

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 物理科

探究精神獎

030101

旋風手裡劍之瓶蓋棒球大解密

學校名稱：桃園市立大成國民中學

作者：  國二 郭昱秀  國二 饒誼軒  國二 吳睿宗	指導老師：  黃永定  陳偉成
---	-----------------------------

關鍵詞：摩擦力、空氣阻力、流體力學

## 摘要

我們改裝了 JSPB 氣槍，藉以產生穩定的推進力，並結合 3D 列印製作不同的槍頭，加上砂紙的摩擦來模擬出手時產生的旋轉，利用這個發射器，進行不同的實驗。

我們使用了 flash、tracker、MPC、excel 等軟體，交叉比對實驗結果，並成功利用現有的器材對同時高速移動又高速旋轉的瓶蓋進行了轉速分析，克服沒有專業高速攝影機的困擾。

分析後，我們發現瓶蓋的凹面擺法是產生浮力的主因，可用以對抗重力，延遲下沉，而摩擦產生的旋轉會造成瓶蓋在行進中改變球路，利用不同長度的槍管，就能產生不同程度的旋轉，可有不同程度的球路變化，結合這幾項元素，我們成功實現多種球路，可提供有興趣的人練習打擊，希望在瓶蓋棒球運動的發展上做出貢獻，說不定會掀起風潮。

## 壹、研究動機

平時在教室打鬧成性的同學，時常在教室打起棒球，我們也不斷進化，從一開始丟粉筆到後來丟紙球，但到最後通常都是因為打傷同學或是打破窗戶，被老師告誡訓斥，國中生的活力旺盛，超需要空間去宣洩，棒球是國球，大家都愛，但要找到地廣人稀的場地真的很難。

某次，在學校體育課時，身為生教組長的體育老師推薦給同學們一項運動，並給同學們觀看相關影片，這項運動就是「瓶蓋棒球」。

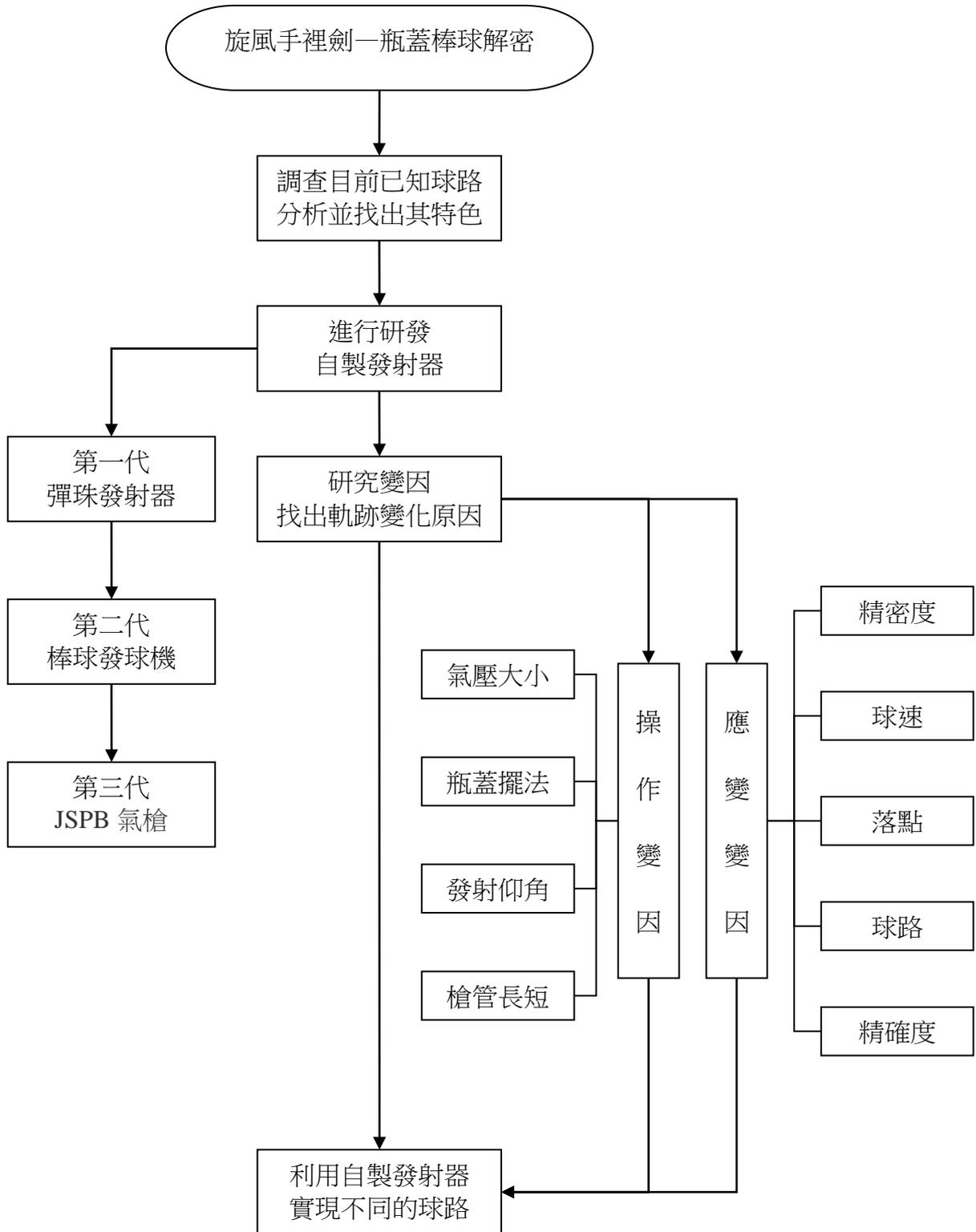
瓶蓋棒球，顧名思義就是用瓶蓋當球來進行的一種棒球運動，瓶蓋棒球可以在較小的空間中遊玩，也不用擔心像棒球一樣，打到人就受傷，因此，下課時就掀起了一陣「瓶蓋風潮」，這也同樣引起了我們的興趣，進而打開了這次實驗的大門。

## 貳、研究目的

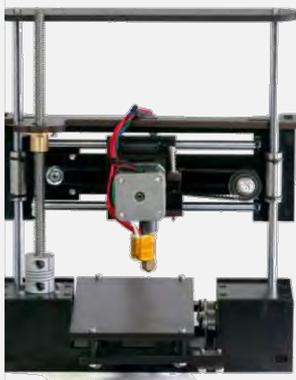
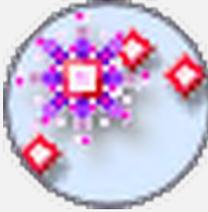
本研究是想探究瓶蓋的飛行軌跡的變化及成因，我們的研究大致上分成以下幾個主題：

- 一、研究目前已知的球路，找出其重點。
- 二、進行研發，自製發射器。
- 三、研究各項變數，找出瓶蓋軌跡變化的原因。
- 四、開發運動中高轉速瓶蓋的測量方法。
- 五、利用自製發射器，實現不同的球路。

# 實驗流程圖



參、研究設備及器材

<p>JSBP 槍製作素材</p>  A collection of materials for a JSBP gun, including three long, thin white cylindrical rods and a grey plastic component with a white cap.	<p>腳架</p>  A black tripod with a central column and a horizontal arm extending from the top.	<p>MPC</p>  A clapperboard with the numbers 3, 2, and 1 in orange, blue, and green respectively.	
<p>空壓機</p>  A white and black air compressor with a pump handle and a pressure gauge.	<p>氣壓計</p>  A circular pressure gauge with a white face and black markings.	<p>GoPro 4</p>  A silver GoPro 4 camera with a black lens and a small screen.	<p>Flash</p>  A red circular icon with a white stylized 'f' symbol.
<p>雷射筆</p>  A black laser pen with a silver tip.	<p>3D 列印機</p>  A 3D printer with a metal frame and a print head.	<p>Iphone 6</p>  A white iPhone 6 with a blue screen displaying various app icons.	<p>Tracker</p>  A circular icon with a blue background and several red and purple diamond-shaped markers.

## 肆、研究過程或方法

### 一、資料處理

#### (一)、影片處理計算初速、最高點

##### 1、使用 tracker 計算初速及最高點

- (1)、 tracker 載入影片檔。
- (2)、 新增校正桿：以一物件作比例尺，將校正桿兩端取出一距離，並標記 0.5m。
- (3)、 校正方位：以桌面為依據，調整座標軸。
- (4)、 校正水平原點：以槍口為原點，調整座標軸。
- (5)、 新增質點。
- (6)、 找出瓶蓋發射時間。
- (7)、 使用質點標記初始點。
- (8)、 標記每幀瓶蓋位置，持續標記直至瓶蓋反彈或超出螢幕範圍。
- (9)、 調出表格資料，包含時間(t)、水平位置(x)、垂直位置(y)、水平速率( $v_x$ )、垂直速率( $v_y$ )、整體速率(v)。
- (10)、 利用 excel 計算該次射擊前 20 個點的平均水平速率及垂直位置的最大值。

The screenshot shows the Tracker software interface. The main window displays a video of a bottle cap being launched from a table. A red dashed line tracks the cap's path. A black arrow points from the video to a data table. Three callout boxes provide instructions:

- 1. 進行校準：設定校正桿、方位、原點
- 2. 依時間序標示出瓶蓋位置
- 3. 速度、最高點分析

t (s)	x (m)	y (m)	$v_x$ (m/s)	$v_y$ (m/s)	v (m/s)
4.000	0.116	5.973	16.35	-3.958	16.74
4.001	0.162	5.742	15.49	-4.910	15.21
4.011	0.209	2.700	14.14	-7.664	14.24
4.019	0.219	2.700	13.11	-8.371	16.01
4.023	0.443	7.359	-1.964	17.95	17.95
4.026	0.521	-1.959	-2.351	17.41	17.41
4.032	0.589	-1.228	-1.347	15.21	15.21
4.036	0.658	-1.228	-1.702	15.82	15.82
4.040	0.718	-2.312	-2.357	16.01	16.01
4.048	0.748	-2.312	-2.357	16.01	16.01
4.052	0.748	-2.312	-2.357	16.01	16.01
4.059	0.748	-2.312	-2.357	16.01	16.01
4.074	1.268	-8.400	-14.40	-2.357	14.91
4.082	1.308	-8.910	-15.15	-1.884	15.21
4.090	1.426	-8.910	-14.62	-2.325	14.85
4.095	1.492	-9.327	-15.49	-2.357	15.81
4.100	1.492	-9.327	-15.49	-2.357	15.81

##### 2、使用 Media Player Classic 截圖並利用 tracker 計算落點

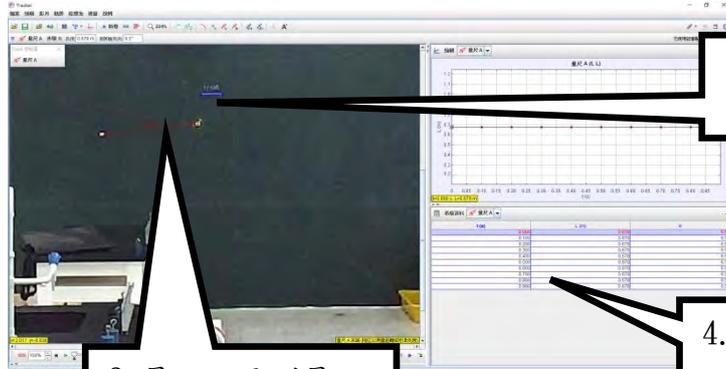
- (1)、 Media Player Classic 載入影片檔並以慢動作播放。
- (2)、 找出瓶蓋的落點影格，並截圖下來。
- (3)、 tracker 載入截圖。
- (4)、 新增校正桿：在目標牆上先繪製一直線作比例尺，將校正桿兩端取出一距離

離，並標記 0.15m。

- (5)、 使用量尺工具測量瓶蓋落點與雷射光點的距離(L)及角度( $\theta$ )。
- (6)、 利用 excel 計算該次射擊的落點與雷射光點的水平距離( $L \times \cos \theta$ )及垂直距離( $L \times \sin \theta$ )。



1. 以慢動作播放  
找出落點



3. 量尺工具測量

2. 進行校準：  
設定校正桿

4. 距離(L)及  
角度( $\theta$ )分析

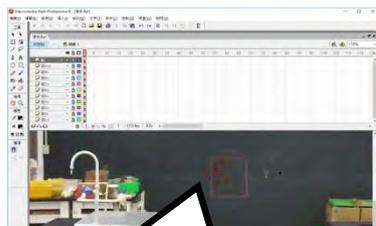
## (二)、射擊精密度

### 1、使用 excel 計算分佈情況

- (1)、 將每一次的落點分析後，分為水距離及垂直距離兩欄。
- (2)、 去除最高及最低的兩個值，計算其落差(第 2 大減去第 2 小)。

### 2、使用 flash 圖像化落點分佈

- (1)、 新增因應測試次數的圖層。
- (2)、 再新增一圖層在最上層，用以安放標記點位。
- (3)、 從最下層載入一張圖片。
- (4)、 在標記層將雷射準心以一黑點標記。
- (5)、 在標記層再以紅點標記瓶蓋落點。
- (6)、 把標示過的圖片層加以隱藏及鎖定，以防止不小心動到。
- (7)、 再往上一層，載入另一張圖，把雷射準心移到黑點標記的位置。
- (8)、 重覆(5)~(7)，直到落點皆標示完成。
- (9)、 以準心為圖心，向外做同心圓(每層間距 10cm)，用以標示落點情況。



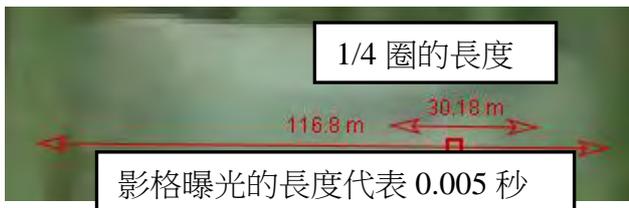
1. 以 flash  
一層一張圖  
點出落點



2. 以雷射點為圓心  
每 10 公分為間距  
作同心圓

### (三)、轉速測定

1. 將瓶蓋以黑色奇異筆標記。
2. 使用 iphone 以 240FPS 慢動作錄影。
3. tracker 載入影片檔。
4. 利用量尺工具測量完整的黑色軌跡與整個瓶蓋的軌跡長度。
5. 利用 excel 計算轉速。

