

屏東縣第66屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：湯匙投球器拋射運動之探究

關 鍵 詞： 投石器 、 槓桿原理 、 拋體運動

編號：A2017

湯匙投球器拋射運動之探究

摘要

本研究自製曬衣夾為彈力的湯匙投球器，彈射乒乓球、保利龍球不同球體，透過拍攝實驗影片，藉由 tracker 軟體對球體的拋射運動進行影片分析，探討改變湯匙投球器的發射仰角角度、曬衣夾開口大小、湯匙柄長度及球體重量與體積大小等不同因素下，與飛行水平射程、最高高度、飛行軌跡形狀的關係。研究發現在特定的發射角度、開口張開大小、湯匙柄長度、不同的重量、體積等都會影響乒乓球、保利龍球的水平飛行距離與最高的上升高度。此外，從影片觀察到乒乓球在不同因素下的飛行，出現長形、短形、中間低平形，及右側高起的拋物線形狀。

壹、前言

一、研究動機：

在自然課程中，我們學到「力與運動」的概念，知道物體的速度和它受到的力大小有關，這讓我們對拋射運動產生了好奇心。我們也知道古代有一種武器叫做投石器，它利用槓桿原理和彈力把石頭拋射出去，展現了力學的原理。現在常見自製的投石器玩具大多是用橡皮筋來當動力，但橡皮筋用久了會疲乏，力量變小，造成施力不穩定，發射條件難以控制等問題，使實驗結果與理論產生落差。為了克服這個問題，在網路搜尋資料後發現，可以用曬衣夾的金屬環張開和閉合作為發射的動力，這樣比較不會受到彈性疲乏的影響。我們希望透過這個改良的湯匙投球器，來探討不同的發射角度、彈力大小和湯匙長度，對乒乓球飛行距離和高度的影響，並利用影像分析技術紀錄球體的飛行軌跡，找出最佳的飛行條件。

二、研究目的：

本研究之主要目的為利用自製湯匙投球器，探討拋體運動在實際裝置中的表現，並分析不同影響因素對乒乓球飛行運動的影響，具體目的如下：

(一) 製作湯匙投球器

(二) 系統性探討湯匙投擲器的發射參數（發射仰角、彈力、湯匙長度）對乒乓球**水平射程、最大高度**的影響。透過影像分析技術，紀錄並分析不同因素下的乒乓球飛行軌跡曲線。

實驗一：湯匙投球器的發射角度與乒乓球飛行軌跡的關係。

實驗二：湯匙投球器的彈力與乒乓球飛行軌跡的關係。

實驗三：湯匙投球器的湯匙長度與乒乓球飛行軌跡的關係。

實驗四：球體重量與飛行軌跡的關係。

實驗五：球體大小與飛行軌跡的關係。

三、文獻回顧：

(一)槓桿原理：

槓桿原理經常運用在生活中，根據支點、施力點和抗力點的位置不同，會產生不同的機械效果，按照支點、施力點及抗力點的相對位置，大致可分為三類。

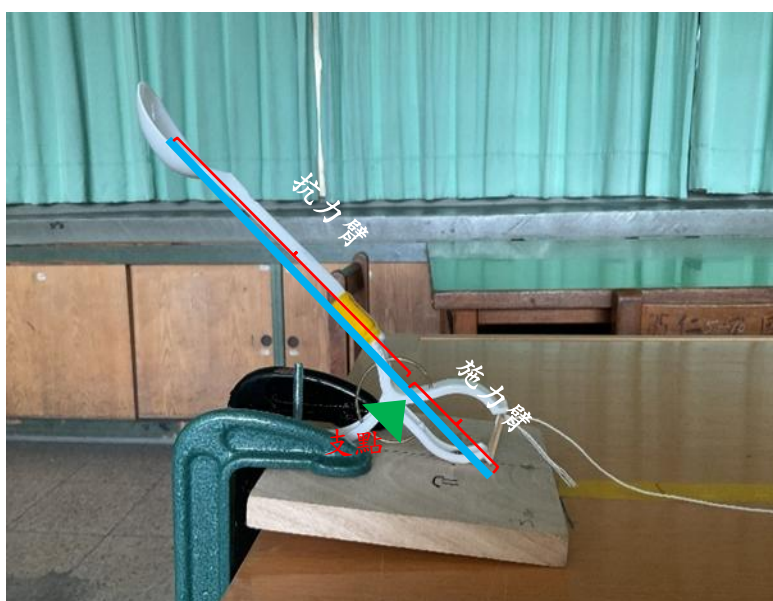
支點在中間	抗力點在中間	施力點在中間
這類槓桿具有改變施力方向的特性，藉由改變施力臂，能達到不同的效果。兩邊一樣長的施力臂與抗力臂，雖然無法省力省時，但可以改變施力的方向，方便操作。	施力臂大於抗力臂，可以用比較小的力移動物體，但因為施力移動的距離大於物體移動的距離，所以是比較省力但費時的槓桿應用。	施力臂會小於抗力臂，需要使用比原來更大的力，才能讓物體移動，因為施力移動的距離比物體的移動距離短，所以可以不用花費太長時間，作較大幅度的移動，是比較費力但省時的槓桿應用。

本研究所使用之湯匙投球器，其運作原理可視為一種槓桿裝置，結合彈性能與轉動運動來將乒乓球拋出。整個裝置主要由曬衣夾、塑膠湯匙及木板底座所構成。

曬衣夾中間的金屬轉軸為整個裝置的**支點**，湯匙柄與曬衣夾皆繞此支點轉動。曬衣夾的金屬彈簧在張開時會儲存彈性能，當曬衣夾被木片撐開後，彈簧對夾子產生回復力。此回復力作用於曬衣夾張開的一側，因此從**支點到曬衣夾開口端的距離可視為施力臂**。

塑膠湯匙固定於曬衣夾的另一側，乒乓球放置於湯匙末端。曬衣夾彈簧所提供的力經由施力臂產生轉動效果，再透過湯匙柄將動能傳遞至乒乓球，使其被拋射而出。因此，從支點到湯匙末端（乒乓球位置）的距離即為**抗力臂**。

當施力臂或抗力臂長度改變時，槓桿的轉動效果與能量傳遞效率亦隨之改變。本研究透過調整曬衣夾開口大小與湯匙柄長度，探討施力臂與投力臂對乒乓球拋體運動（飛行距離與上升高度）的影響，進一步說明槓桿原理在實際投射裝置中的應用。



