6
平均	15.3	15.8	16.3	16.8	17.4

結果：(水 100ml 洗衣粉 25g) > (水 100ml 洗衣粉 20g) > (水 100ml 洗衣粉 15g) > (水 100ml 洗衣粉 10g) > (水 100ml 洗衣粉 5g)



### 三、探討改變瓶內壓力與拋射距離的關係

分別紀錄五個不同的壓力分別是、30psi 32psi、34psi、36psi、38psi 的數據經由手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離並輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形，如表三：

表三：探討瓶內壓力和拋射遠近的關係 單位：公尺

	瓶內壓力 30psi	瓶內壓力 32psi	瓶內壓力 34psi	瓶內壓力 36psi	瓶內壓力 38psi
第 1 次	8.2	8.4	8.8	9.3	9.8
第 2 次	8.0	8.5	8.9	9.4	9.9
第 3 次	8.2	8.4	8.8	9.4	9.9
第 4 次	8.3	8.5	8.8	9.3	9.8
第 5 次	8.3	8.5	8.9	9.4	9.8
平均	8.2	8.5	8.8	9.4	9.8

結果：(瓶內壓力 38psi) > (瓶內壓力 36psi) > (瓶內壓力 34psi) > (瓶內壓力 32psi) > (瓶內壓力 30psi)

### 四、探討改變瓶內水溫與拋射距離的關係

分別紀錄五個 20°C、25°C、30°C、35°C、40°C 的水溫發射的數據經由手機距離測量 APP(Smart Measure)測量水平拋射距離並輔以高速攝影紀錄全程拋射路徑再用 VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)來分析水平拋射距離情形，如表四：

表四：探討水溫與拋射距離的關係 單位：公尺

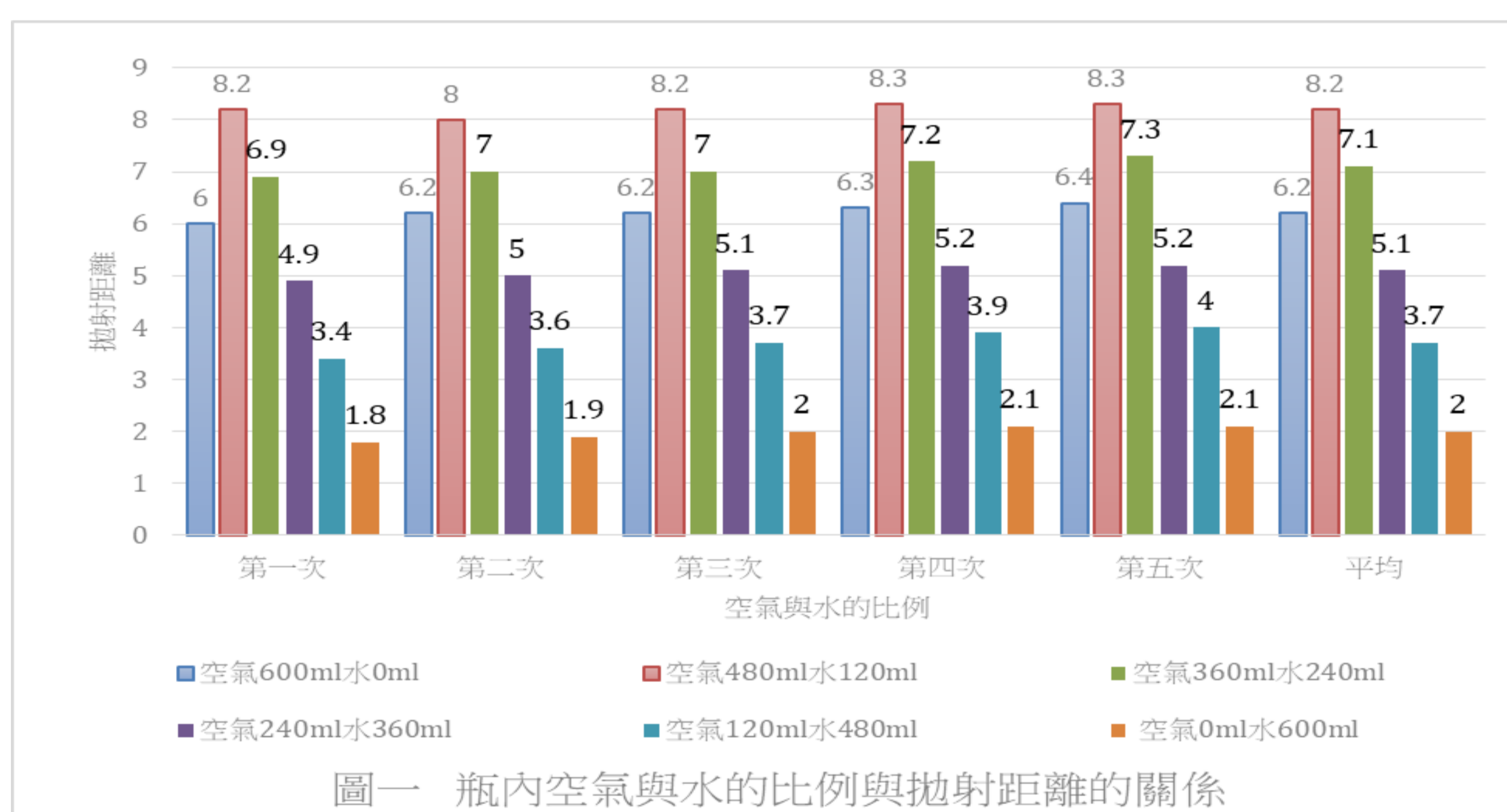
	瓶內水溫 20°C	瓶內水溫 25°C	瓶內水溫 30°C	瓶內水溫 35°C	瓶內水溫 40°C
第 1 次	8.2	8.6	9.2	9.8	10.2
第 2 次	8.0	8.7	9.3	9.7	10.3
第 3 次	8.2	8.6	9.3	9.7	10.3
第 4 次	8.3	8.7	9.2	9.8	10.3
第 5 次	8.3	8.7	9.3	9.7	10.2
平均	8.2	8.7	9.3	9.7	10.3