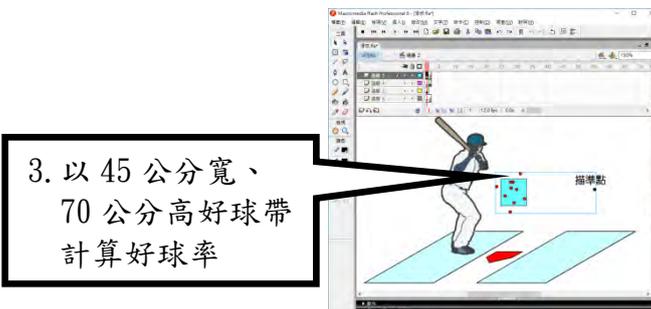


$$\frac{1}{4} \text{圈所需時間} = \frac{\frac{1}{4} \text{圈的長度}}{\text{影格瓶蓋曝光的長度}} \times 0.005$$

$$60 \div (4 \times \frac{1}{4} \text{圈所需時間}) = \text{轉速(每分鐘)}$$

### (四)、精確度

1. 在牆上畫出好球帶(45 公分寬、70 公分高)。
2. 以實驗的結果，做為參數，模擬不同球路進行 10 次射擊。
3. 將射擊結果做落點分析。
4. 調整好球帶位置，計算好球率最大值。



## 二、實驗變因討論

- (一)、使用 GoPro 及 iphone 分別記錄不同視角。
- (二)、把發射器設置在講臺，而目標牆則是教室後方的牆面，兩者距離 650 公分。
- (三)、使用三支腳架把發射器固定，在目標牆上標記出 15 公分的比例尺，在桌上擺設 50 分公的標準品。
- (四)、使用空壓機把發射器氣壓加到目標值。
- (五)、扣下板機發射。
- (六)、變因種類：
  1. 氣壓值：0.15Mpa、0.2Mpa。
  2. 瓶蓋擺法：水平時：凹朝下、凹朝上；  
垂直時：凹朝左、凹朝右；

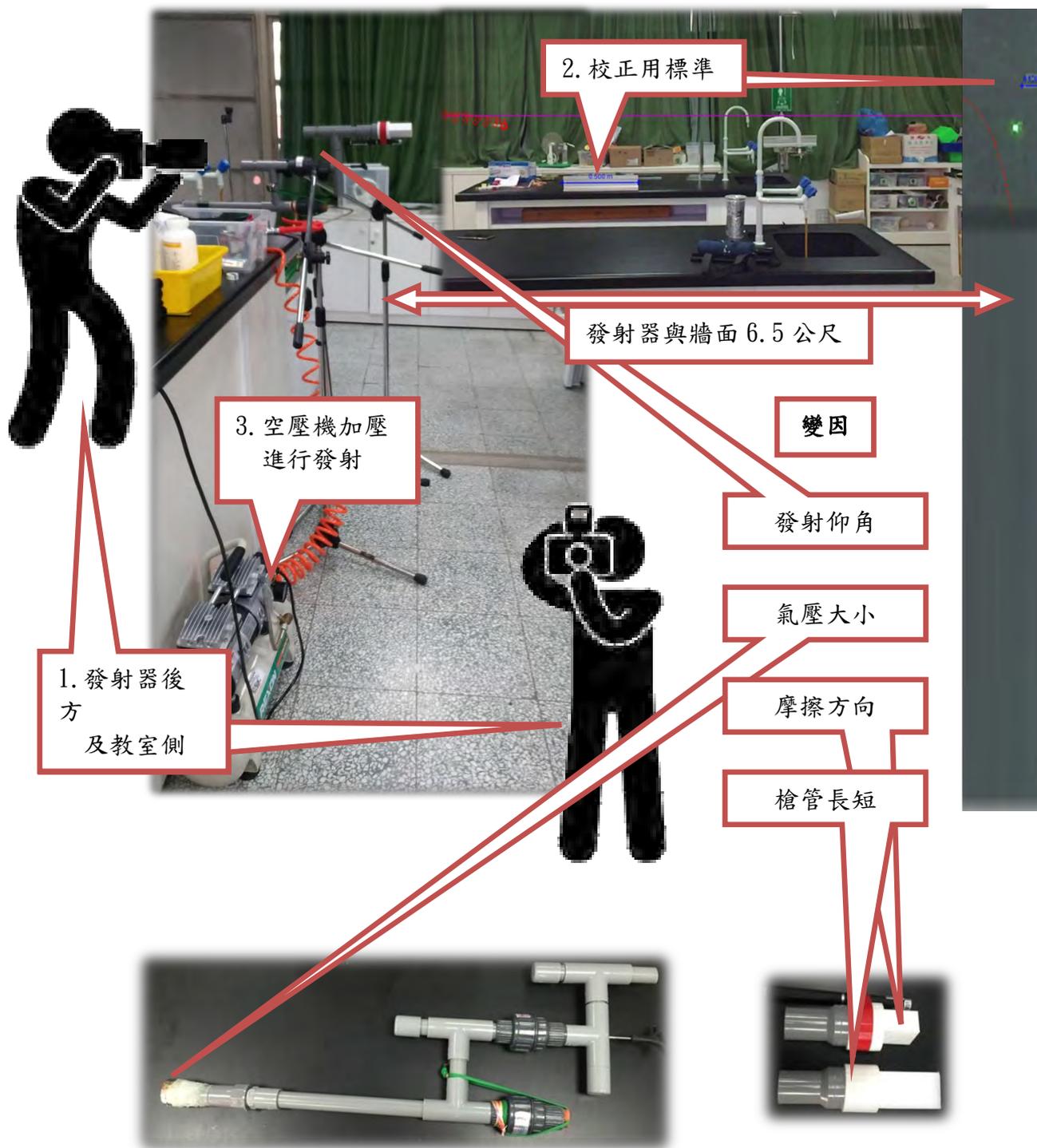
斜角時：凹朝下。

3. 發射仰角： +2.5 度(雷射準心比槍口高 30 公分) 、  
0 度(雷射準心跟槍口一樣高) 、  
-2.5 度(雷射準心比槍口低 30 公分)。
4. 槍管長短：3cm、6cm。
5. 摩擦方向：靠左邊、靠右邊。
6. 實驗的變因計有” 2 種槍管長短”、” 3 種氣壓值”、” 6 種瓶蓋擺法”、” 3 種發射仰角”、” 2 種摩擦方向”，若全數交叉進行實驗，需進行 216 組的實驗，因為時間因素，我們共計進行了 50 組實驗，詳見下表。

編號	長短	氣壓	瓶蓋擺法	旋轉	仰角	編號	長短	氣壓	瓶蓋擺法	旋轉	仰角
1	短	0.15	凹朝下	左旋	-2.5	24	長	0.2	凹朝上	X	0
2	短	0.2	凹朝下	左旋	-2.5	25	長	0.15	凹朝下	X	2.5
3	短	0.15	凹朝上	左旋	-2.5	26	長	0.15	凹朝上	X	2.5
4	短	0.2	凹朝上	左旋	-2.5	28	長	0.15	凹朝下	X	-2.5
5	短	0.2	凹朝下	左旋	0	29	長	0.15	凹朝上	X	-2.5
6	短	0.2	凹朝上	左旋	0	30	長	0.2	凹朝下	左旋	0
7	短	0.2	凹朝下	左旋	2.5	31	長	0.2	凹朝上	左旋	0
8	短	0.2	凹朝上	左旋	2.5	32	長	0.2	凹朝下	左旋	2.5
9	短	0.2	凹朝上	右旋	0	33	長	0.2	凹朝上	左旋	2.5
9.5	短	0.2	凹朝下	右旋	0	34	長	0.2	凹朝下	左旋	-2.5
10	短	0.2	凹朝下	右旋	2.5	35	長	0.2	凹朝上	左旋	-2.5
11	短	0.2	凹朝上	右旋	2.5	36	長	0.2	凹朝左	下旋	0
12	短	0.2	凹朝下	右旋	-2.5	37	長	0.2	凹朝右	下旋	0
12.5	短	0.2	凹朝上	右旋	-2.5	38	長	0.2	凹朝左	上旋	0
13	短	0.2	凹朝左	下旋	0	39	長	0.2	凹朝右	上旋	0
14	短	0.2	凹朝左	上旋	0	40	長	0.2	斜 30 度	左旋	0
15	短	0.2	凹朝右	上旋	0	41	長	0.2	斜 45 度	左旋	0
16	短	0.2	凹朝右	下旋	0	42	長	0.2	斜 45 度	右旋	0
17	短	0.2	斜 45 度	左旋	0	43	長	0.2	斜 30 度	右旋	0
18	短	0.2	斜 30 度	左旋	0	44	短	0.2	凹朝下	X	0
19	短	0.2	斜 45 度	右旋	0	45	短	0.2	凹朝上	X	0
20	短	0.2	斜 30 度	右旋	0	46	短	0.2	凹朝下	X	2.5
21	長	0.15	凹朝下	X	0	47	短	0.2	凹朝上	X	2.5
22	長	0.15	凹朝上	X	0	48	短	0.2	凹朝下	X	-2.5
23	長	0.2	凹朝下	X	0	49	短	0.2	凹朝上	X	-2.5

### 三、實驗場地設計說明

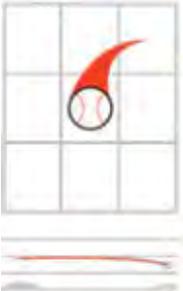
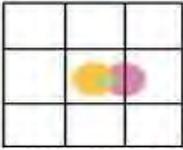
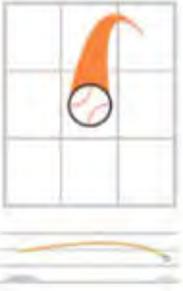
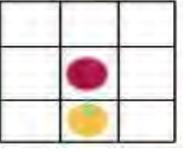
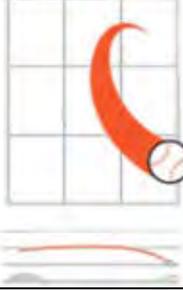
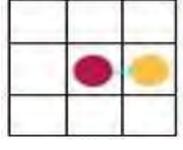
我們利用實驗室架設實驗場地，從影片上觀察，瓶蓋棒球的場地大小大約是籃球場的三分線頂到底角，大約是 9 公尺，但因為實驗室本身的大小限置，我們可以設置最遠的距離大約就是 6.5 公尺，為了找出不同視角的資訊，一個人發射，另外兩個人在發射器後方及側邊進行攝影。



## 伍、研究結果及討論

### 一、研究目前已知的球路

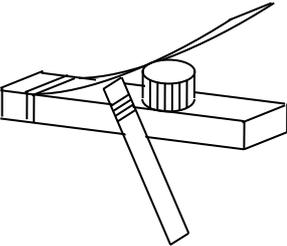
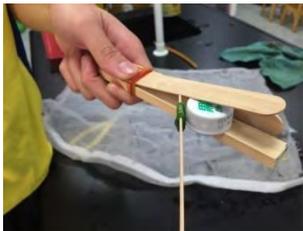
我們的組員都不是棒球狂熱者，所以想先了解棒球的球路，並找出其重點，才能了解我們到底要測量那些數據。

球路屬性	球路名稱	球路示意圖 (旁觀者視角)	擊球點預測圖 (打擊者視角)	球路重點 (探究我們要測量什麼)	瓶蓋棒球手投 可行性
基本球路	快速直球			速度快，球路大致為直線，但後期會稍稍掉下。  主要利用 <b>速度</b> 使打者反應不及出局	可
速度變化	變速球			球路和快速直球路幾乎一樣，但和快速直球交叉使用，造成球 <b>速變慢</b> 的感覺，破壞節奏。  基本上，就是 <b>速度較慢</b> 的直球。	可
垂直變化	指叉球			球在本壘附近的產生下墜，其下墜幅度，比起快速球自然掉下的幅度來的大  相較於直球是會 <b>產生垂直變化</b> 的球路。	可
水平變化	滑球			球會像畫出一道弧線，從好球帶向兩側轉彎，或是從兩側向好球帶彎進來，讓打者產生誤判。  相較於直球是會 <b>產生水平變化</b> 的球路。	可
綜合變化	曲球			球會像畫出一道弧線般向打者的好球帶的左下角或右下角下墜。  相較於滑球是 <b>屬於垂直加上水平變化</b> 的綜合變化球路。	可

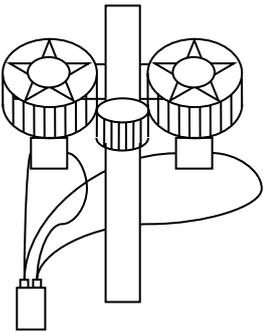
## 二、進行研發，自製發射器。

了解球路的不同，自己也練習瓶蓋棒球投擲，但畢竟不是專業的，所以不能每次都投出想要的球種及路徑。而且也沒法量化每一次投擲的狀態，無法比較，難怪理化一開始要教測量的方法！我們就開始發想，而製作了以下的發射器。