(二)拋體運動：

物體從地面以仰角 θ 斜拋射出時，忽略空氣阻力影響，此時物體在水平方向作等速直線運動，鉛直方向作鉛直上拋再下落的等加速度運動，整體作等加速拋物線運動。其中：

最遠水平射程：

$$R = \frac{2V_0^2 \sin \theta \cos \theta}{g}$$

$$\text{最大可達高度：} H = \frac{(V_0 \sin \theta)^2}{2g}$$

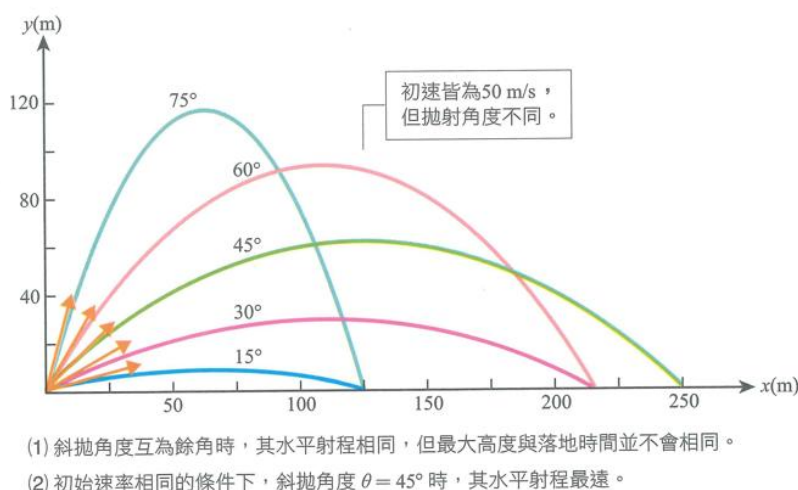
由上式可以看出，即便初始速度的大小 v_0 相同，水平射程 R 與拋射角度息息相關，如上圖所示，在 $\theta=45^\circ$ 時，水平射程最遠(龍騰選修物理1，民111年)。

以上為理論公式，它所移動的軌跡，是拋物線的形狀。本研究使用投石器（湯匙投擲器）發射乒乓球，其運動屬於斜向拋射運動。在實際實驗中，球體飛行過程還會受到空氣阻力、球體質量及角度等因素影響，使實驗結果與理論值產生差異，因此需透過實驗量測不同發射角度下的飛行距離，以探討兩者之關係。

(三)歷屆相關作品整理比較

作品名稱	投石計器，彈無虛發	攻城利器—投石器探討	古代工程師巧思—製作精準投石器	湯匙投球器探究（本研究）
主要目的	落地距離	投射距離	落地距離	水平距離、上升高度
投石器主體材料	塑膠支架、有彈性物品	竹筷、竹籤、免洗湯匙	竹子、鐵桿、水管	免洗湯匙、曬衣夾、木板、C形夾固定
研究變因	彈力、投擲桿角度、投擲臂長度	抗力臂長度、施力大小、砲彈重量	載重量、不同拋出物、載重力臂長度、拋出物力臂長度、投石器高度、投擲桿高度	發射角度、曬衣夾張開大小、湯匙柄長度、球體重量、體積大小
測量距離工具	皮尺	捲尺	皮尺	測量角度 app: Protractor360、phyphox 影片分析軟體: tracker

本研究採用曬衣夾金屬環作為彈射動力來源，可以減少橡皮筋彈性疲乏問題，使用攝影、影片分析軟體、角度測量 app 等數位測量方法，可以較準確測量取得實驗數據，除了球體的飛行距離，也可以在高度、軌跡形狀等運動作更多的探索。



貳、研究設備及器材

一、乒乓球



重量：2.6公克

直徑：4.0cm

體積：約33.5立方 cm

材質：塑膠

二、製作湯匙投擲器

本研究參考吳明德(2019)老師製作出湯匙擲球器，製作過程如下：

(一)材料：木板(梧桐木)、木片、木工螺絲、螺絲起子、鋸子、棉線、剪刀、曬衣夾、螺絲帽、塑膠湯匙、冰棒棍、電鑽、墊片。

(二)湯匙投球器組裝步驟，如圖：

1. 先將木板裁切成13cm 長、寬11.5cm 的長方形木板，在5.75cm 處畫一條中線，最後在中線前後約1cm 處各鑽一個孔
2. 在曬衣夾下方鑽一小孔，取2個螺絲分別在曬衣夾握柄與前方夾子下方的小洞，使用螺絲起子將螺絲旋入小孔，固定曬衣夾。
3. 將湯匙與曬衣夾握柄端用絕緣膠帶纏繞5圈，連結起來。



木板鑽孔



曬衣夾下方鑽孔



裁切木板



裝置優點：

1. 使用曬衣夾的金屬彈簧作為彈力來源，彈性比橡皮筋穩定
2. 使用 C 形夾固定投球器底座，減少發射時的晃動，不易損壞。
3. 使用有拉繩的木片，控制曬衣夾開口大小，減少人為誤差。