結果：(瓶內水溫 40°C) > (瓶內水溫 35°C) > (瓶內水溫 30°C) > (瓶內水溫 25°C) > (瓶內水溫 20°C)

## 陸、討論

### 一、探討瓶內空氣與水的比例與拋射距離的關係

(一)由表一數據整理繪製成圖一：

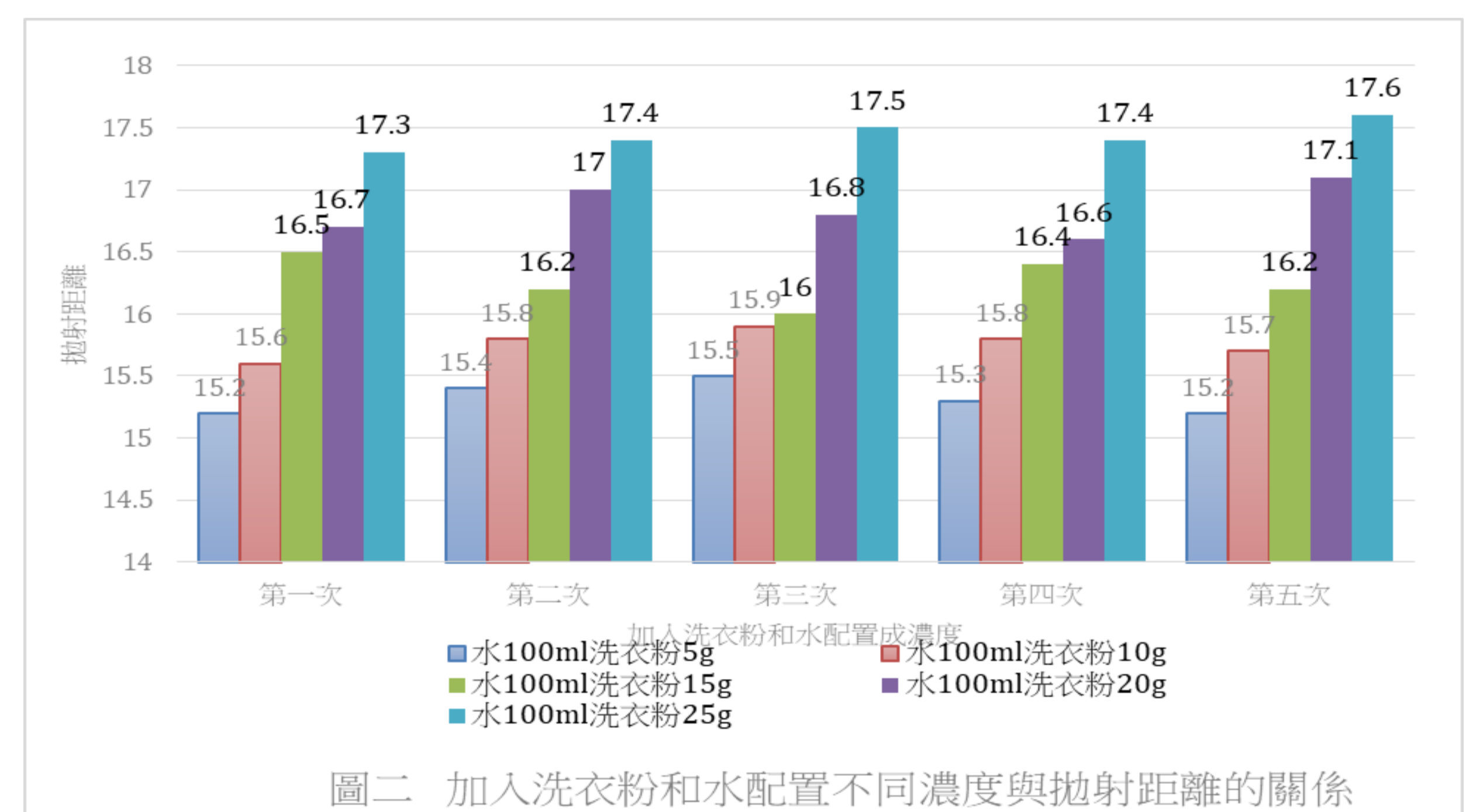


(二)由圖一分析：

- 1.空瓶的水火箭被拋射的距離介於(空氣 360ml 水 240ml)和(空氣 240ml 水 360ml)之間。
- 2.空氣比例越少，水火箭被拋射的距離較近；空氣比例越多，水火箭被拋射的距離較遠。
- 3.固定瓶內壓力為 30psi，觀察到瓶內裝越多水，瓶內的水尚未向後噴射完畢即落地，換句話說，瓶內殘留的水越多，因受地心引力作用影響而拋射距離會越來越近。
- 4.打入相同瓶內壓力為 30psi，雖然瓶內裝入越多水向後噴射力道越大，但拋射的距離卻越來越近。

### 二、探討利用洗衣粉改變水的流動性與拋射距離的關係

(一)由表二數據整理繪製成圖二：



(二)由圖二分析：

- 1.裝入含洗衣粉濃度越低的水，水火箭被拋射的距離較近；含洗衣粉濃度越高的水，水火箭被拋射的距離較遠。
- 2.觀察到瓶內水含洗衣粉濃度越高，水向後噴射力道越大，水火箭被拋射的距離較遠。
- 3.經由附屬實驗所得資料：洗衣粉會破壞水的表面張力，換句話說，洗衣粉會讓水分子間的內聚力降低而大大的提高水和其他物體間的附著力，因此，我們看到高濃度的洗衣粉水，在打入相同瓶內壓力為 30psi 時，水向後噴射力道越大。
- 4.水向後噴射力道越大，其所產生的反作用力也越大，水火箭被拋射的距離就越遠。