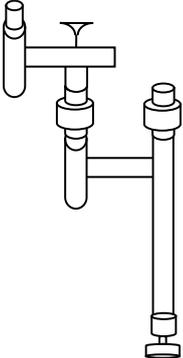
### 第一代：仿彈球發射器

發想物	示意圖	實體照片	優缺點
			<p>優點： 簡易， 可配合手部動作</p> <p>缺點：無法量化</p>

### 第二代：仿棒球發球機

發想物	示意圖	實體照片	優缺點
			<p>優點： 容易量化， 可調整距離</p> <p>缺點： 射程不長 無法配合手部動作</p>

### 第三代：改造 JSPB 氣槍

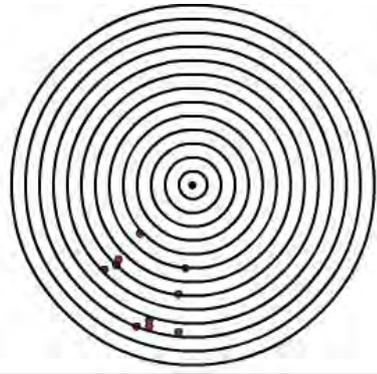
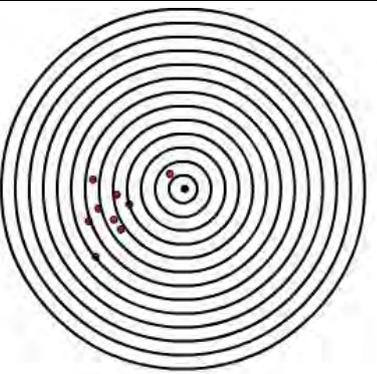
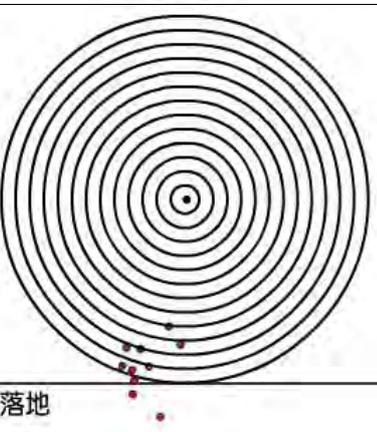
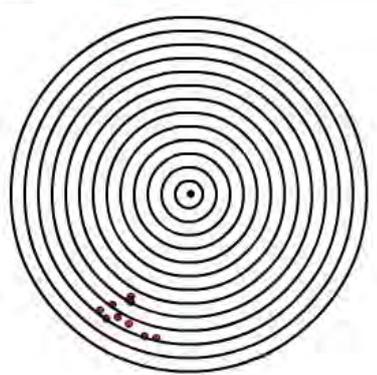
發想物	示意圖	實體照片	優缺點
			<p>優點： 可調整氣壓， 精準， 容易操作， 可量化， 速度快</p> <p>缺點： 無法配合手部動作</p>

第一代仿彈球發射器，能成功發射，點燃了我們改造的心，但第二代仿棒球發球機，我們受限在經費，沒法買更高轉速的馬達，去解決射程的問題，轉而利用手邊容易取得的水管去製作 JSPB 氣槍，讓我們設定的操作變因可以量化進行比較，並改造打氣筒及氣閥的部分，增加操作上的穩定性。

三、研究各項變數，找出瓶蓋軌跡變化的原因。

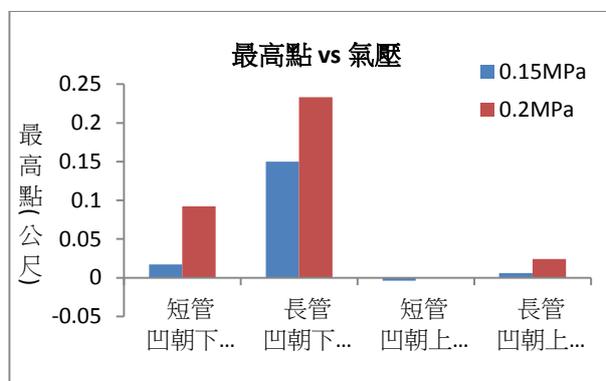
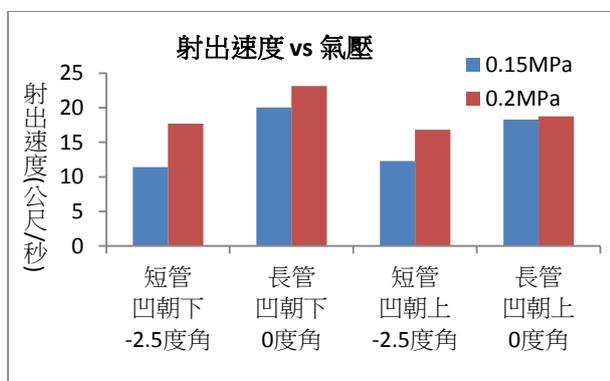
能順利發射瓶蓋後，我們第一件事要了解這個發射器，不可靠，所以要先測量精密度，以它們的集中度來代表其可信度，希望可以這個發射器是可以被我們的變因所控制的。

(一)、精密度

<p>槍管：3 公分 氣壓：0.15Mpa 瓶蓋：凹面朝下 摩擦：左旋 仰角：-2.5 度</p>		<p>水平距離：29 公分 垂直距離：66 公分 水平分散：39 公分 垂直分散：42 公分 若好球帶有 45 寬x70 高，基本上都可以投進好球帶。</p>
<p>槍管：3 公分 氣壓：0.2Mpa 瓶蓋：凹面朝下 摩擦：左旋 仰角：-2.5 度</p>		<p>水平距離：46 公分 垂直距離：12 公分 水平分散：24 公分 垂直分散：36 公分 相較於 0.15Mpa，精密度有明顯的提升。</p>
<p>槍管：3 公分 氣壓：0.15Mpa 瓶蓋：凹面朝上 摩擦：左旋 仰角：-2.5 度</p>	 <p>提早落地</p>	<p>水平距離：24 公分 垂直距離：111 公分 水平分散：23 公分 垂直分散：36 公分 有幾個瓶蓋直接墜地，其它的很集中在地面附近。</p>
<p>槍管：3 公分 氣壓：0.2Mpa 瓶蓋：凹面朝上 摩擦：左旋 仰角：-2.5 度</p>		<p>水平距離：45 公分 垂直距離：85 公分 水平分散：26 公分 垂直分散：27 公分 集中在地面附近，呈現高度集中。</p>

## (二)、氣壓大小

直球講求速度，最直覺的原因當然就是射出去的力道，也就是氣壓大小，但氣壓大小除了影響球速外，是否還有其它影響呢？我們也只能對所有應變變因進行討論。

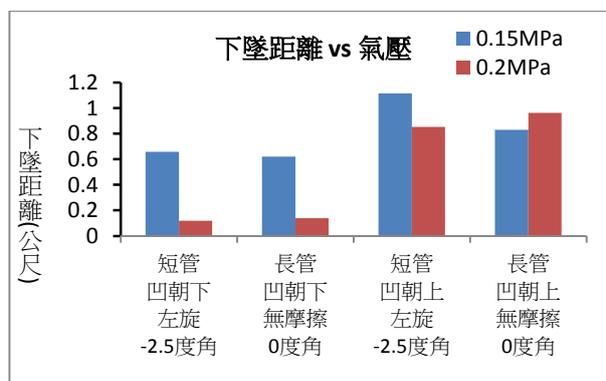
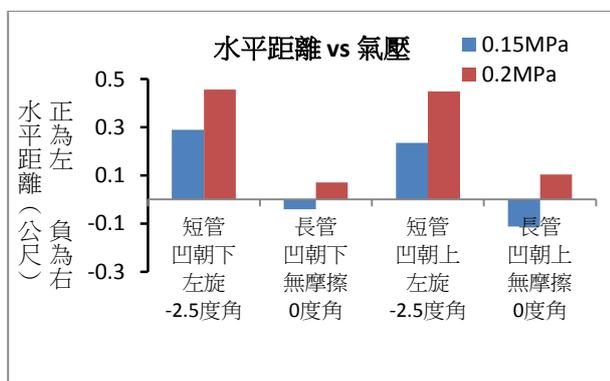


我們把側方的鏡頭進行軌跡分析，見上圖，很明顯可以看到氣壓越大，瓶蓋的平均速度就比較快，而最高點也會比較高，較具有對抗重力延遲下墜的能力。

氣壓大小會直接影響到球速的快慢，根據牛頓第二運動定律，

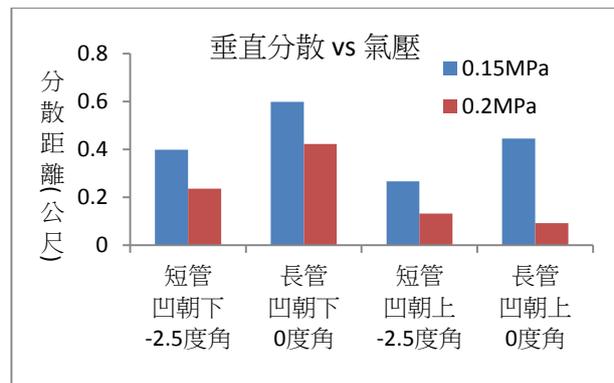
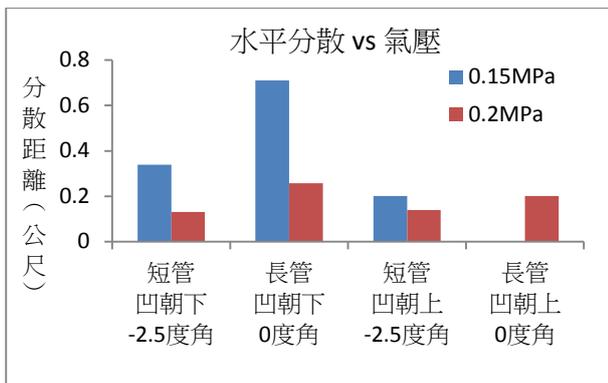
$$\text{外力(F)} = \text{質量(m)} \times \text{加速度(a)}$$

氣壓越大，推擠瓶蓋的力量也越大，相對的就會產生比較大的加速度，也就產生比較大的速度，因為速度變快，瓶蓋在空中停留的時間更少，被重力拉下來的程度也就減少。



落點分析時，我們看到水平距離的變化，無摩擦的部分，基本上差距不大都在±0.1公尺，但若是同樣左旋的槍管，則可以看到若氣壓大，則偏離的幅度也大。所以旋轉的有無，應該與水平距離有關係。

在垂直距離則變成跟左旋或無摩擦無關，而是跟瓶蓋擺法較有關，若瓶蓋凹面朝下，則氣壓越大，對抗重力能力也越大，但若瓶蓋凹面朝上，則沒有太大差別。所以瓶蓋擺法應該與下墜距離有關係。



從分析結果來看，**氣壓大相對落點較穩定**，而且在我們實驗過程中，氣壓只有 0.15MPa 時，常會打不到目標牆，或是發生卡彈的情況。

一般的好球帶大約是 45 公分寬、70 公分高，職業棒球投手能把球投進好球帶外，還能針對邊邊角角大約長寬 10 公分的區域進行投球，真的太厲害了。根據牛頓第二運動定律，

$$\text{外力(F)} = \text{質量(m)} \times \text{加速度(a)}$$

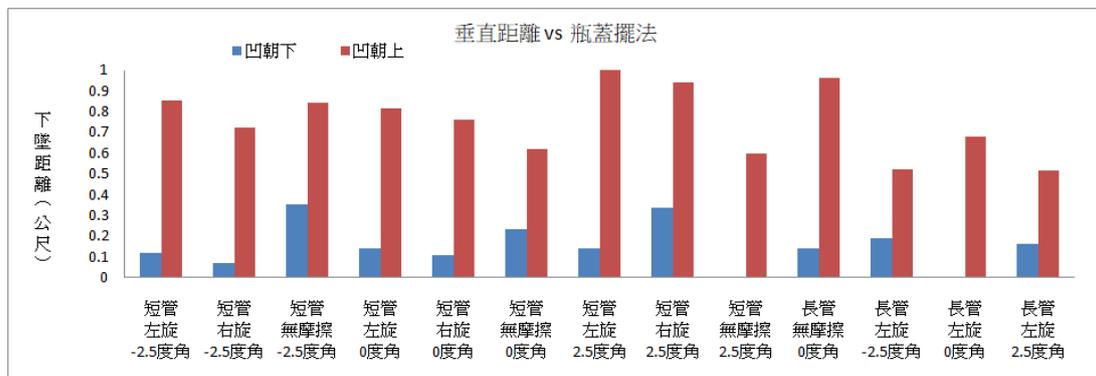
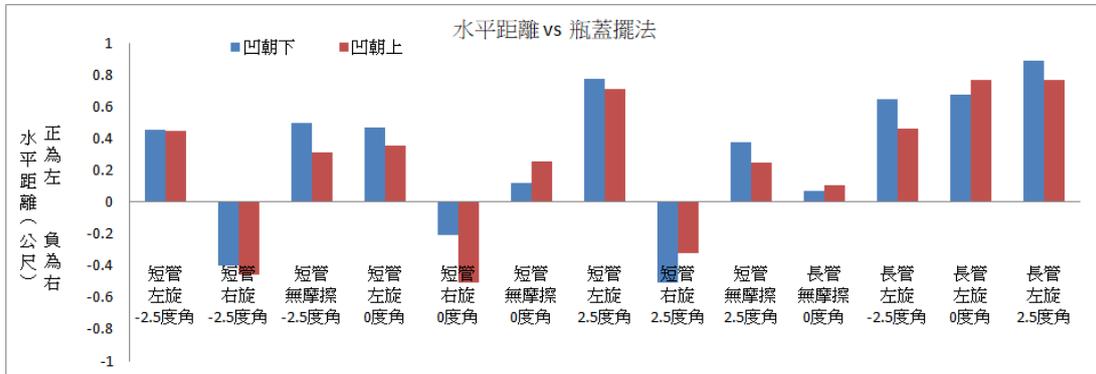
質量大小相對也是對抗外力的依據。棒球的質量大約 145 公克左右，但瓶蓋只有 2 公克左右，相對之下質量更小，也更容易受到其它力量影響，我們自製的瓶蓋棒球投球機，多能控制在長寬 30 公分內，雖然無法與專業棒球投手相比，但應該是不錯了。

因為瓶蓋質量比較輕，若速度不夠快，容易被其它因素所影響，質量 × 速率 = 動量，單位時間內動量的變化就是力量，所以當承受一定力量時，動量越大，相同的損耗就會佔比較少的影響，所以從實驗中也可以得證，當氣壓只有 0.15Mpa 時，比較容易出現瓶蓋提早著地的情形。