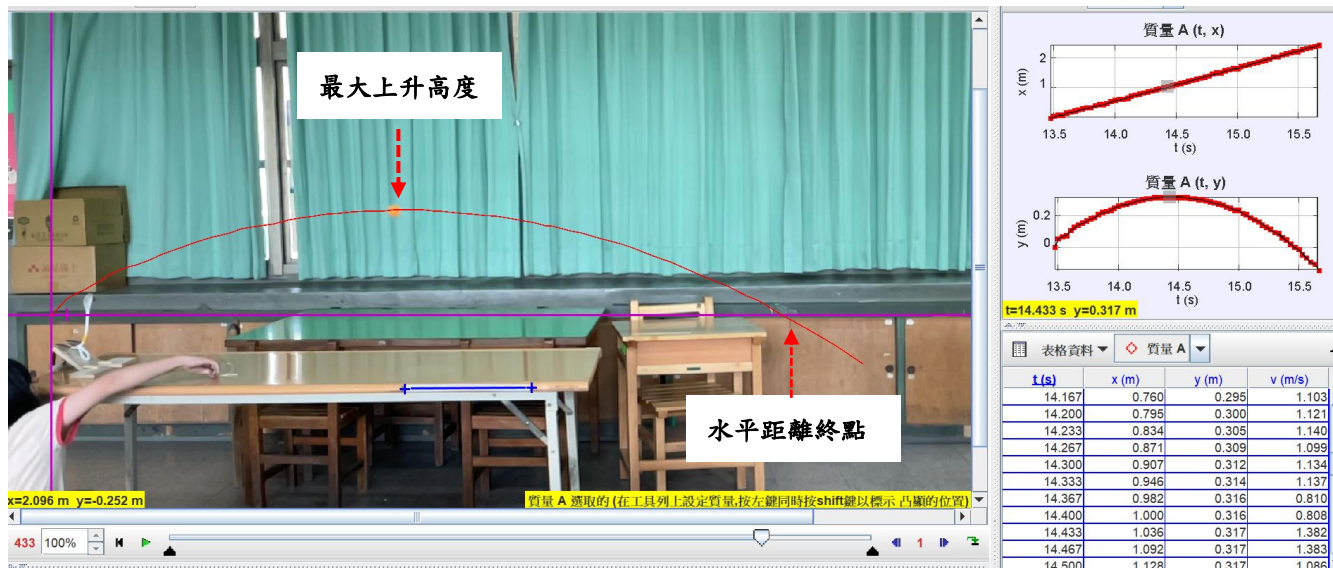
(三)實驗影片拍攝



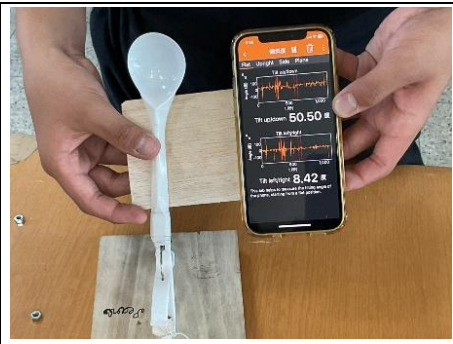
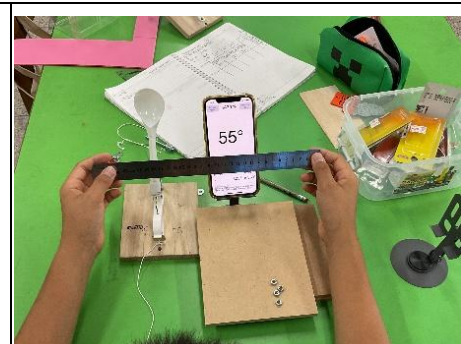
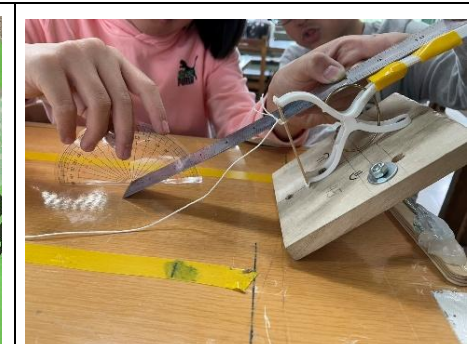
對於每個實驗變因做6次測試，去除差異大的極端值後取平均數。

(四)tracker 影片分析軟體

1. 使用 ipad 慢速攝影功能(畫質1080p，HD/240fps)拍攝球體飛行情形，將影片匯入 Tracker 軟體進行分析。
2. 實驗中球體上升最高點位置、飛行水平距離位置



將手機放在手機架上固定，用 Protractor360、phyphox 2種 App 測量角度，用螺絲、墊片、螺帽、2cm 木片調整出發射器35度、40度、45度、50度、55度等不同角度(如下圖)，與 app 顯示的角度度數相同後，再用直尺檢查手機表面與湯匙柄是否對齊。

		
使用 phyphox、Protractor360 App 測量傾斜度	用直尺檢查湯匙與手機高度是否對齊	使用量角器確認角度

參、研究過程與方法

實驗(一)湯匙投球器的角度與乒乓球飛行距離、高度的關係。

1. 方法：

- (1)使用 protractor360 App 測量度數，在用墊片、螺帽與2cm 木片調整投擲器之角度，使其與 App 顯示度數相符合後，再用直尺檢視是否精準。
- (2)使用 ipad 慢速攝影功能(畫質1080p，HD/240fps)拍攝球體飛行情形，將影片匯入 Tracker 軟體進行分析。
- (3)實驗至少6次，去除差異較大的實驗數據後求平均值，後續實驗次數皆相同。

2. 假設:發射角度越大，向上的分力大，球體上升高度增加，飛行距離較短；角度越小，向上分力小，球體上升高度高減少，飛行距離較長。

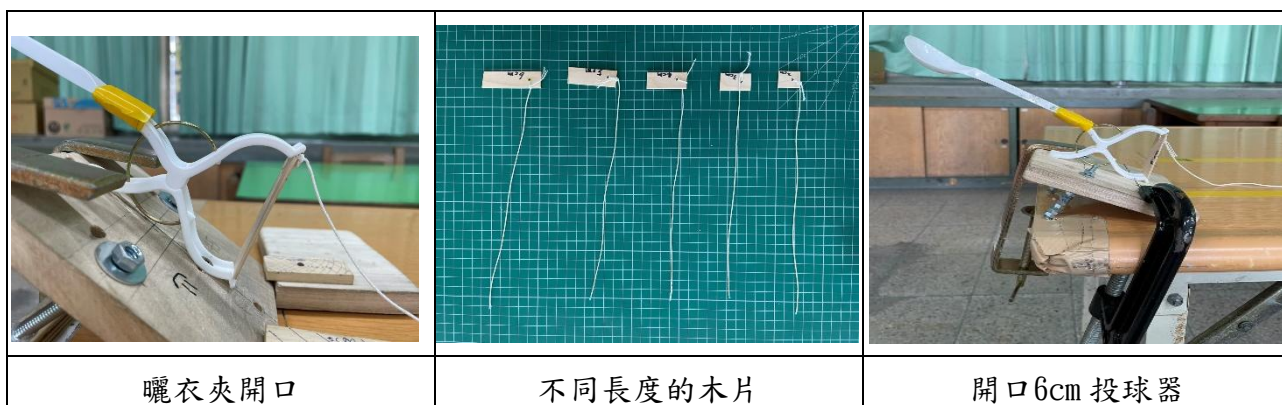
理由：

3. 變因控制：

操縱變因	保持不變變因	應變變因
發射仰角角度： 35 度、40 度、45 度、50 度、55 度	曬衣夾開口 2cm、湯匙柄長度 10.3cm、 球體重量：2.6g	飛行高度、距離

實驗(二)：湯匙投球器的彈力與乒乓球飛行距離、上升高度的關係。

1. 方法：曬衣夾開口最大可以張開到6.5cm。將冰棒棍做成長2cm、3cm、4cm、5cm、6cm 等不同太小的長方形木片，在木片底部1cm 處鑽1小孔，在小孔處綁上約30cm 的棉線。將不同長度的木片夾在曬衣夾的開口，使曬衣夾張開的大小不同。