①水 100ml 洗衣粉 5g →5%  
45 滴水即溢出



②水 100ml 洗衣粉 10g →10%  
39 滴水即溢出



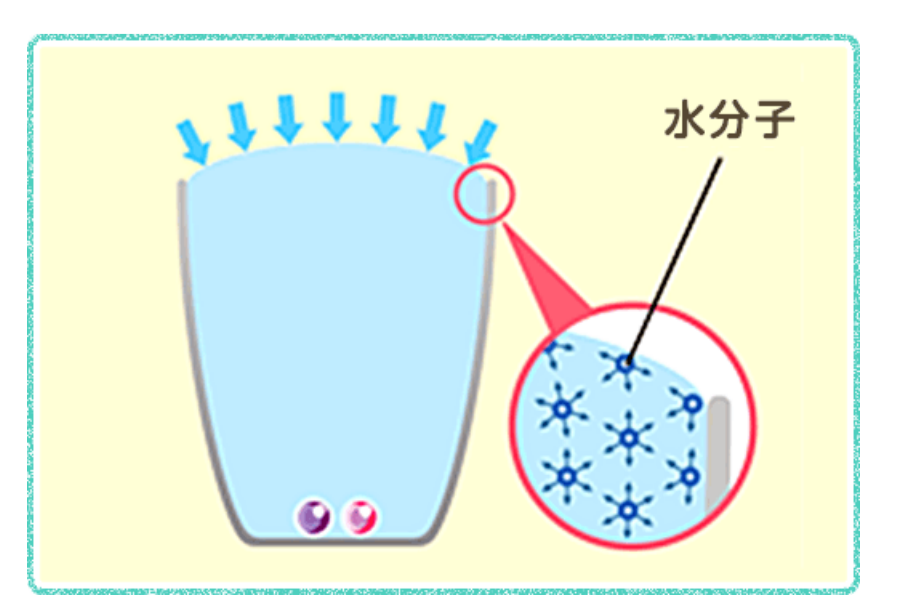
③水 100ml 洗衣粉 15g →15%  
35 滴水即溢出



④水 100ml 洗衣粉 20g →20%  
29 滴水即溢出