氣壓大小是我們最早想到測試的變因，除了明確可以推論與球速有關外，也讓我們知道接下來分析的可能性，同時決定了我們後續要以多大的壓力進行實驗。綜合以上各項結果，重點是在瓶蓋的穩定度，我們接下來的實驗，多以 0.2MPa 進行實驗。

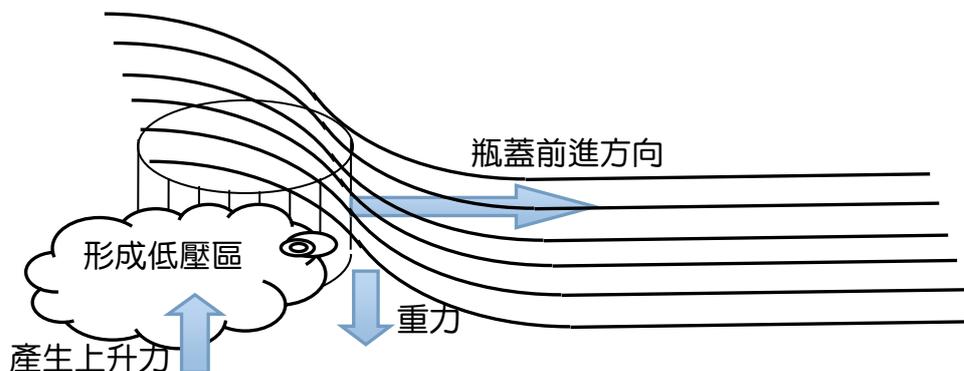
### (三)、瓶蓋擺法

由氣壓的分析中，可以看出瓶蓋擺法與下墜距離有關。那瓶蓋擺法，除了下墜距離外是否有其它影響呢？



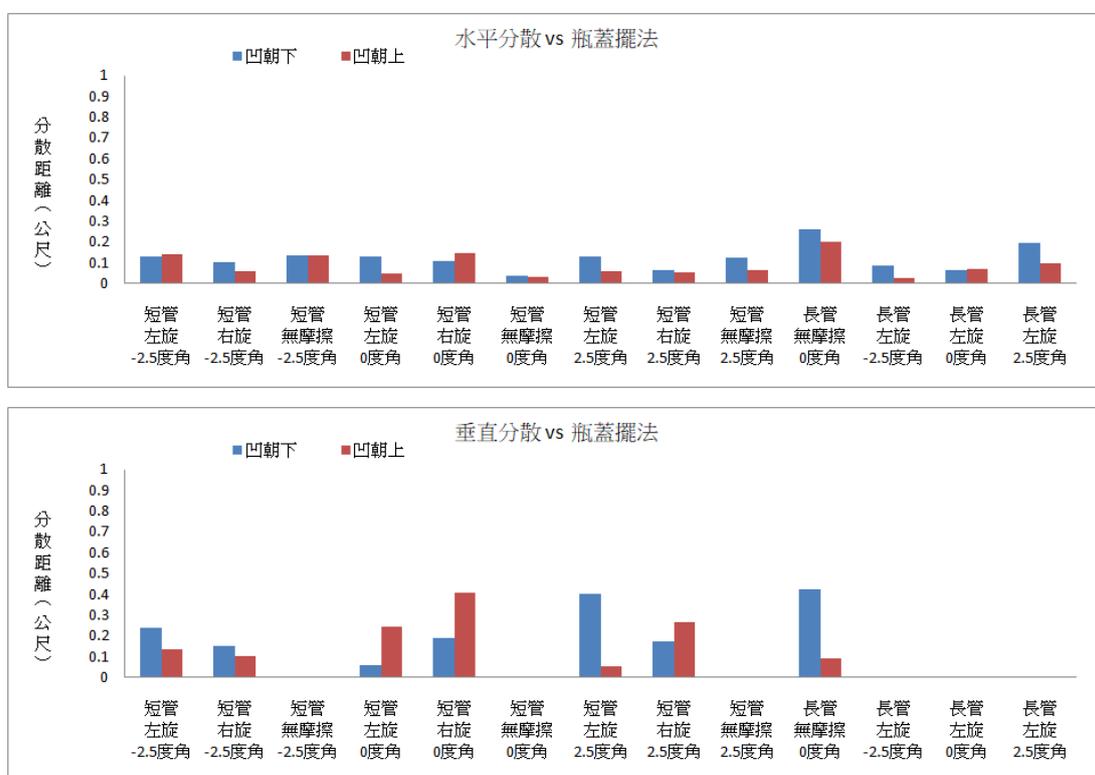
落點分析可以發現瓶蓋擺法，與水平距離並沒有太大關係，但對於垂直距離影響卻很大，瓶蓋凹面朝下，瓶蓋的軌跡會先向上飄再下墜，其下墜的幅度比較小，若瓶蓋凹面朝上，瓶蓋幾乎成直線軌跡，而且產生大幅度的下墜。

我們在查資料時，對於流體力學有白努力定律、馬格努斯效應及康達效應(附壁作用)，三種重要的解釋，最後我們覺得應該要使用康達效應去解釋為什麼瓶蓋擺法對下墜距離影響很大。



康達效應認為流體遇到物體而離開本來的流動方向時，有隨著物體表面流動的傾向，並使周圍流體逸入此一噴流中，使得周圍產生壓力較低的區域。我們覺得應該是瓶蓋向前飛行時，瓶蓋會推擠空氣，產生像騎腳踏車時的破風的情況，前方的空氣會被向上及兩側推送，而瓶蓋內就沒有空氣流入，形成低壓區，這個時候會使下方的空氣因此流入，形成一個上升的力量。這股上升的力量讓瓶蓋可以對抗重力，所以當凹面朝上時，瓶蓋會有先上升再下墜的球路出現。

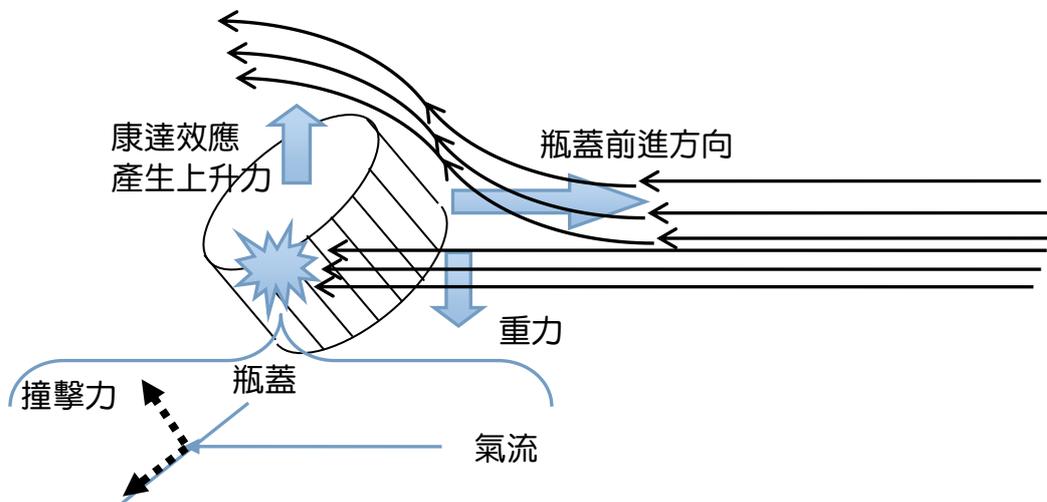
反過來，如果瓶蓋的凹面朝上，則形成的是下壓力，加上重力，兩者方向一致，而導致其下墜距離相較與凹面朝下的瓶蓋下墜距離都較大的情況，從我們分析棒球的球路中可知此在實務面上發射瓶蓋應要凹面朝下，才能有較正常的球路。



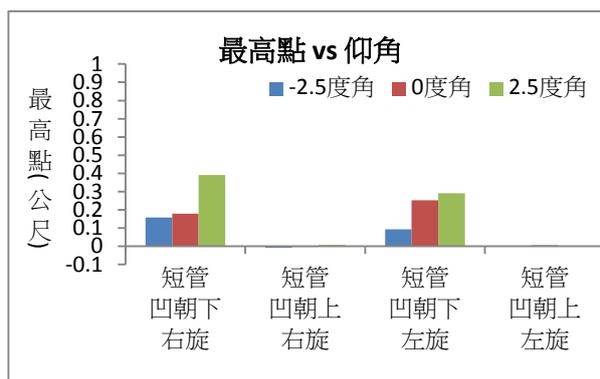
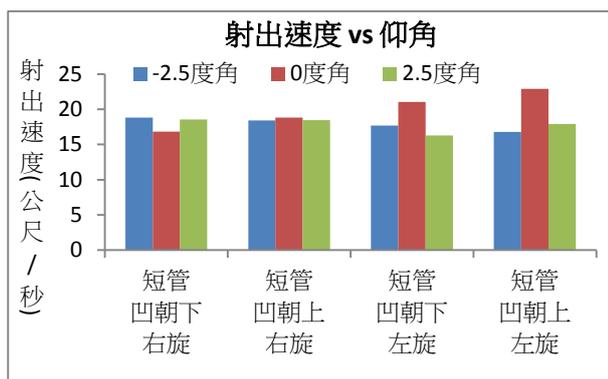
把落點分散的情形進行分析，則看不出瓶蓋擺法對於瓶蓋的精密度有什麼影響。也就是說，瓶蓋不會因為擺法不同，出現不穩定的情形。

#### (四)、發射仰角

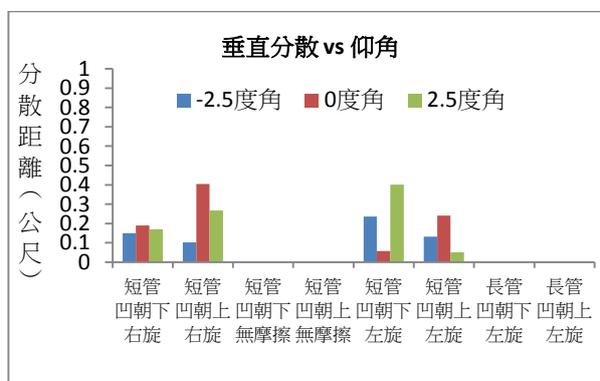
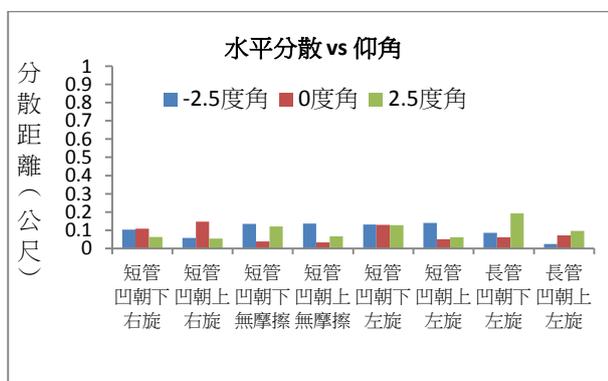
棒球的投手丘約比平地高出 25 公分，而瓶蓋棒球則沒有設置投手丘，我們認為空氣的流動應該會對瓶蓋造成撞擊，而產生一個大幅度向上彎的球路，所以我們設計了改變發射仰角的實驗，認為發射仰角改變時應該會造成如圖所示的情況，所以不需要有更高的投手丘。



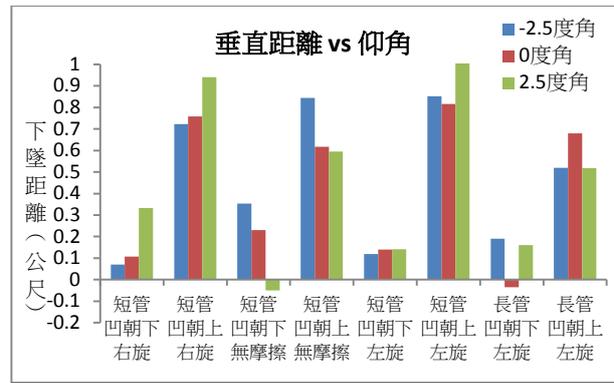
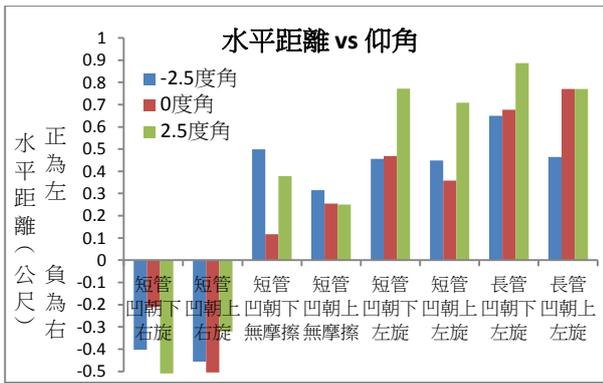
但若瓶蓋不以水平的方向投出，而是具有仰角，又會有什麼影響呢？



以仰角的設計，對於速度上也沒有明顯的差異性存在，加上對於落點的調整與分佈沒有造成差異性，只對於軌跡的最高點的規律倒是比較明確的，只要仰角大則最高點相對就高。

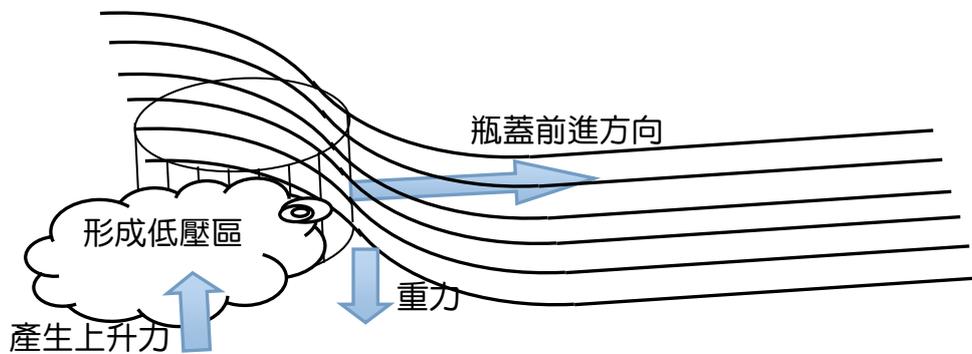


以落點分散的情形，水平分散或垂直分散多落在 30 公分的差距內，但從不同組別中觀察，仰角與其分散的情況就找不到有相關的地方。



在這組分析中，我們有八組的實驗數據，其中有加上摩擦的組別裡，多呈現仰角大時，水平距離及垂直距離都會比較大，但並非全都一致，而且無摩擦的情況與有摩擦的情況也不同，整體而言，我們找不到仰角與水平距離或是垂直距離有關連的數據，相對於其它變因造成的效果都近乎完全一致，或許造成這個現象的原因，或許來自於我們實驗操作上的誤差。