2. 假設：冰棒棍撐開曬衣夾的開口越大，產生彈力大，乒乓球飛行距離會較遠。

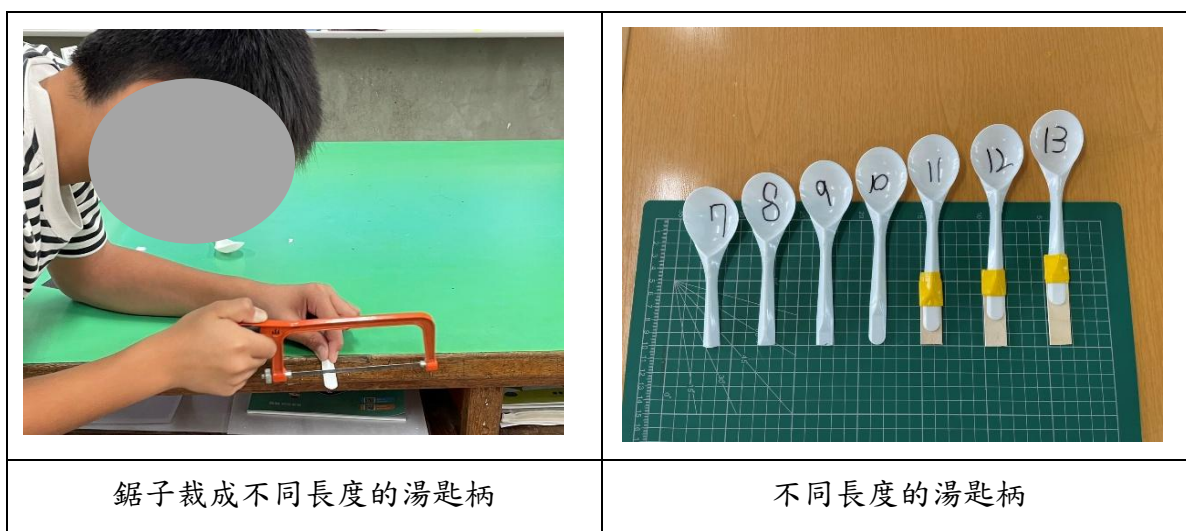
3. 變因控制：

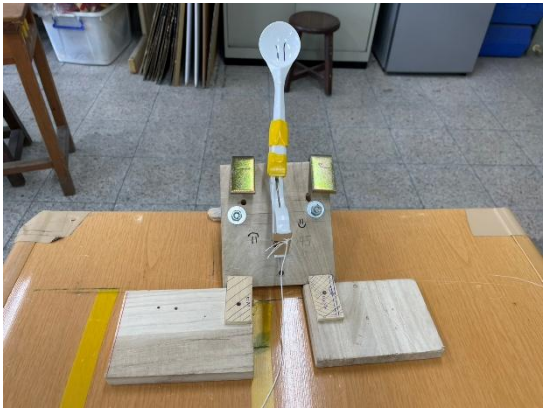
操縱變因	保持不變變因	應變變因
曬衣夾開口大小 2cm、3cm、4cm、 5cm、6cm	曬衣夾發射角度 35 度、湯匙柄長度 10.3cm、球體重量：2.6g	飛行高度、距離

實驗(三)：湯匙投球器的湯匙長度與乒乓球飛行距離、上升高度的關係。

1. 方法：將冰棒棍前端的半圓形剪掉，裁成11cm、12cm、13cm 不同長度的冰棒木片，用膠帶連接曬衣夾做成增加長度的湯匙柄；另外，將原來的湯匙柄剪斷成7cm、8cm、9cm，用膠帶連接曬衣夾做成減少長度的湯匙柄。

為了固定湯匙投球器，使用2個C形夾在底板後方固定外，用2塊木板抵住底板最前端2邊，上方用鐵釘將小塊木板與抵住的木板釘住連接，中間留5.5cm的寬度(圖)，使木板底部不會因為槓桿作用懸空，比較可以穩固發射器的底座。



	
用鐵釘連接2塊木板	2塊小木板抵住發射架底板

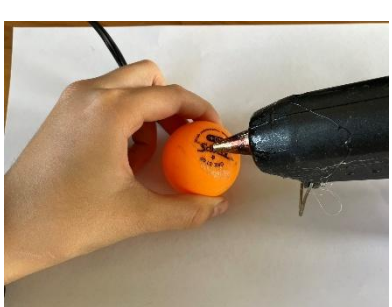
2. 假設：湯匙柄愈長，抗力臂長度長，飛行距離短，高度較高。

3. 變因控制：

操縱變因	保持不變變因	應變變因
湯匙柄長度 7cm、8cm、9cm、10cm、 11cm、12cm、13cm	曬衣夾發射角度 25 度 、夾子開口大小 6cm、球體重量：2.6g	飛行高度、距離

實驗(四)：乒乓球球體重量與乒乓球飛行距離、上升高度的關係。

1. 方法：用1mL 的針筒尖端將乒乓球刺破一個小洞，10mL 針筒加水5g、15g、25g、30g、33g(幾乎全滿)等不同水量注射乒乓球內部，在乒乓外部用熱融膠封住小洞防止水外流。實驗至少6次。

		
針筒尖端刺破一小洞	注射不同水量	熱融膠封住小洞防止水外流

2. 假設：球體重量愈重，飛行距離短，上升高度低；球體重量輕，飛行距離長，上升高度高。

3. 變因控制：

操縱變因	保持不變變因	應變變因
球體重量：5g、10g、15g、20g、25g、30g、33g	曬衣夾發射角度 25 度、夾子開口大小 6cm、湯匙柄長度 10cm	飛行高度、距離

實驗(五)：球體大小與乒乓球飛行距離、上升高度的關係。

不同大小：

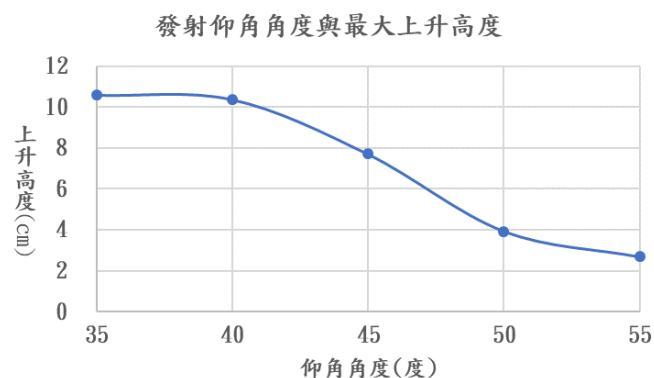
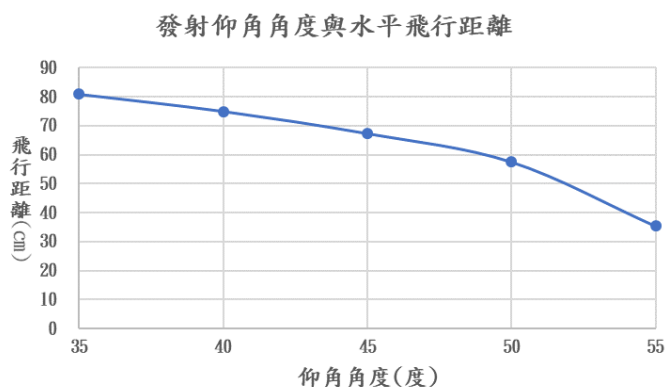
1. 方法：將3cm(<0.1g)、4cm(0.5g)、5cm(1.3g)、6cm(2g)、7cm(3g)不同直徑大小的保利龍球，在角度25度、曬衣夾開口6cm、柄長10cm的湯匙投擲器上發射，探討不同大小球體的飛行軌跡。
2. 假設：球體愈大，風阻大，飛行距離短，高度低；反之，球體愈小，風阻小，飛行距離長，高度高。
3. 變因：