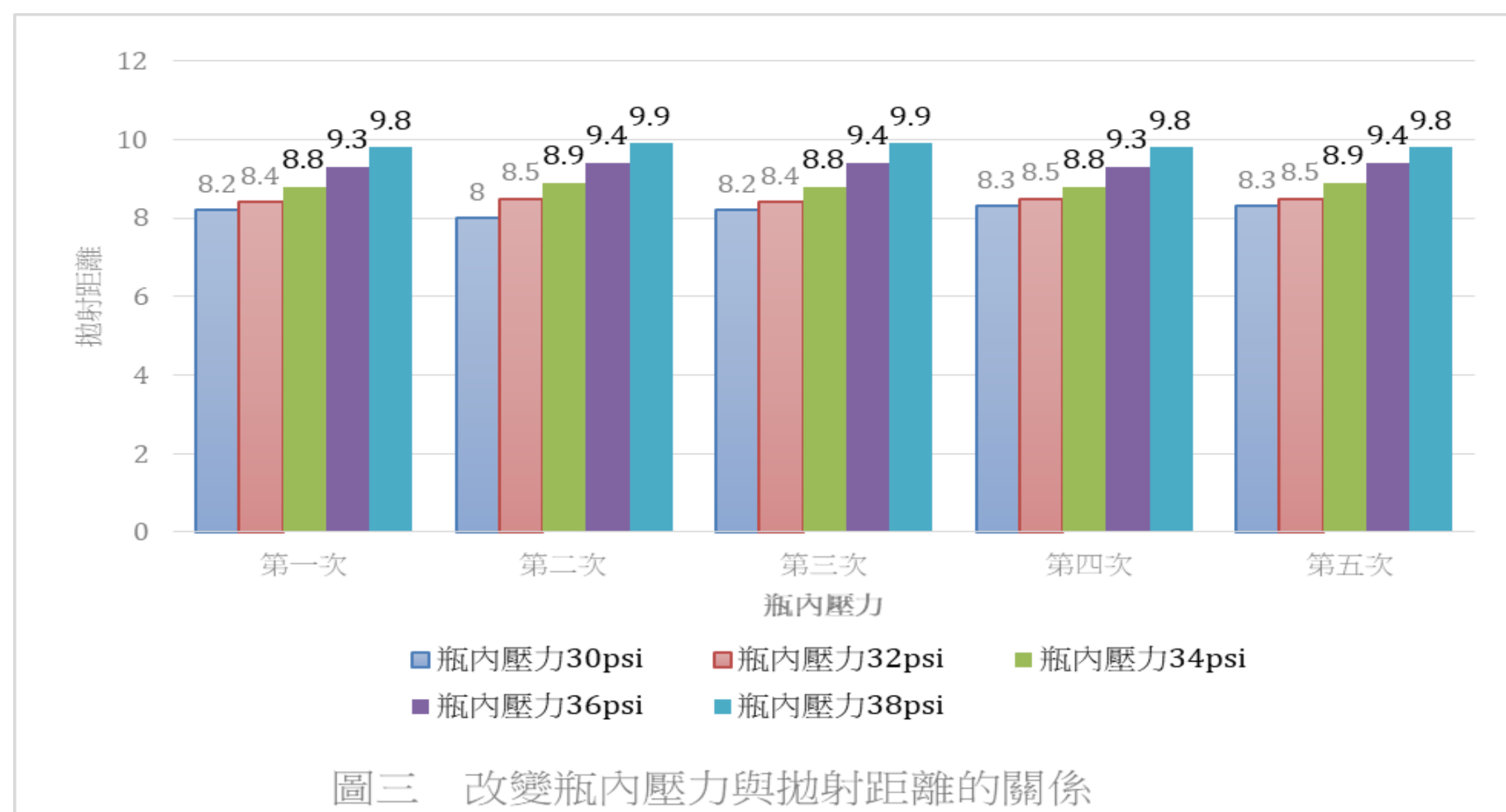
⑤水 100ml 洗衣粉 25g →25%  
23 滴水即溢出





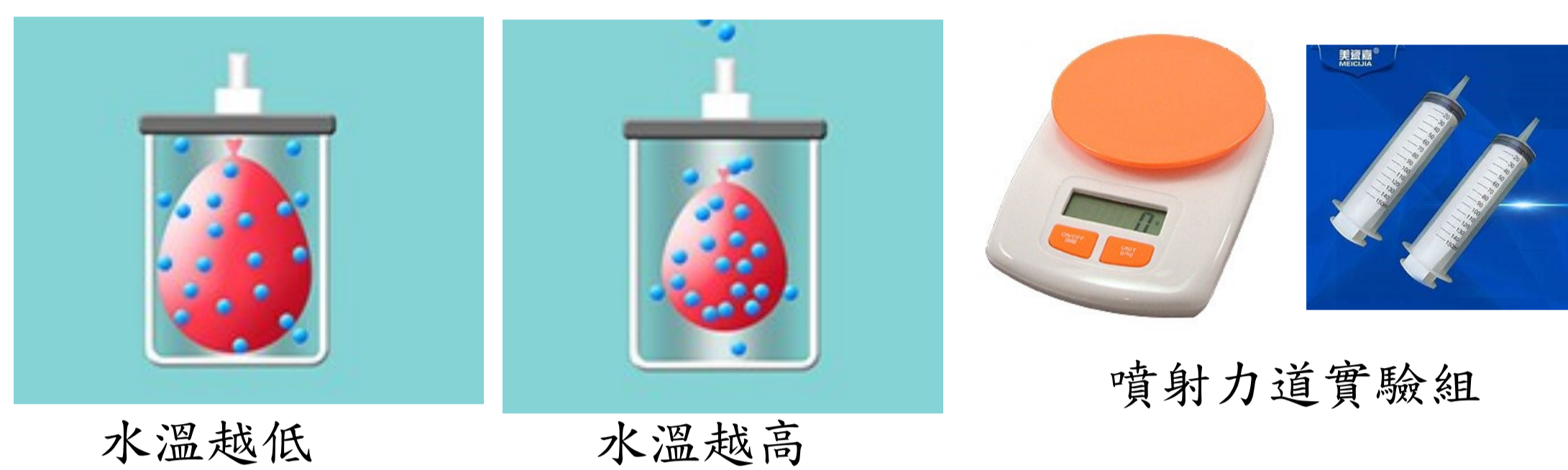
### 三、探討改變瓶內壓力與拋射距離的關係

(一)由表三數據整理繪製成圖三：



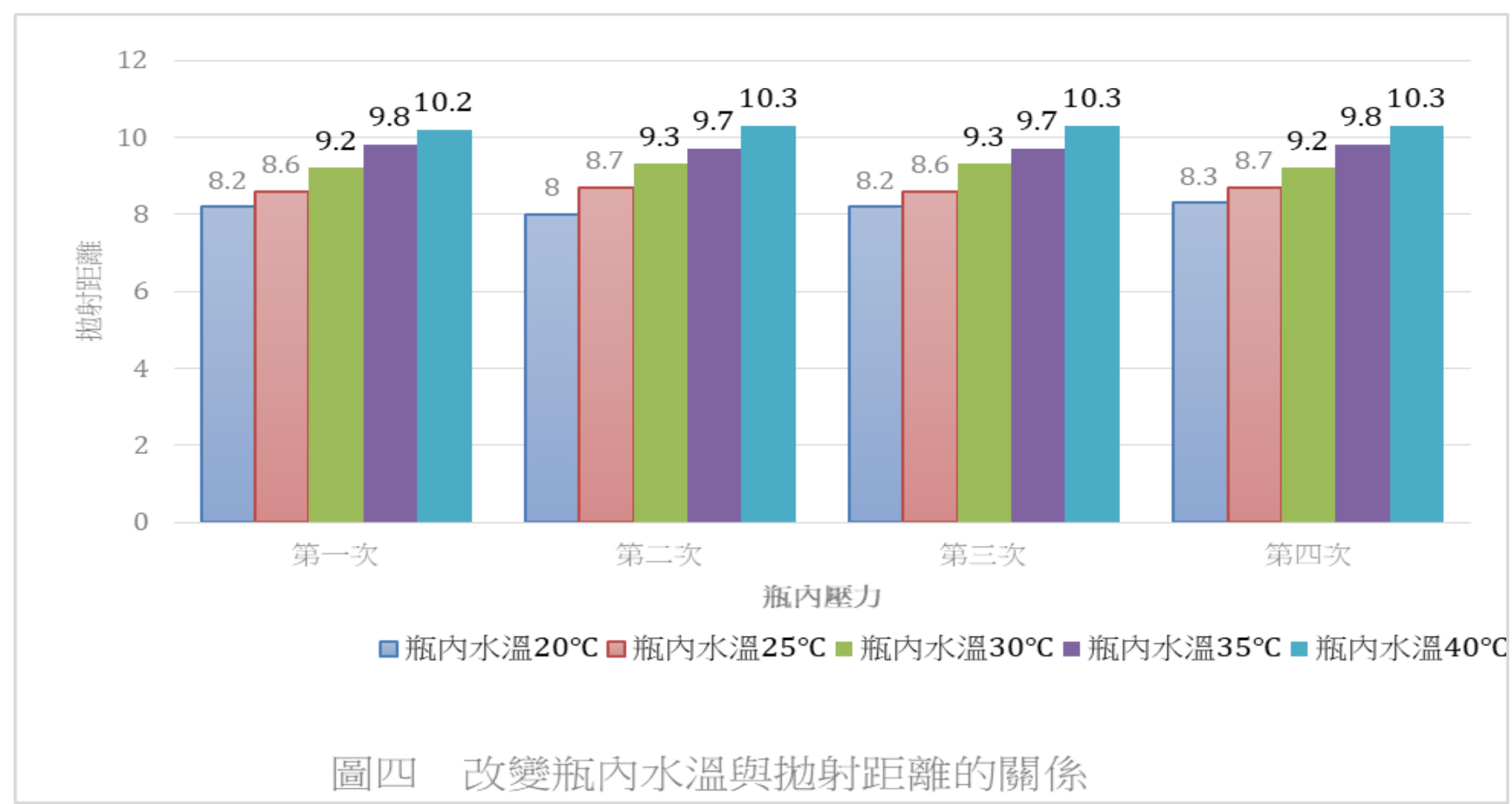
(二)由圖三分析：

- 瓶內壓力越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內壓力越高，水火箭被拋射的距離較遠。
- 因水火箭的瓶身是 600ml，當打入壓力達 40psi 時，在實驗過程中發生了洩氣的狀況，因此，我們推測：不同容積的瓶身都有它可承受的最大臨界壓力(幸好沒有發生爆瓶)。