但實驗結果發現，仰角並沒有這樣造成球路產生大幅度變化的效果，仰角的改變為什麼沒有什麼功能？討論後，我們才重新想到是瓶蓋在動，而不是空氣在動，當我們把瓶蓋射出去，實際上空氣是不動的，在動的是瓶蓋本身，但上述所有的論證中，都是以空氣在流動做為概念，兩者的關係應改成下圖所示

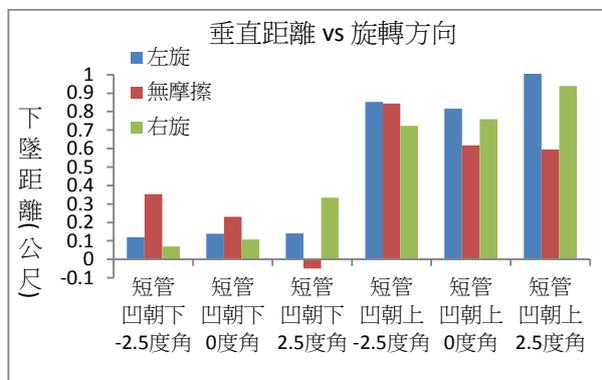
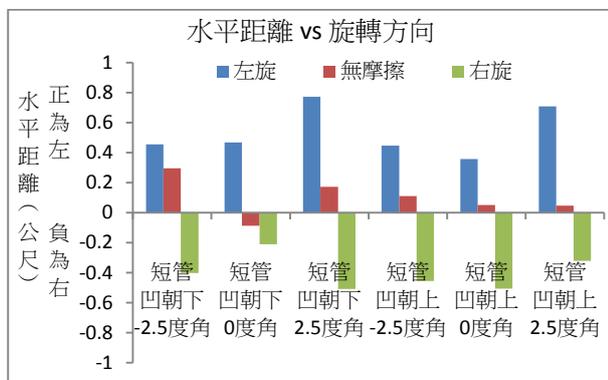


實驗中是有上升力，但只是等同與垂直差距仰角方向的上升力，而我們的仰角只有 2.5 度，角度太小導致跟水平發射時，沒有太大的差異。原本我們想再進行更大角度的變化，但以實際情況來說，應該是不會有人以 30 度或 45 度這樣大角度的向上或向下進行球賽，所以就做罷了。

雖然仰角的實結果跟我們原本預期的不同，但綜合以上結論，設計球路時，我們可以使用仰角來調整整體球路的高低，而不用考慮因為仰角不同而導致落點或運動軌跡產生連動變化。

### (五)、摩擦方向

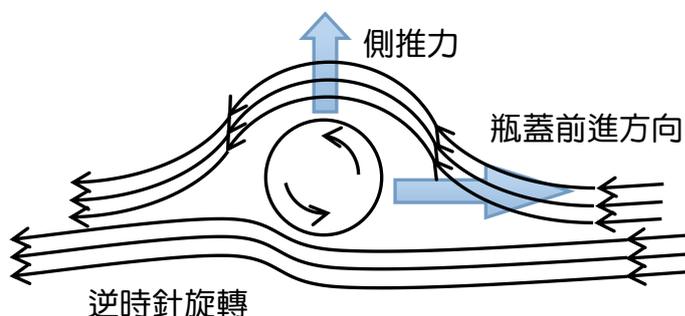
從氣壓的分析中就明顯可以看到旋轉的有無，應該是決定水平偏轉的主要因素，但除了水平偏轉的改變外，是否還造成其它影響嗎？



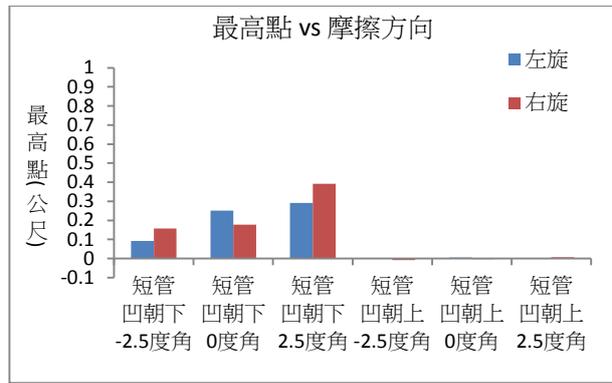
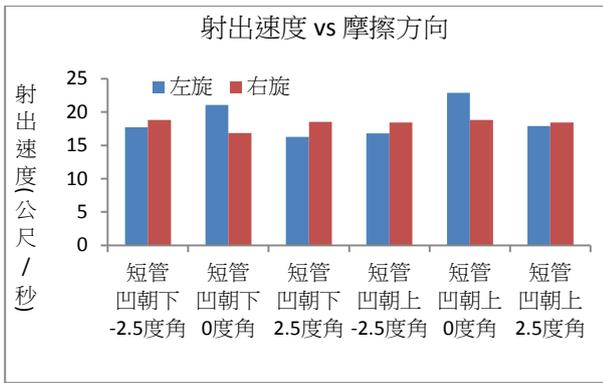
瓶蓋旋轉會造成瓶蓋在射出後，再改變方向，形成不同的球種，在發射器的左邊貼上砂紙，對瓶蓋造成兩方速度不一致，就會形成力矩，而使瓶蓋產生旋轉，而旋轉的瓶蓋在空氣中，則會產生側推力，而發生偏轉。

但明顯的當瓶蓋左旋時，瓶蓋的軌跡會向左偏轉，瓶蓋右旋時，則是向右偏轉，都會產生弧形的水平移動軌跡，可以用來模擬曲球等水平變化的球路。而且旋轉方向與似乎不會造成瓶蓋垂直額外的變化。

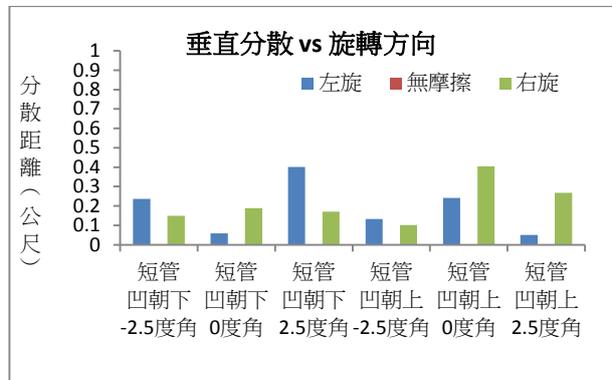
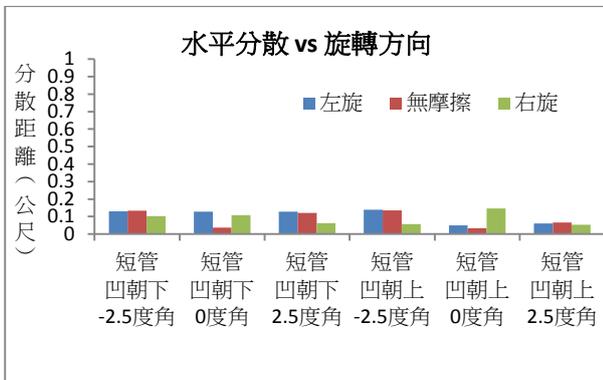
我們覺得應該要用流體力學的馬格努斯效應進行解釋，馬格努斯效應是一個流體力學當中的現象，是一個在流體中轉動的物體受到的力。流體速度增加將導致壓力減小，流體速度減小將導致壓力增加，這樣就導致旋轉物體在橫向的壓力差，並形成橫向力。同時由於橫向力與物體運動方向相垂直，因此這個力主要改變飛行速度方向，即形成物體運動中的向心力，因而導致物體飛行方向的改變。



所以當瓶蓋旋轉時，就能產生側推力，可以用來設計不同的球路球種，從水平變化的滑球，到垂直變化的指叉球，都可以利用這個原理來完成。



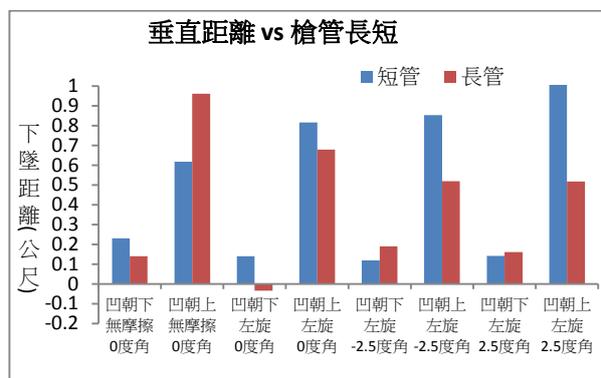
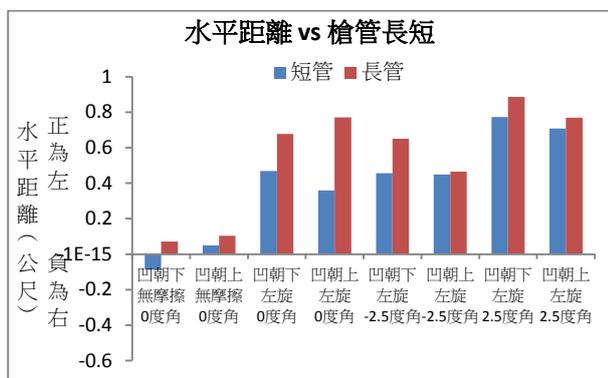
利用砂紙的粗糙使其中一邊的運動受到阻礙，進而產生旋轉的效果，若砂紙的摩擦在左邊，瓶蓋射出時，左方就會較慢，右方較快產生不平衡的力矩，使瓶蓋產生逆時針旋轉，由軌跡分析，左旋跟右旋並不會對速度造成影響，而最高點也是由凹面方向及仰角共同影響。



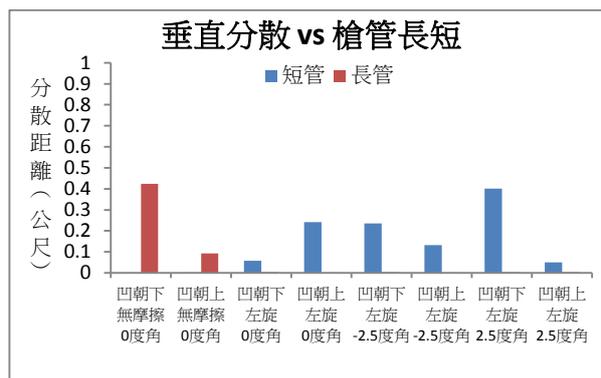
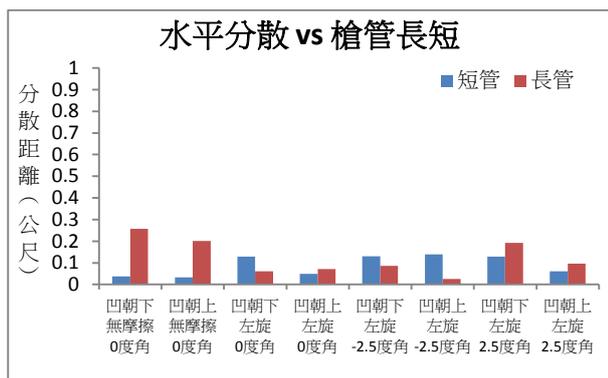
但垂直方向上的穩定度似乎會被左右旋影響，看起來不加旋轉的落點裡，垂直分散都很集中，但實驗過程中，沒加摩擦時，常會出現瓶蓋產生飄忽的情況，甚至產生上下不斷翻轉的情況而導致瓶蓋提早失速著地，這些提早著地的瓶蓋並不會被計算在平均內。所以摩擦應該可以用來控制瓶蓋的方向，而且提升穩定度。

## (六)、槍管長短

我們從之前的分析知道摩擦可以用來控制瓶蓋的方向，但如何調整摩擦的強弱呢？所以我們利用槍管的長短加上控制，槍管越長可以貼的砂紙也越長，理論上也可以產生更強旋轉。



從實驗中，可以明顯的證明我們的想法，槍管長的水平距離，都比短槍管的水平距離長，換言之，如果我們想製作一個較大幅度的球路轉彎，我們就可以使用較長的槍管去製作更強的旋轉。而從垂直距離來看，除了沒有摩擦的外，其餘長管摩擦的下墜的程度都比短管摩擦的少，是否因為摩擦加強，也能增加對抗重力的能力？



從分散的情形來看，沒有摩擦本身在長短管的差異就非常小，而且短管有常不穩定提早著地的情況，其餘長管摩擦的分散都比短管摩擦的小，顯示出旋轉會使瓶蓋更加穩定，應該可以提高好球率。

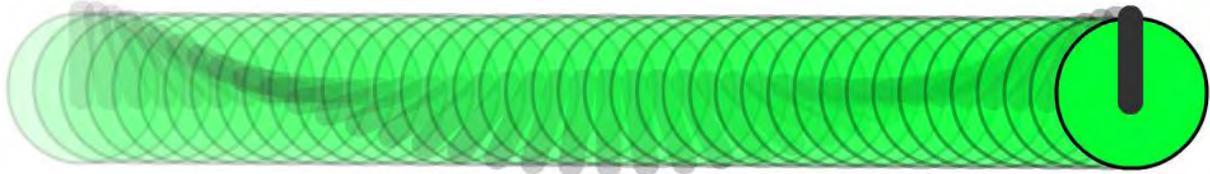
我們透過實驗也驗證了加長槍管的長度可以提高瓶蓋偏轉的幅度，我們假設是因為轉速的提升，但一直找不到高速攝影機可以借，所以一開始沒有方法測量轉速，但我們一直想證明這件事，而我們使用的手機或 GoPro，雖然可以拍到落點，也可以去追蹤速度，但畢竟還是業餘的東西，無法很精準的拍到瓶蓋上的標記，影片內的畫面都像下面的截圖