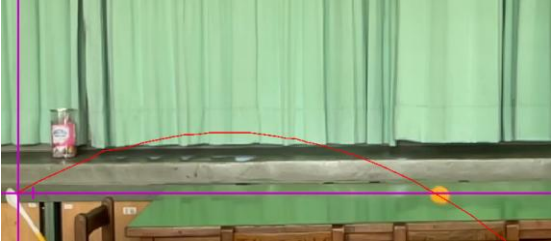
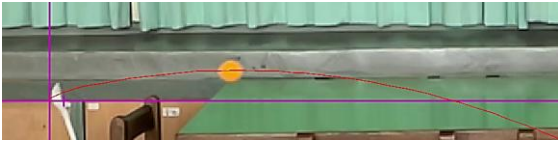
操縱變因	保持不變變因	應變變因
不同體積大小的保利龍球 (14.4 立方公分、33.5 立方公分、65.5 立方公分、113.1 立方公分、179.6 立方公分)	曬衣夾發射角度 25 度、夾子開口大小 6cm、湯匙柄長度 10cm	飛行高度、距離

肆、研究結果與討論

一、湯匙投擲器發射仰角角度與乒乓球飛行軌跡的關係。

角度	35	40	45	50	55
水平飛行距離(cm)	80.8	75	67.3	57.5	35.5
上升最高高度(cm)	10.6	10.4	7.7	3.9	2.7



角度	35	40
飛行軌跡		
形狀	拋物線	拋物線
角度	45	50
飛行軌跡		
	中間低平的拋物線	中間低平的拋物線
角度	55	
飛行軌跡		
	中間低平而且短的拋物線	

(一)發現與結果

1. 由實驗結果發現，乒乓球的水平飛行距離在角度35度時最遠，角度增加，飛行距離開始減少。上升高度在35度最高，40度之後，上升高度開始下降。乒乓球在35°的角度時，射程最遠、上升高度也最大。

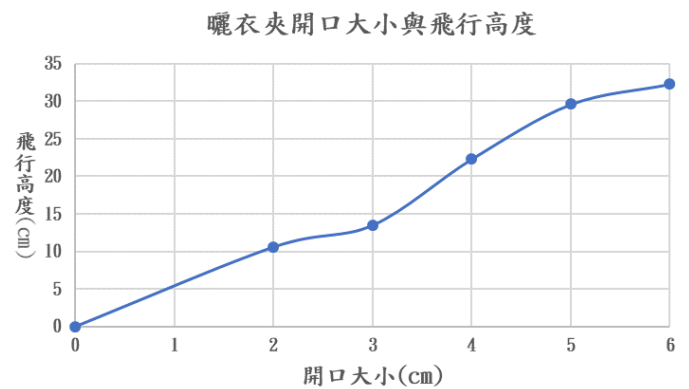
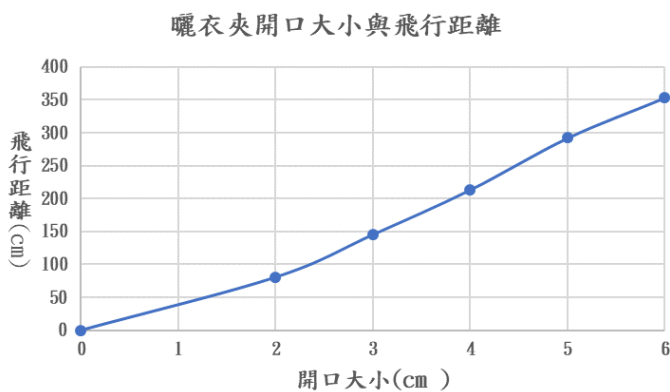
2. 乒乓球飛行的形狀都是拋物線的軌跡，角度小的中間高起，角度大的中間較平緩。

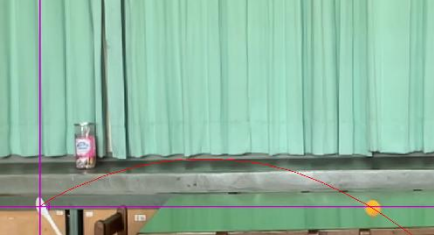
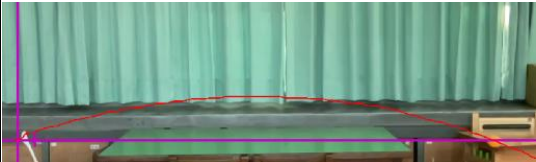
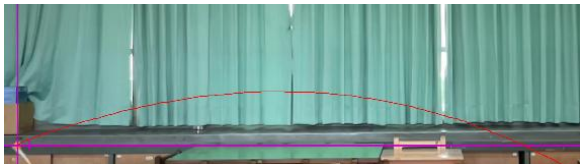
(二)討論

拋體運動理論告訴我們，在沒有空氣阻力，理想情況下最佳角度是45°。但在實驗中乒乓球在35°的角度時，射程最遠、上升高度也最大。推測可能原因是投球器發射時，初速度沒有控制好，在35°時發射時的初速度比其它角度大，使得水平射程與最高高度大於其它角度，可以比較不同角度的初速度，驗證初速度不同影響水平射程與高度的假設。此外，乒乓球體積小，空氣阻力大，這些因素讓最佳角度從理論上的45°，偏移到我們實驗中的35°。

二、湯匙投擲器的彈力與乒乓球飛行距離、上升高度的關係。

開口大小(cm)	2	3	4	5	6
水平飛行距離 (cm)	80.8	145.5	213.3	292.1	353.3
上升最高高度 (cm)	10.6	13.5	22.3	29.6	32.3



開口大小 (cm)	2	3
飛行軌跡		
	短的拋物線	長的拋物線
開口大小 (cm)	4	5
飛行軌跡		
	長的拋物線	長的拋物線

開口大小 (cm)	6
飛行軌跡	
	長拋物線

(一)結果與發現

- 實驗結果發現，曬衣夾的開口增加，乒乓球水平飛行距離明顯增加；上升高度也增加。曬衣夾張開的開口大，彈力較大，乒乓球得到較多的力，可以飛行的較遠，上升的高度也會提升。
- 拋物線形狀有短的拋物線(開口3cm)與長拋物線(開口4cm、5cm、6cm)