### 四、探討水溫與拋射距離的關係

(一)由表四數據整理成圖四：

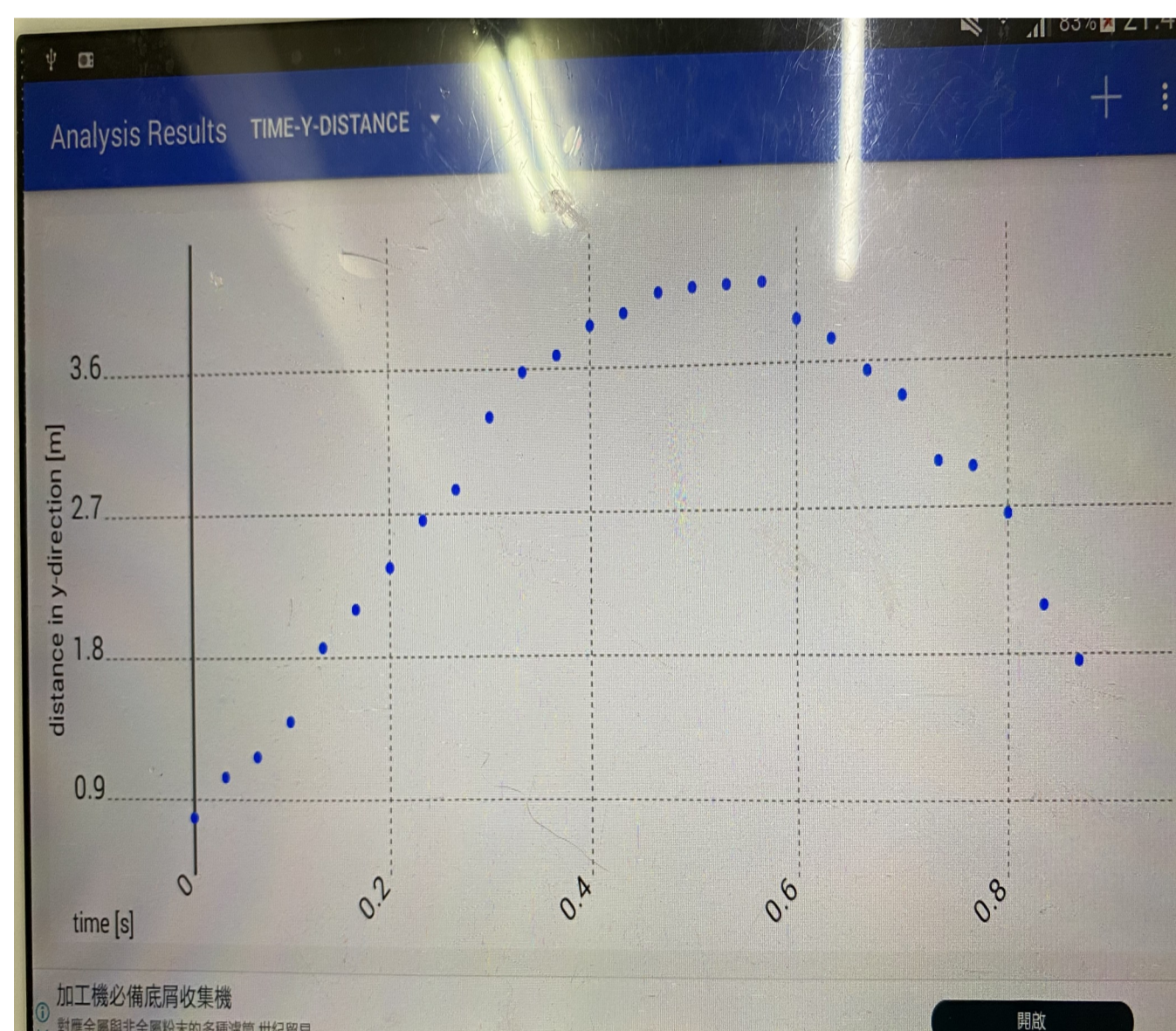