原本以為看到的那條黑線，就是我們的標記，但總會有幾個影格消失，而且這條黑線也只會

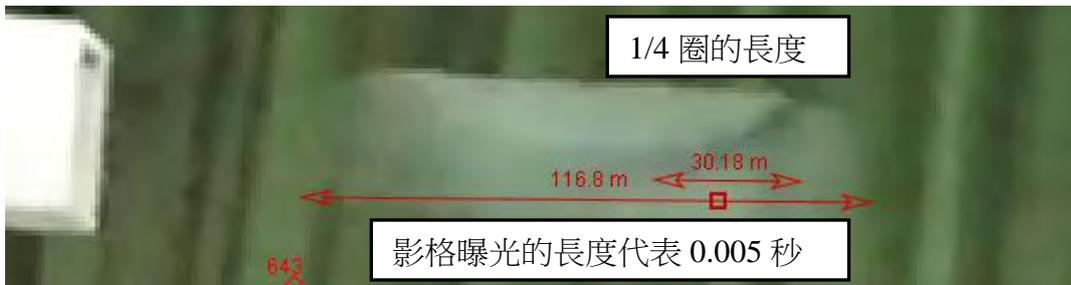
出現在瓶蓋軌跡的上半部，下半部都不會有，這些情形一直讓我們很困惑，也無法測出轉速。

在一次討論中，我們意外的用 flash 去繪製瓶蓋的移動，竟然讓我們發現了那條黑線的秘密，下方是 flash 的作圖(開啟描圖紙模式，即可看到其移動軌跡)。



原來我們看到的那條黑線並不是我們的標記，而是標記在轉動，是瓶蓋向前移動沒有被蓋掉的部分所連起來的，當標記轉到下方時，就都會被蓋住，所以看不到，但我們可以從 flash 的作圖看到黑線的波動性。

我們可以找到標記從上方到水平的那 1/4 圈，再利用之前測出來的速度，回推每一影格曝光時間約為 0.005 秒，我們再利用黑線的長度來反推轉 1/4 圈的時間，就可以求得轉速。

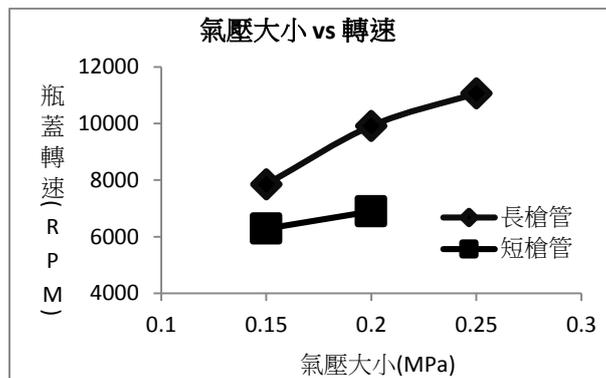


再利用以下式子回推轉速：

$$\frac{1}{4} \text{圈所需時間} = \frac{\frac{1}{4} \text{圈的長度}}{\text{影格瓶蓋曝光的長度}} \times 0.005$$

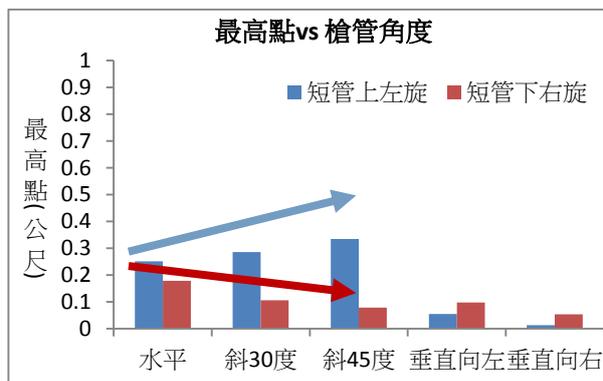
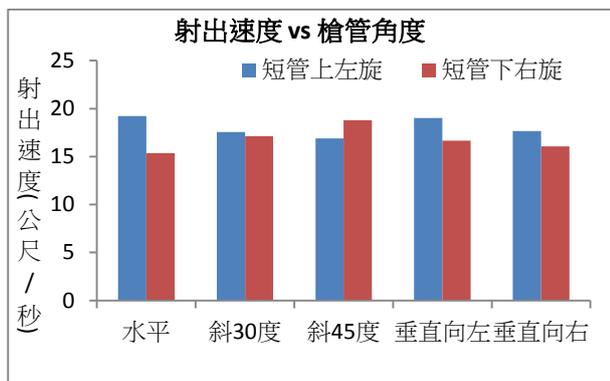
$$60 \div (4 \times \frac{1}{4} \text{圈所需時間}) = \text{轉速(每分鐘)}$$

終於我們可以把轉速量化，而也順利佐證我們的假設。



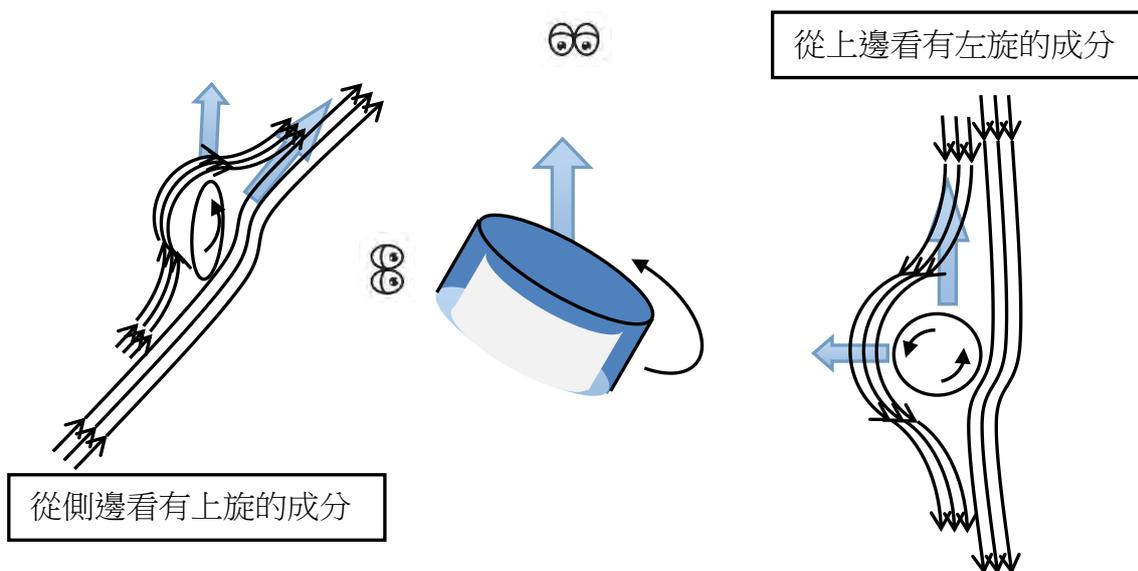
### (七)、槍管角度

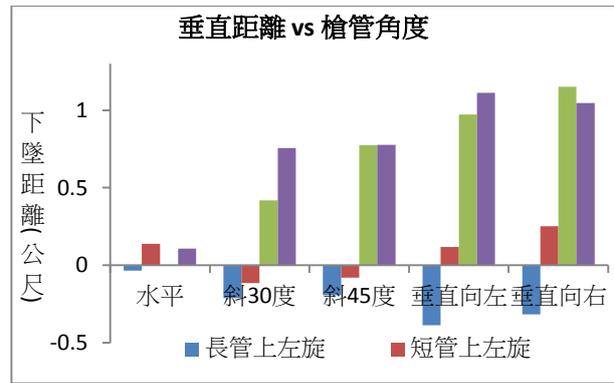
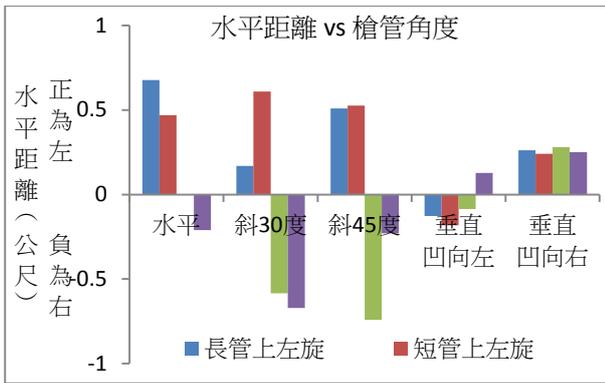
在理解這些事情後，可以簡化瓶蓋運動的變因及結果：也就是氣壓可以控制速度，瓶蓋擺法控制上升力的方向，旋轉控制發射後改變的方向，我們可以透過這三個參數的控制來設計球路，那若其兩者同時作用，不知道會怎樣？所以我們想把瓶蓋擺斜斜的，看會有什麼影響？，最後我們則是設計槍管角度來看一下兩者的交互影響。



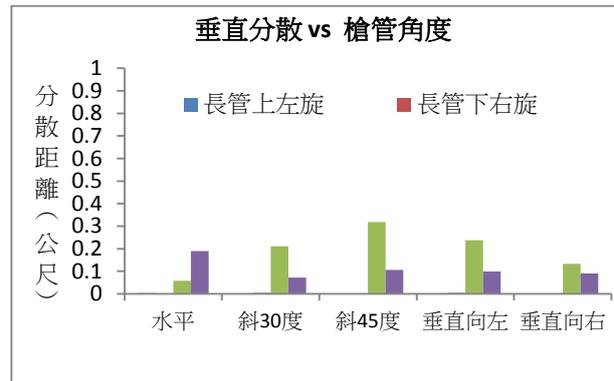
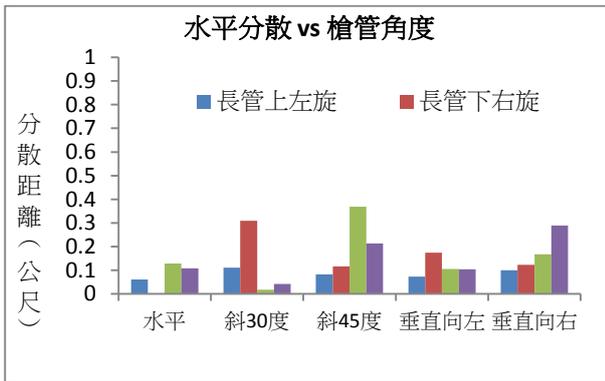
把槍管旋轉後對於速度上來並沒有產生太大的變化，但在最高點的斜擺時左右旋竟會產生不同的反應(右上圖)，左旋時最高點會變高，右旋時最高點卻會變低，這也是值得討論的現象。

討論初期，我們覺得實驗的數據很怪，但經過幾次討論，當我們把槍管順時針旋轉 30 及 45 度角時，若是把視角分成兩部分，從上邊看，就是所謂的左旋，但若是從側面看，就會看到瓶蓋是向上旋轉的，所以左旋時，應該包含了上旋，應該叫上左旋，而右旋時則包含了下旋的成分，應該叫下右旋，上左旋時因為有上旋的部分所以最高點會變高，下右旋時有下旋的部分最高點卻會變低，討論至此，也顯的合理。





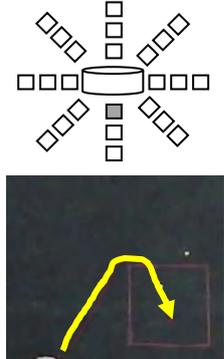
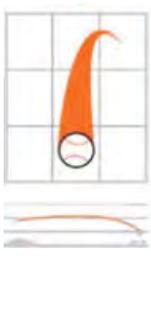
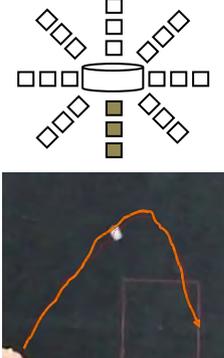
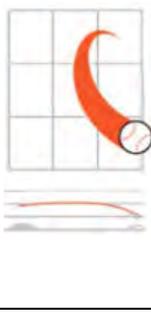
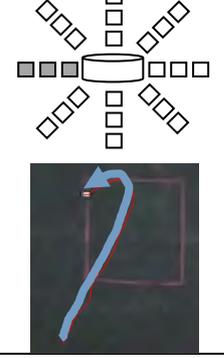
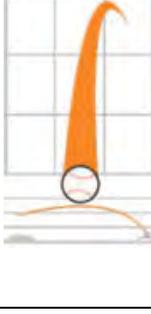
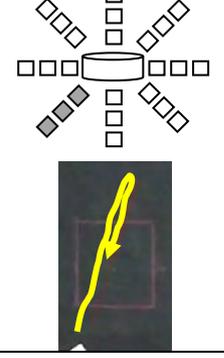
這裡我們發現了一些有趣的情況，若擺垂直的，瓶蓋的水平距離會變小，而產生大幅度的垂直變化，甚至可以產生向上彎的球路。



但斜擺時可能因為同時混雜了太多因素，分散的程度都偏高，尤其是水平的部分，但也可以發現長管的分散比短管的分散小，也可以佐證旋轉可以加強瓶蓋的穩定性。斜擺時，球路會在水平及垂直上都產生明顯的偏移，可以把這種擺法拿來設計成曲球球路，非常帥氣。