(二)討論

- 本實驗結果顯示，隨著曬衣夾開口大小由 2 cm 增加至 6 cm，乒乓球的**水平飛行距離與上升最高高度皆呈現明顯增加的趨勢**。
- 曬衣夾張開時，金屬彈簧會產生彈性變形，並儲存彈性能。當曬衣夾開口越大時，彈簧的變形量增加，所儲存的彈性能也隨之增加。發射瞬間，這些彈性能會轉換成湯匙的轉動能量，進而轉換為乒乓球的動能，使乒乓球離開湯匙時的**發射初速度增加**。

根據拋體運動理論，**乒乓球的上升最高高度與初速度的垂直分量有關**；而水平飛行距離則與初速度的水平方向分量及飛行時間有關。因此，當曬衣夾開口增加、乒乓球初速度變大時，其垂直與水平方向速度分量皆隨之增加，使得乒乓球能上升至更高的位置，並在空中飛行更長的時間，最終導致水平飛行距離增加。

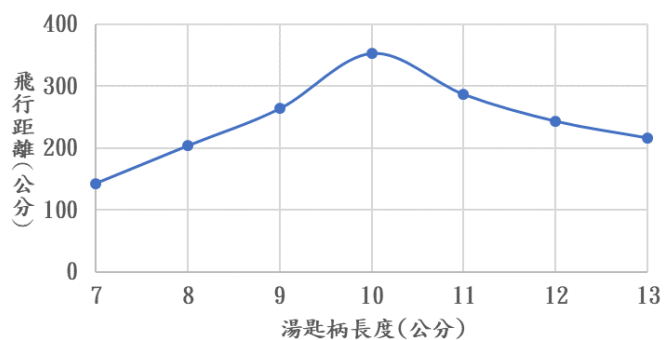
此外，由於乒乓球質量小、表面積大，空氣阻力對其運動影響明顯。在曬衣夾開口較小時，乒乓球的初速度較低，容易在飛行初期即受到空氣阻力顯著減速，導致飛行距離與高度受限；而在開口較大時，乒乓球具有較大的初速度，即使受到空氣阻力影響，仍能在飛行前段保有較大的速度，使飛行距離與高度明顯提升。

然而，實驗中亦可觀察到飛行距離與高度的增加並非完全呈線性關係，推測部分彈性能在發射過程中以聲音、摩擦與湯匙振動等形式耗散，使得實際轉換為乒乓球動能的能量比例逐漸降低，導致增加趨勢趨緩。

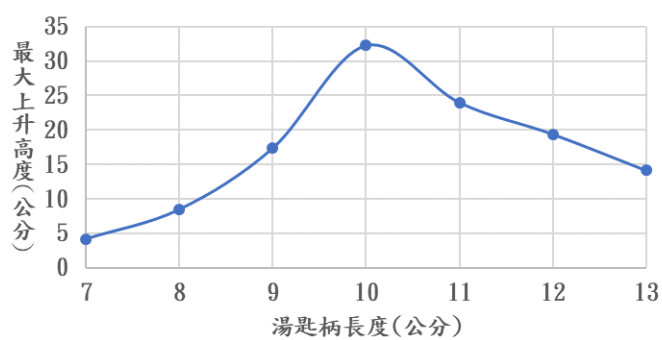
三、湯匙投球器的湯匙柄長度與乒乓球飛行距離、上升高度的關係。

湯匙柄長度 (cm)	7	8	9	10.3	11	12	13
水平飛行距離 (cm)	142.7	203.8	263.9	302.8	286.6	243.2	216.2
上升最高高度 (cm)	4.2	8.5	17.4	28.5	24.0	19.4	14.13

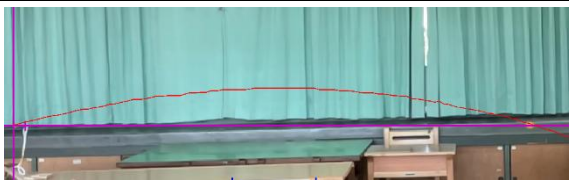
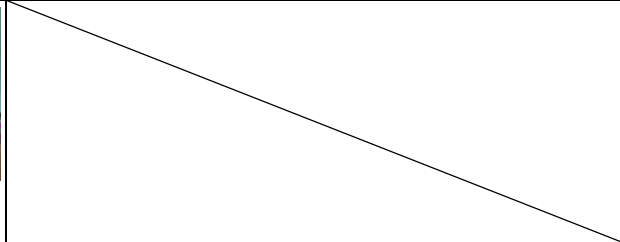
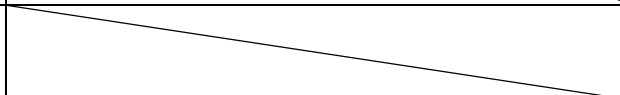
湯匙柄長度與飛行距離



湯匙柄長度與最大上升高度



湯匙柄長 (cm)	7	8
飛行軌跡		
	低平的拋物線	低平的拋物線
湯匙柄長 (cm)	9	10.3
飛行軌跡		
	低平且長的拋物線	中間較高的拋物線
湯匙柄長 (cm)	11	12
飛行軌跡		
	低平且長的拋物線	低平且長的拋物線
湯匙柄長 (cm)	13	

飛行軌跡		
	低平且長的拋物線	

(一)結果與發現

1. 由實驗結果可知，湯匙柄長度在10.3cm 時，水平飛行距離353.3cm 最遠，上升高度32.3cm 最高
2. 湯匙柄長度從7cm 增加至10cm，水平距離與上升高度都增加，超過10cm，水平飛行距離與上升高度開始減少。
3. 比較飛行拋物線軌跡形狀，柄長7cm、8cm、13cm 中間較低平，柄長10cm、11cm 的拋物線中間較高。

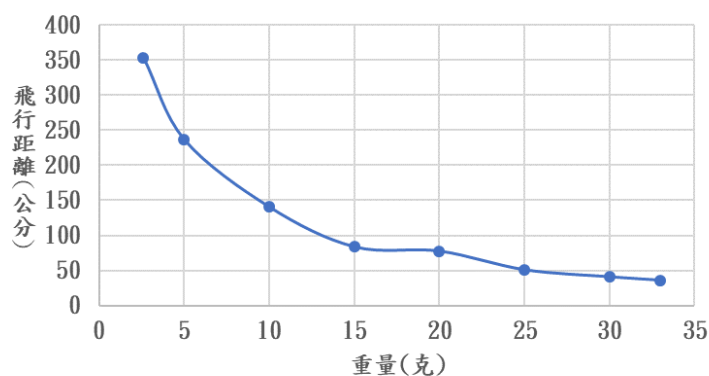
(二)討論：

1. 湯匙投球器的彈射力量，受到力矩的影響，可以由下列公式說明：
彈簧施力 X 施力臂 = (球的重量 + 湯匙重量) X 抗力臂。當湯匙柄的長度改變，抗力臂的長度不同，產生的力矩大小不同，影響乒乓球的運動飛行。
2. 湯匙柄長，抗力臂長度增加，末端速度快；湯匙柄短，抗力臂減少，末端速度慢。在不同柄長的實驗中，7cm 柄長增加至10cm，增加的速度多，飛行距離遠；柄長超過10cm，速度慢，飛行距離與上升高度都下降。所以，湯匙柄(抗力臂)長，不是越長，飛行的距離長，高度高，而是有一個最佳的長度，產生的力量最大，速度大，乒乓球就可以飛得最遠，上升高度也高。