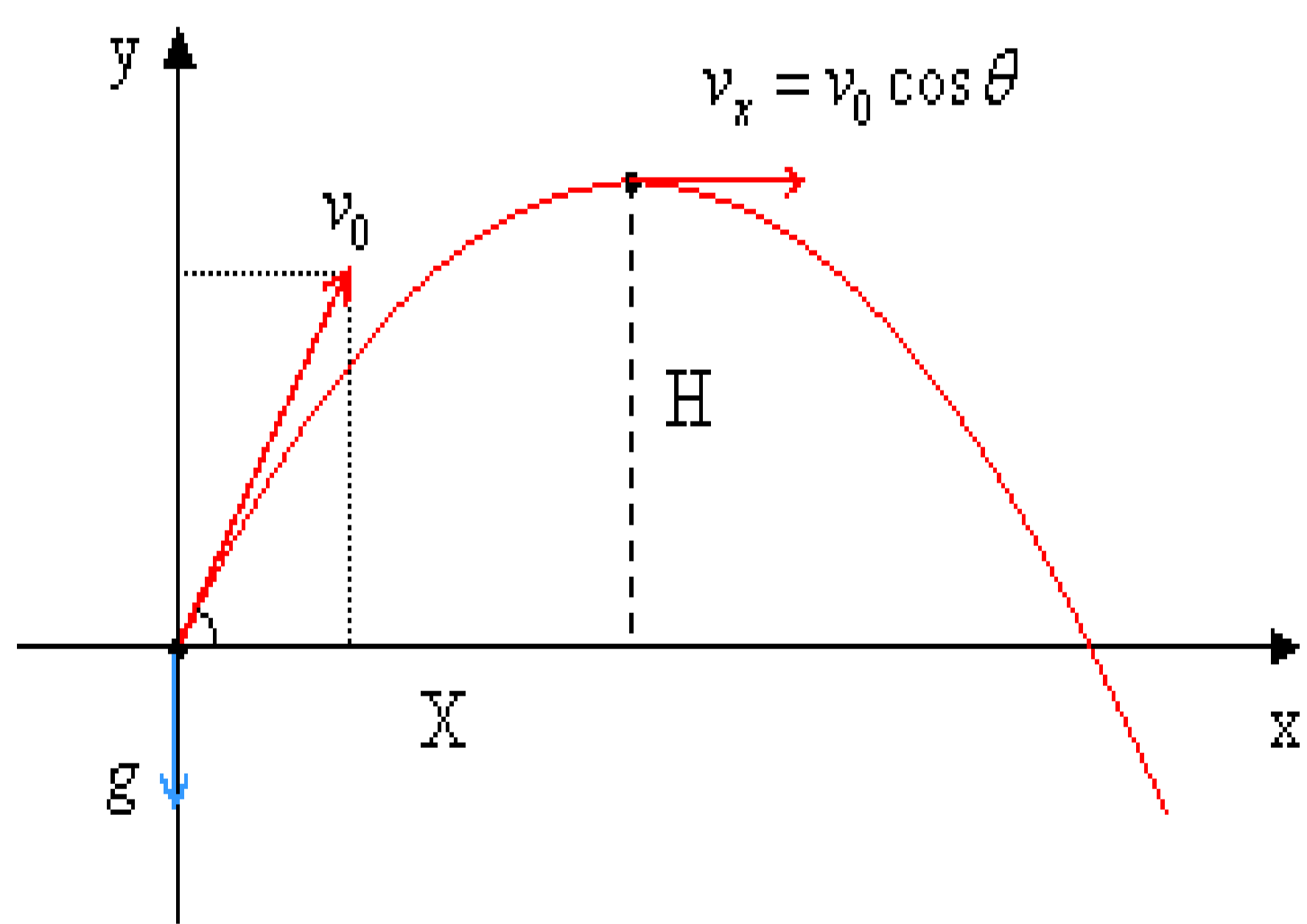