四、利用自製發射器，實現不同的球路。

經過以上分析可以得到幾個推論：壓力決定速度、瓶蓋凹朝下可抵抗重力、旋轉方向決定球路變化、槍管長變化，再加上調整槍管角度，我們就可以設計我們想要的球種。

屬性	名稱	球路示意圖	套用參數	球路重點	實際測試結果
速度	快速球		<p><b>* 氣壓大速度快</b></p> <p>槍管：3 公分            氣壓：0.25Mpa            瓶蓋：凹朝下            摩擦：左旋</p>		
垂直變化	指叉球		<p><b>* 向下旋下墜大</b></p> <p>槍管：6 公分            氣壓：0.2Mpa            瓶蓋：66.5 度凹朝右            摩擦：左下旋</p>		
水平變化	滑球		<p><b>* 向左旋向左彎</b></p> <p>槍管：6 公分            氣壓：0.2Mpa            瓶蓋：凹朝下            摩擦：左旋</p>		
綜合變化	曲球		<p><b>* 45 度綜合變化</b></p> <p>槍管：6 公分            氣壓：0.2Mpa            瓶蓋：45 度凹朝右            摩擦：左下旋</p>		

## 陸、結論

科技來自於人性，人性發自於好奇，玩樂中，蘊育著很多科學原理，日本人把小朋友在玩的遊戲發展成一種運動，而我們被酷炫的球路所吸引，想了解背後的原理過程中，瓶蓋棒球是了解流體力學的好運動。

- 一、我們改裝了 JSPB 氣槍，藉以產生穩定的推進力，做為瓶蓋發射器。
- 二、結合 3D 列印製作不同的槍頭，加上砂紙來模擬出手時的摩擦，產生不同球路。
- 三、瓶蓋的凹面會因為康達效應產生一股推向凹面的力，當凹面朝下，就能產生一股推向凹面也就是向上的浮力主因，得以對抗重力延遲下沉。
- 四、摩擦造成旋轉，移動中的旋轉因為馬格努斯力造成球路的改變，利用不同長度的槍管，產生不同程度的旋轉。
- 五、開發了一種沒有高速攝影機，也能測量物體高速移動而且高速旋轉的轉速的方法。
- 六、我們利用自製的發射器成功實現多種球路。

在教室玩鬧的內容或許充滿著科學概念，而在時代的洪流之中，或許就會發展成一套全新的熱門運動，希望我們在瓶蓋棒球發展上做出貢獻，說不定會掀起風潮。

## 柒、未來展望

在 50 組的實驗過程中，每改一種變因，都需要換槍管或是旋轉槍管等動作，我們也一直在思考能否改進槍管設計，希望可以用同一個槍管，就能進行不同球路的發射。

為了實驗方便，我們使用高壓機來打氣加壓，但我們的發射器也可以直接用打氣筒打氣加壓，科技來自於人性，希望可以透過機電整合，裝置一台攜帶型的小加壓機，並將射擊參數可以數位化，讓發射器可攜並且使用上更智慧，若能達成上述功能，更可以加上物聯網的功能，用手機發射就更酷了。

我們所開發出來測轉速的方法，可以運用在高速移動同時又高速旋轉的物品上，這樣的功能可以去補強 tracker 軟體的功能，讓轉速測量更簡單。

## 捌、參考資料及其他

1. 七種瓶蓋投擲(7 種類のキャップ投げ) 取自 youtube  
<https://www.youtube.com/watch?v=uLjBrDtfVPc>
2. 瓶蓋投擲課程(キャップ投げ講座) 取自 youtube  
<https://www.youtube.com/watch?v=hZAyW9I9ng0>
3. 日本新運動「瓶蓋棒球」！ 震撼網友：教室就可以玩了取自三立新聞  
<https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=442427>
4. 台灣棒球維基館球種介紹  
<http://twbsball.dils.tku.edu.tw/wiki/index.php/%E4%BA%8C%E7%B8%AB%E7%B7%9A%E5%BF%AB%E9%80%9F%E7%90%83>
5. 馬格努斯效應取自維基百科  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%A9%AC%E6%A0%BC%E5%8A%AA%E6%96%AF%E6%95%88%E5%BA%94>
6. 【棒球百科】一起來打棒球吧！8 種基本球種介紹！取自巴哈姆特電玩資訊站  
<https://forum.gamer.com.tw/Co.php?bsn=60530&sn=115681>
7. 氣球飛輪取自興仁國中玩具物理學 ToyPhysics  
<http://www.hjjh.kh.edu.tw/toyphysics/28/index.htm>
8. 『觀念物理』：白努力定理的誤解與錯誤應用(物理雙月刊--中華民國物理學會)  
[https://www.ps-taiwan.org/Bimonth/article\\_detail.php?classify=c4&cid=20](https://www.ps-taiwan.org/Bimonth/article_detail.php?classify=c4&cid=20)
9. 【Fun 科學】康達效應取自 youtube  
<https://www.youtube.com/watch?v=quUm5eBNfl4>
10. 投手的秘密武器－變化球取自中學生網站  
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2015/10/2015102621081583.pdf>
11. 魔力棒球取自中山大學物理系 生活物理演示 活動簡介網頁  
<http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/>
12. 游偉哲、林子傑、陳愛蓮(2012)，退休電扇大變身－自製網球發球機，中華民國第 52 屆中小學科學展覽會
13. 張竣翔、黃羿寧、鄭乃嘉、洪瑄徽、江杰倫、夏睿謙(2008)，快打旋風-快打好手培育旋風計畫，中華民國第四十八屆中小學科學展覽會

## 【評語】 030101

本作品探究瓶蓋飛行軌跡與起飛階段受到因素的相關性，算是一件相當完整的作品，其優點為：

1. 自製瓶蓋定壓發射器，在發射器發射口加上不同細部設計，實現不同的發射變因。
2. 研究各項發射變數與瓶蓋飛行軌跡變化的原因。
3. 開發運動中高轉速瓶蓋的測量方法。

值得注意，以及可改進處：

1. 此類的科展題目已經相當的多，很多的控制變因而導致的飛行軌跡是已知道的答案。
2. 報告書的撰寫需多加注意，例如：摘要需能讓讀者清楚知道本研究之目標。

## 摘要

我們改裝了JSPB氣槍，藉以產生穩定的推進力，並結合3D列印製作不同的槍頭，加上砂紙的摩擦來模擬出手時產生的旋轉。

我們成功利用現有的器材對高速滾動的瓶蓋進行了轉速分析，克服沒有專業高速攝影機的困擾。

分析後，我們發現瓶蓋的凹面擺法是產生浮力的主因，可用以對抗重力延遲下沉；摩擦產生的旋轉會造成瓶蓋在行進中的改變球路；不同長度的槍管，能產生不同程度的旋轉，可有不同程度的球路變化。結合這幾項元素，我們成功實現多種球路，可提供有興趣的人練習打擊，希望在瓶蓋棒球運動的發展上做出貢獻，說不定會掀起風潮。

## 壹、研究目的

我們想探究瓶蓋的飛行軌跡的變化及成因，大致上分成以下幾個主題：

- 一、研究目前已知球路，找出其重點。
- 二、進行研發，自製發射器。
- 三、找出瓶蓋軌跡變化的原因。
- 四、開發運動中瓶蓋測量轉速的方法。
- 五、利用自製發射器，實現不同球路。

## 貳、研究動機

平時在教室打鬧成性的同學，時常在教室打起棒球，我們也不斷進化，從一開始丟粉筆到後來丟紙球，但到最後通常都是因為打到同學或是打破窗戶，被老師告誡訓斥，國中生的活力旺盛，超需要空間去宣洩，棒球是國球，大家都愛，但要找到地廣人稀的場地真的很難。

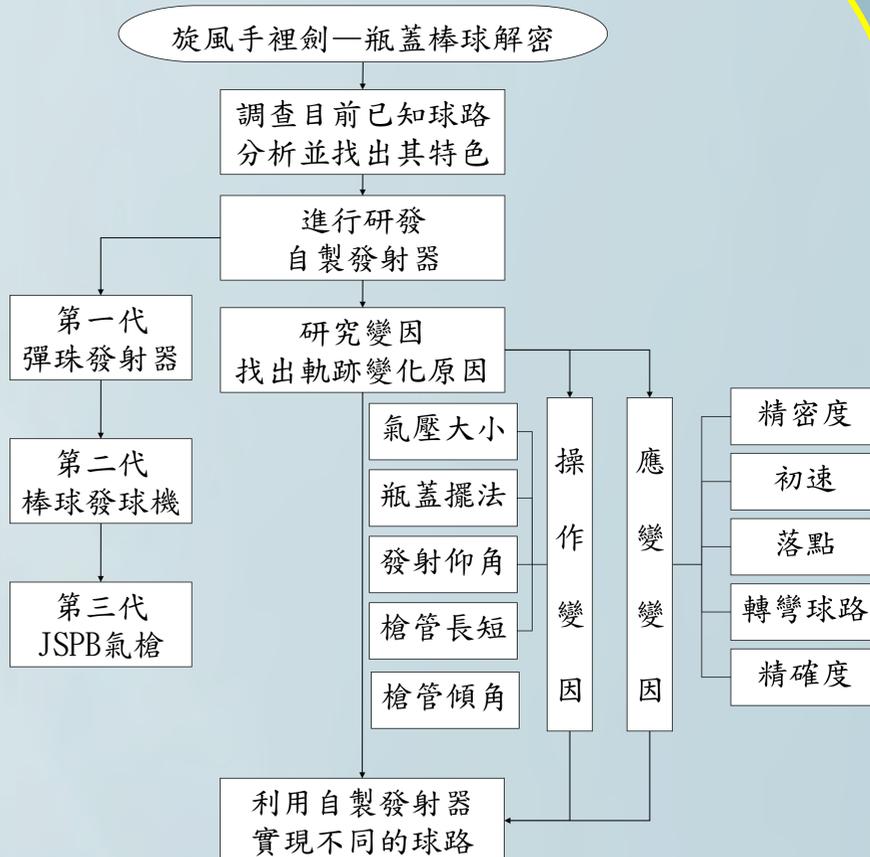
某次，在學校體育課時，身為生教組長的體育老師推薦給同學們一項運動，並給同學們觀看相關影片，這項運動就是「瓶蓋棒球」。

瓶蓋棒球，顧名思義就是用瓶蓋當球來進行的一種棒球運動，瓶蓋棒球可以在較小的空間中遊玩，也不用擔心像棒球一樣，打到人就受傷，因此，下課時就掀起了一陣「瓶蓋風潮」，這也同樣引起了我們的興趣，打開了這次實驗的大門。

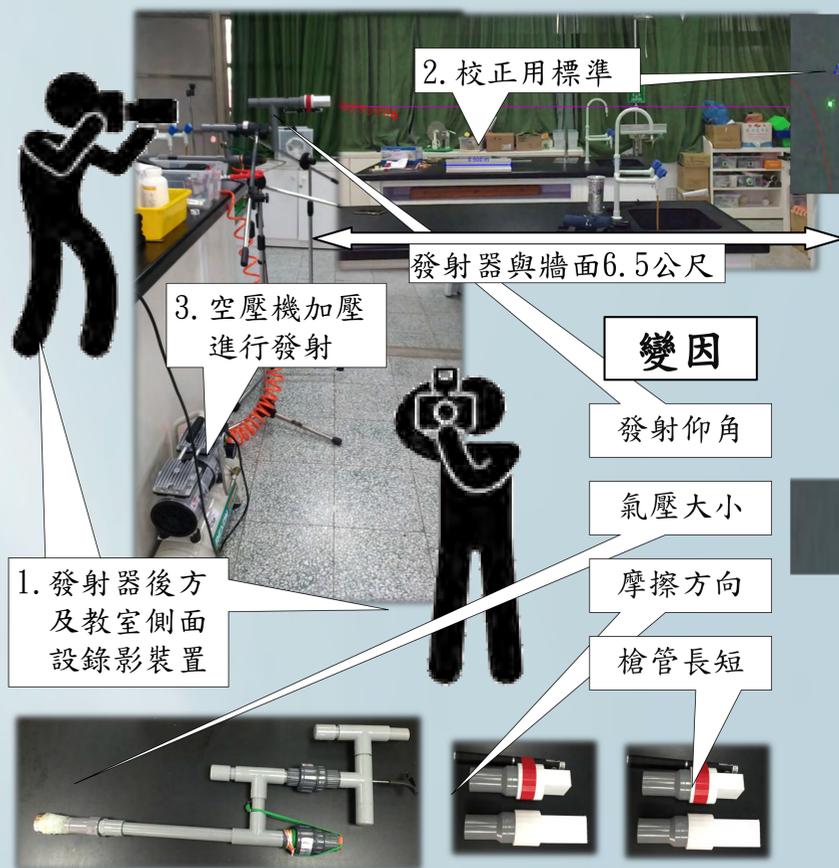
## 參、研究設備及器材

JSPB槍製作素材	腳架	MPC
空壓機	氣壓計	GoPro 4
雷射筆	3D 列印機	Iphone 6
		tracker

## 肆、研究過程或方法



## 實驗環境



## 資料處理

### 瓶蓋初速

1. 進行校準：設定校正桿、方位、原點
2. 依時間序標示出瓶蓋位置
3. 速度、最高點分析

### 落點/球路分析

1. 以慢動作播放找出落點
2. 進行校準：設定校正桿
3. 量尺工具測量
4. 距離(L)及角度( $\theta$ )分析

### 精密度/精確度分析

1. 以flash一層一張圖點出落點
2. 雷射點為圓心10公分為間距作同心圓
3. 以45公分寬、70公分高好球帶計算好球率

## 伍、研究結果與討論

### ◎ 常見球路 ◎

球路名稱	球路重點	示意圖
快速直球	速度快，球路為直線，但會稍稍下墜。	
變速球	速度較慢的直球。	
指叉球	相較於直球產生下墜較大的球路。	
滑球	相較於直球產生水平變化的球路。	
曲球	同時產生垂直及水平綜合變化的球路。	