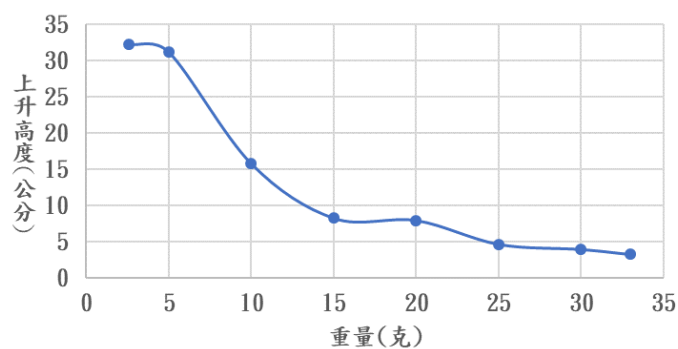
四、不同重量的乒乓球與飛行距離、上升高度的關係。

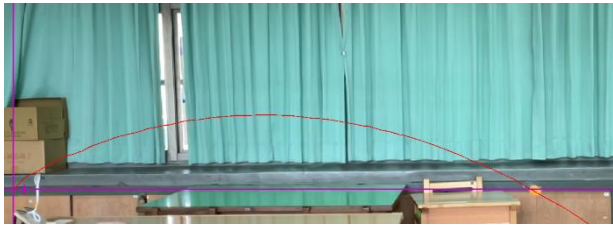
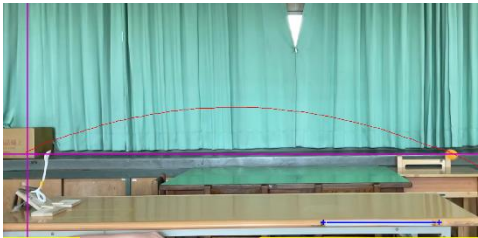
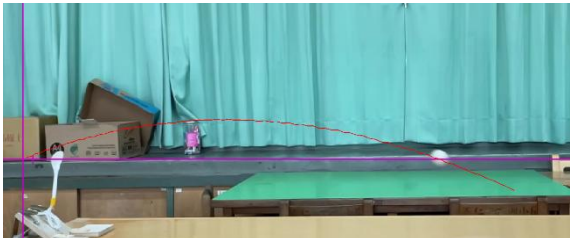
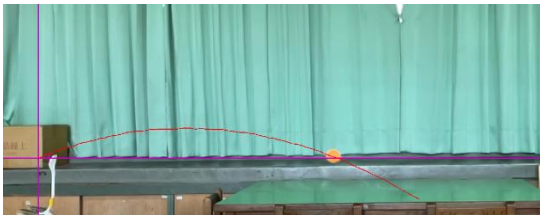
球體重量 (g)	2.6	5	10	15	20	25	30	33
水平飛行 距離(cm)	302.8	236.3	140.5	83.8	77.8	51.2	41.3	36.3
上升最高 高度(cm)	28.5	31.2	15.8	8.3	8.0	4.7	4.0	3.30

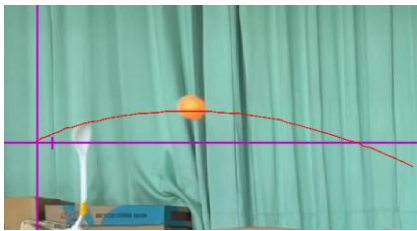
乒乓球重量與飛行距離



乒乓球重量與飛行高度



球體重量(g)	2.6	5
飛行軌跡		
	長的拋物線	中間高起的拋物線
球體重量(g)	10	15
飛行軌跡		
	中間高起的拋物線	中間高起的拋物線
球體重量(g)	20	25
飛行軌跡		
	短拋物線	短拋物線

球體重量 (g)	30	33
飛行軌跡		
	短拋物線	短拋物線

(一)結果與發現

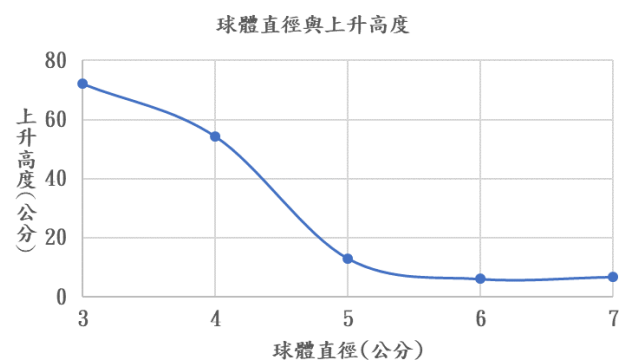
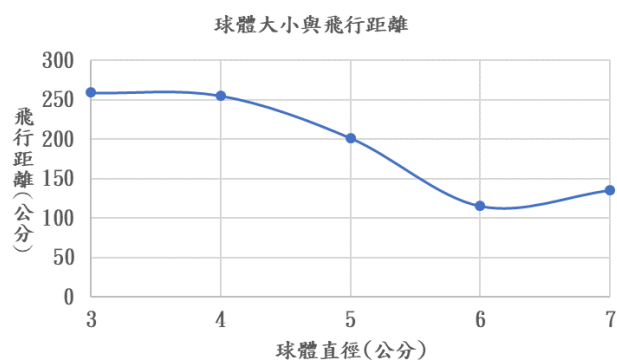
- 實驗後發現，在湯匙投球器的彈力與發射角度固定（約 25 度）的情況下，隨著乒乓球重量增加，其水平飛行距離與上升最高高度皆明顯下降。此現象顯示，球體重量會影響投球器的能量轉移效率與發射初速度。此外，5公克與10公克、10公克與15公克、20公克與25公克之間的上升高度差異大。
- 乒乓球飛行的形狀有長拋物線、短拋物線及中間高起的拋物線形狀。