(二)由圖四分析：

- 瓶內的水溫越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內的水溫越高，水火箭被拋射的距離較遠。
- 觀察到瓶內的水溫越高，水向後噴射力道越大，水火箭被拋射的距離較遠。
- 水溫越高會加大瓶內的壓力，換句話說，溫度越高會讓水分子間的內聚力變小而降低表面張力，增加溫水的蒸發，造成瓶內壓力變大(原瓶內 480ml 空氣壓力+打入 30psi 空氣壓力+該水溫所產生的蒸氣壓)。因此，我們看到水溫越高，在打入相同瓶內壓力為 30psi 時，水向後噴射力道越大。
- 水向後噴射力道越大，其所產生的反作用力也越大，水火箭被拋射的

## 柒、結論

- 水火箭瓶內要裝水。至於裝入水與空氣的比例，依本研究而言是水量 120ml/空氣 480ml(1 : 4)，水火箭被拋射的最遠。當然這是否是最佳比例，因我們的操縱變因沒分得很細微，在此不做推論。
  - 裝入含洗衣粉濃度越低的水，水火箭被拋射的距離較近；含洗衣粉濃度越高的水，水火箭被拋射的距離較遠。
  - 瓶內壓力越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內壓力越高，水火箭被拋射的距離較遠。
  - 瓶內的水溫越低，水火箭被拋射的距離較近；瓶內的水溫越高，水火箭被拋射的距離較遠。
- 綜上：水火箭飛行時間越久，水火箭被拋射的距離越遠。



t [s]	x [m]	y [m]	[m/s]	θy-v [m/s]
0.000	0.591	0.784		
0.033	1.127	1.046	16.241	7.923
0.066	1.471	1.174	10.452	3.881
0.100	1.777	1.398	8.974	6.591
0.133	2.114	1.862	10.211	14.067
0.166	2.758	2.102	19.537	7.276
0.200	3.361	2.364	17.714	7.690
0.233	4.053	2.660	20.985	8.974
0.266	4.942	2.852	26.934	5.821
0.300	5.945	3.303	29.498	13.261
0.333	7.287	3.580	40.683	8.408
0.367	8.752	3.681	43.076	2.982

## 捌、建議

- 依本研究而言是水量 120ml/空氣 480ml(1 : 4)，水火箭被拋射的最遠。建議後續研究可將操縱變因細分或只針對此操縱變因另單獨研究。
- 裝入含洗衣粉濃度的水，在實驗過程容易造成研究場域濕滑而發生危險，建議後續研究可另覓活性界面劑。
- 建議後續研究針對改變壓力，務必清楚不同容積的瓶身都有它可承受的最大臨界壓力，避免發生爆瓶而發生危險。
- 瓶內的水溫越高，更要注意瓶身材質的耐熱性及因高溫水在實驗過程中易發生危險。

## 參考資料

- <http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-008.html> 國立台中教育大學NTCU 科學教育與應用學系 科學遊戲實驗室。
- 手機測量器 Smart Measure. VidAnalysis(an app for physical analysis of motion in videos)
- <https://waterrocket.pixnet.net/blog/post/25416172>-水火箭的原理。
- <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2016/03/2016032819244288.pdf>