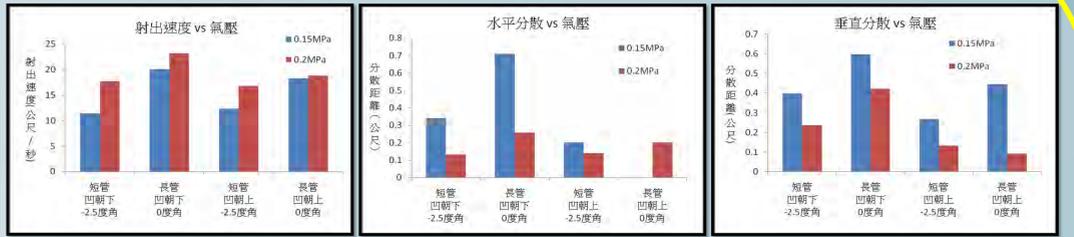
### ◎ 自製發射器 ◎

發射器名稱	發想物及示意圖	實體照片	優缺點
仿彈珠發射器			優點： 簡易，可配合手部動作 缺點： 無法量化
仿棒球發球機			優點： 容易量化，可調整距離 缺點： 射程不長 無法配合手動作
改造JSPB氣槍			優點： 可調整氣壓，精準，容易操作 可量化，速度快 缺點： 無法配合手動作

### ◎ 精密度 ◎

實驗參數	精密度作圖	落點分散
槍管：3公分 氣壓：0.15Mpa 瓶蓋：凹面朝下 摩擦：左旋 仰角：-2.5度		水平分散：39公分 垂直分散：42公分
槍管：3公分 氣壓：0.15Mpa 瓶蓋：凹面朝上 摩擦：左旋 仰角：-2.5度		水平分散：23公分 垂直分散：36公分
槍管：3公分 氣壓：0.2Mpa 瓶蓋：凹面朝下 摩擦：左旋 仰角：-2.5度		水平分散：24公分 垂直分散：36公分
槍管：3公分 氣壓：0.2Mpa 瓶蓋：凹面朝上 摩擦：左旋 仰角：-2.5度		水平分散：26公分 垂直分散：27公分

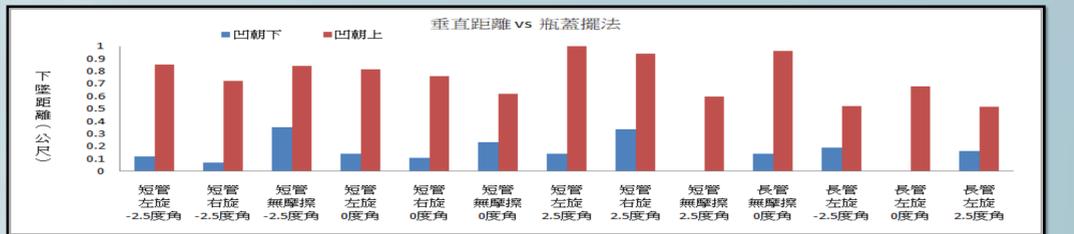
### ◎ 氣壓大小 ◎



氣壓越大，瓶蓋的速度會比較快。且觀察到氣壓大相對落點較穩定，實驗過程中，氣壓0.15 MPa，常會打不到目標牆，或是發生卡彈的情況。

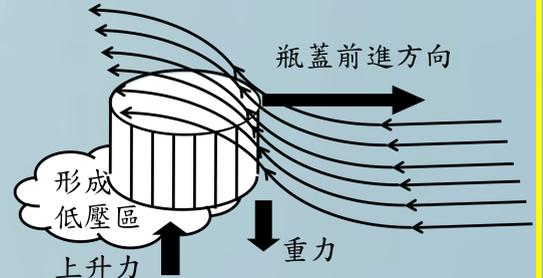
職業棒球投手，能控制在長寬10公分內，而我們的投球機，多能控制在長寬30公分內，根據牛頓第二運動定律， $力 = 質量 \times 加速度$ ，質量是抵抗外力的因素。棒球重量約145公克，但瓶蓋只有約2公克，相對容易受到其它力量影響。

### ◎ 瓶蓋擺法 ◎

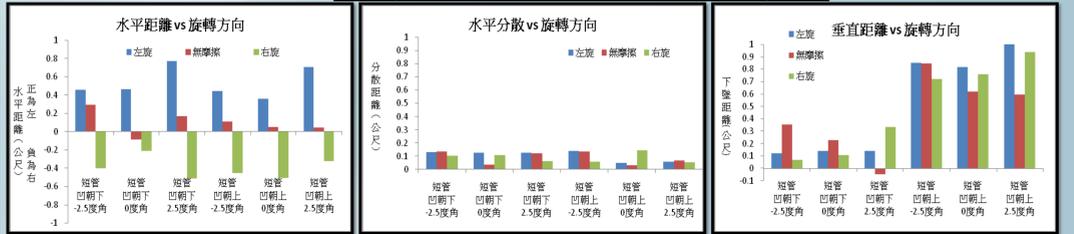


瓶蓋凹面朝下，瓶蓋會先向上飄再下墜，瓶蓋下墜幅度較小，若瓶蓋凹面朝上，瓶蓋幾乎為成直線軌跡下墜，而且產生大幅度下墜。

對於瓶蓋擺法經過討論，應該用康達效應解釋，我們覺得瓶蓋向前飛行時，瓶蓋會推擠空氣，產生像騎腳踏車時的破風的情況，前方的空氣會向上及兩側推送，而瓶蓋內就沒有空氣流入，形成低壓區，這個時候會使下方的空氣因此流入，形成一個上升的力量。



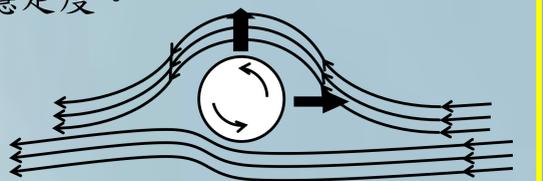
### ◎ 摩擦方向 ◎



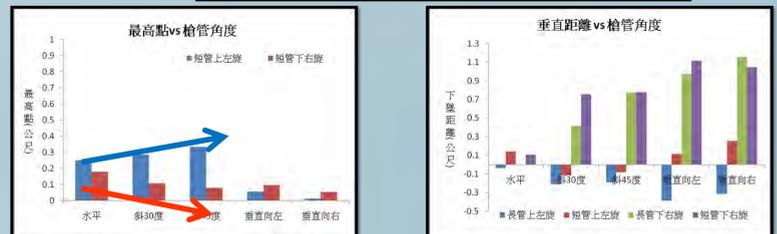
當瓶蓋左旋時，球路明顯向左偏轉；瓶蓋右旋時，則是向右偏轉。實驗過程中，沒加摩擦，常出現瓶蓋飄忽，甚至上下翻轉的情況，導致瓶蓋提早失速著地。所以摩擦可以用來控制瓶蓋的方向，而且提升穩定度。

瓶蓋旋轉會造成瓶蓋射出後再改變方向，藉此形成不同的球種，我們覺得應該要使用馬格努斯效應解釋。

在發射器的一邊貼上砂紙，造成瓶蓋左右兩方速度不一致，而使瓶蓋產生旋轉。旋轉的瓶蓋在空氣中，一側流體速度減小將導致壓力增加，導致物體在橫向的壓力差，並形成橫向力。同時由於橫向力與物體運動方向相垂直，形成物體運動中的向心力，因而導致物體飛行方向的改變。



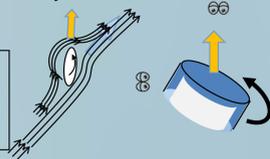
### ◎ 槍管傾斜角度 ◎



槍管斜擺時，若瓶蓋左旋，則球路的最高點會變高，右旋最高點卻會變低，這也是值得討論的現象。

若傾斜到90度垂直時，瓶蓋會產生大幅度的垂直變化，甚至可以產生向上彎的球路。

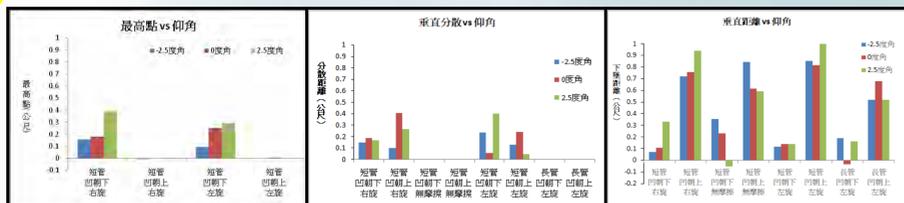
從側邊看有上旋的成分



從上邊看有左旋的成分



## 發射仰角

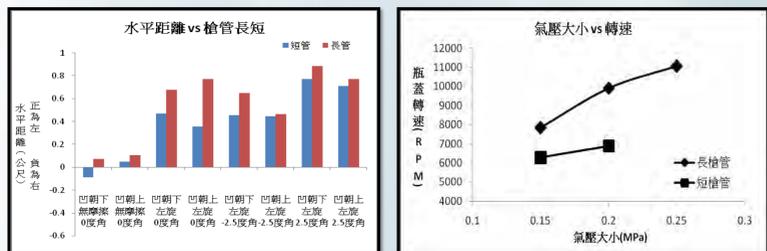


發射仰角越向上則最高點就越高。仰角對於落點的調整與分佈沒有貢獻，可以單純用來調整球路的高低。



我們開始時認為發射仰角應該會產生一個大幅度向上彎的球路，但實驗結果不符合。討論後我們才想到是瓶蓋在動，而不是空氣在動。所以是有上升力，但無撞擊力，只是仰角不大，跟水平發射時，沒有太大的差異。

## 槍管長短

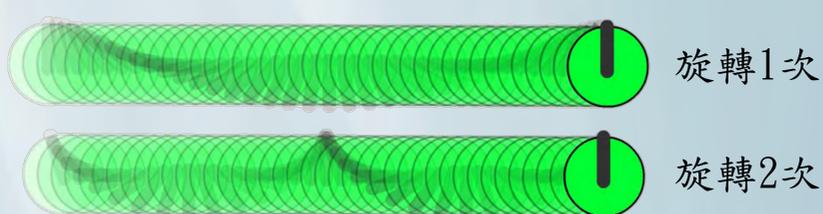


槍管長的水平距離，都比短槍管的水平距離長，換言之，較長的槍管去產生更強的旋轉。

我們原本沒有辦法測量轉速，但一直想證明這件事，想方設法終於測到轉速，也如我們所想，較長的槍管能產生更強的旋轉。

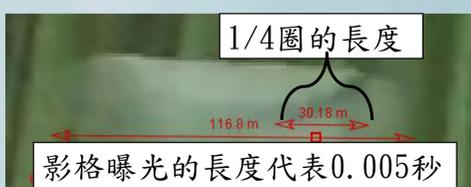
我們實驗驗證了槍管越長可以提高瓶蓋偏轉幅度，我們認為是因為轉速提升，但手機畢竟不是高速攝影機，不夠敏銳，無法精準拍到瓶蓋上的標記，影片內的畫面都像右方的截圖，而且黑線只在瓶蓋上半部出現。

一次討論中，我們用flash去繪製瓶蓋的移動，竟然發現那條黑線的秘密。原來那條黑線不是我們的標記，而是瓶蓋快速滾動，而標記在一側較快，另一側較慢，因此曝光較為明顯的部分所連起來的。



但我們可以看到黑線的週期性。就可以找到標記從上方到水平的那1/4圈，再利用之前測出來的瓶蓋速度，回推每一影格時間約為0.005秒，而我們利用黑線的長度來反推轉1/4圈的時間，就可以求得轉速。

我們把轉速提升，並把旋轉方向相反，進行拍攝，也有相同的週期性。



$$\frac{1}{4} \text{ 圈所需時間} = \frac{\frac{1}{4} \text{ 圈的長度}}{\text{影格瓶蓋曝光的長度}} \times 0.005$$

$$\text{轉速(每分鐘)} = 60 \div (4 \times \frac{1}{4} \text{ 圈所需時間})$$

## 實現不同的球路

屬性	名稱	變因參數		
速度	快速直球	氣壓大 速度快	槍管：3公分 氣壓：0.25 Mpa 瓶蓋：凹朝下 摩擦：左旋	
球路重點		測試結果	好球率	
				70%
屬性	名稱	變因參數		
垂直變化	指叉球	向下旋 下墜大	槍管：6公分 氣壓：0.2 Mpa 瓶蓋：66.5度凹朝右 摩擦：左下旋	
球路重點		測試結果	好球率	
				100%
屬性	名稱	變因參數		
水平變化	滑球	向左旋 向左彎	槍管：6公分 氣壓：0.2 Mpa 瓶蓋：凹朝下 摩擦：左旋	
球路重點		測試結果	好球率	
				70%
屬性	名稱	變因參數		
綜合變化	曲球	綜合變化	槍管：6公分 氣壓：0.2 Mpa 瓶蓋：45度凹朝右 摩擦：左下旋	
球路重點		測試結果	好球率	
				80%

## 陸、結論

1. 改裝了JSPB氣槍，藉以產生穩定的推進力，做為瓶蓋發射器。
2. 結合3D列印製作不同槍頭，加上砂紙來模擬出手時的摩擦，產生不同球路。
3. 瓶蓋的凹面會因為康達效應產生一股推向凹面的力。
4. 摩擦造成旋轉，移動中的旋轉因為馬格努斯力造成球路的改變。
5. 開發了一種沒有高速攝影機，也能測量物體高速滾動的轉速的方法。
6. 利用自製的發射器成功實現多種球路。

## 柒、未來展望

1. 改進槍管設計，希望可以用同一個槍管，就能進行不同球路的發射。
2. 透過機電整合，將射擊參數能使用設計可攜式的發射器，甚至用手机發射。
3. 將我們開發出來測轉速的方法，整合到tracker軟體，讓測量更簡單。

## 捌、參考文獻

1. 瓶蓋投擲課程  
<https://www.youtube.com/watch?v=hZAYW9I9ng0>
2. 台灣棒球維基館球種介紹  
<http://twbsball.dils.tku.edu.tw/wiki/index.php/%E4%BA%8C%E7%B8%AB%E7%B7%9A%E5%BF%AB%E9%80%9F%E7%90%83>
3. 投手的秘密武器－變化球  
<http://www.shs.edu.tw/works/essay/2015/10/2015102621081583.pdf>