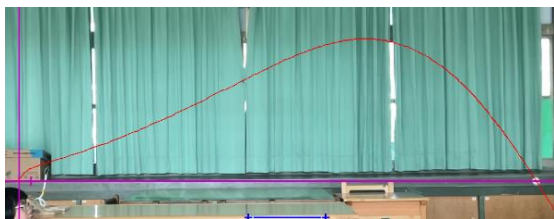
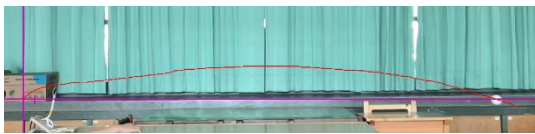
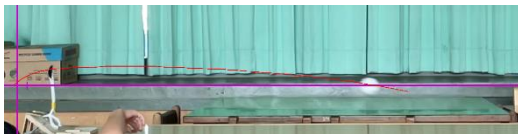
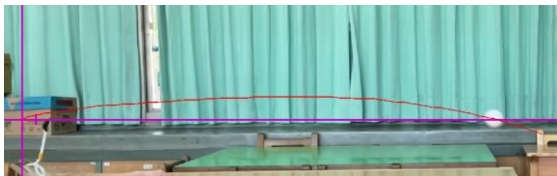
(二)討論

- 從槓桿原理來看，乒乓球位於湯匙末端，屬於抗力端。當球體重量增加時，抗力端所承受的重力與轉動慣性隨之增大，使得在相同曬衣夾彈力作用下，湯匙較不易轉動，轉動角加速度降低，導致湯匙末端的速度減小。
- 在發射角度固定的條件下，乒乓球進入拋體運動，其水平飛行距離與上升高度皆與發射初速度的平方成正比。因此，即使初速度略為降低，飛行距離與高度仍會出現明顯下降的現象。實驗中於部分重量區間（如 5 - 10 公克、10 - 15 公克、20 - 25 公克）觀察到高度差異較大，顯示在該重量範圍內，湯匙投球器的轉動效率快速下降，能量轉移效果明顯變差。此外，投球器底座受到 C 型夾往下的擠壓力道下，使得湯匙的角度改變，經使用量角器與 app 測量後角度為25度。

五、球體大小與飛行距離、上升高度的關係。

球體體積 (立方公分)	14.4	33.5	65.5	113.1	179.6
水平飛行距離 (cm)	259.4	255.7	202	115.4	135.6
上升最高高度 (cm)	72.1	54.3	13	6.1	6.8



球體大小 (立方公分)	14.4	33.5
飛行軌跡		
	右側高起的拋物線	右側高起的拋物線
球體大小 (cm)	65.5	113.1
飛行軌跡		
	低平拋物線	低平拋物線
球體大小 (cm)	179.6	
飛行軌跡		
	低平拋物線	

(一)結果與發現

不同體積的球體在彈射後的距離與高度有以下的情形：

1. 在飛行距離方面：

(1)直徑3cm 的保利龍球，體積最小，飛行的水平距離最長。

，上升高度也最高；直徑6cm 的保利龍球水平距離最短，上升高度最低。

(2)直徑6cm 的保利龍球，體積較大，飛行的水平距離最短。

(3)直徑7cm 的保利龍球，體積最大，然水平飛行距離卻略長於直徑6cm 的保利龍球(約多了20cm)。

2. 在飛行高度方面：

(1) 直徑3cm 的保利龍球，體積最小，飛行高度最高。

(2) 直徑6cm 的保利龍球，體積較大，飛行高度最低。

3. 體積小的保利龍球，如3cm、4cm 飛行軌跡出現右側高起的拋物線形狀，其餘體積則是低平的拋物線形狀。

(二)討論

我們發現，直徑最長(7cm)的保利龍球，其水平飛行距離並非全部保利龍球最短的。推測可能是因為在重量方面，直徑3cm、4cm、5cm、6cm 的球重差異在0.8公克以下，但直徑7cm 保利龍球重量比直徑6cm 的保利龍球多了有1克之多。比較實驗中球體的體積與重量如下表，發現體積增長極快：雖然直徑只是從 3 cm 增加到 7 cm (約 2.3 倍)，但體積卻從 14.14 增加到 179.59 (約 12.7 倍)。綜上，推測直徑7cm 的保利龍球的飛行，因重量最大，體積更大，比其它球體受風阻的影響較小，飛行穩定度較高，在受力運動時有更大的慣性，因此，能飛得比直徑6cm 的球稍遠，但也受限於其重量與體積，而無法像其它小球飛得遠。另一可能原因，可能來自人為的誤差，在手拉木片的過程中，拉得速度快，飛行距離較遠；拉得速度慢，飛行距離較短。

球體直徑(cm)	3	4	5	6	7
重量(公克)	<0.1g	0.5	1.3	2	3
體積(立方 cm)	80.8	145.5	213.3	292.1	353.3

伍、研究結論

- 一、湯匙投球器發射的角度不同，會影響乒乓球飛行的水平距離，在角度35度，乒乓球飛行的距離最遠，上升高度較高。飛行軌跡都是拋物線的形狀。
- 二、湯匙投球器的曬衣夾開口越大，金屬彈簧回彈後產生的彈力也愈大，開口6cm 的乒乓球水平飛行距離最遠，上升高度也最大。
- 三、湯匙投球器的湯匙柄長，在柄長10.3cm 的長度，發射的乒乓球飛行距離最遠，高度也最高。
- 四、在湯匙投球器裝置中，球體重量不僅影響拋體運動階段的運動表現，更會透過轉動慣量影響發射初速度，進而決定飛行距離與高度。
- 五、不同體積大小的球體，會影響飛行距離與高度。直徑3cm 增加到6cm 的保利龍球，水平飛行距離、上升高度都呈現下降的趨勢，但到了7cm 的保利龍球，飛行距離增加。
- 六、研究中球體飛行的軌跡形狀，以拋物線居多，拋物線的長度與高度與球體飛行的水平距離及上升高度有關。直徑3cm、4cm 的保利龍球出現的是右側高起的拋物線形狀，不同於其它低平拋物線、長拋物線、短拋物線等不同路徑的形狀。

陸、參考資料及其他

- 一、吳明德（2019）。湯匙擲球器與拋體運動課程。臺灣網路科教館生活科學補給站。
取自 <https://www.ntsec.edu.tw/liveSupply/detail.aspx?a=6829&cat=15571&p=1&lid=19223>
- 二、中華民國第 54 屆中小學科學展覽。古代工程師巧思－製作精準的投石器。
- 三、中華民國第 61 屆中小學科學展覽。投石"計"器 "彈"無虛發。
- 四、中華民國第 61 屆中小學科學展覽。攻城利器－投石器探討。
- 五、選修物理 1。力學一。龍騰文化出版，民 111 年。
- 六、Tracker Video analysis and Modeling Tool. <https://opensourcephysics.github.io/tracker-website/>