

類別：物理類

篇名：

瓶蓋飛行軌跡研究探討

作者：

李居樸。國立興大附中。高三 14 班

林芮生。國立興大附中。高三 14 班

陳泓愷。國立興大附中。高三 14 班

指導老師：

林新發老師

壹、前言

一、研究動機

在許多人的回憶棒球是一項高技術的運動，為甚麼投手能做出千變萬化的球路來讓打者揮空，而今天就來探討物體在空氣中飛行所受力的變化，以及物體受扭力、空氣阻力的多種力交互影響，對物體在空中運行的路程有甚麼影響。一開始學校有在辦一項科學競賽，而如果能讓瓶蓋射出越遠或越高就能得獎。然後我們又在網路上發現日本京都大學有在辦瓶蓋棒球的比賽，然後發現投手的手勢和手指彈出的角度、速度對瓶蓋飛行的軌跡有一定的影響，所以打算探討他們其中的關連性。

瓶蓋棒球的發明者日野湧也他曾經說過丟瓶蓋的技巧：「以大拇指與中指夾住瓶蓋，手臂往前伸的同時將瓶蓋彈出。」（鏡 mirrormedia，2018）

二、研究方法

發現物體在空中飛行時軌跡，不單單只在空中做變化，更精確來說，可以做到物體剛進入空氣中時，就能預測完整的軌跡，在眾多物體當中我們選擇好取得、易控制的瓶蓋。利用在高中學到的平拋、斜拋、空氣中流體力學，分析瓶蓋周圍壓力變化所造成轉速、射速、偏移角度對軌跡的影響，進而得出飛行軌跡。

貳、正文

一、研究設備與器材

（一）電流供應器：具有能切換交流電和直流電，且能固定電流藉由改變電壓來控制馬達的轉速，實驗使用 5-8V。

（二）氣球：為了增加瓶蓋發射時的摩擦力。

（三）馬達：供應電流後即可對它的轉速進行調整，我們這次使用的是 5v-12v 的變壓。

（四）壓克力板、木板：前者分隔出瓶蓋的發射軌道，後者增加摩擦力。

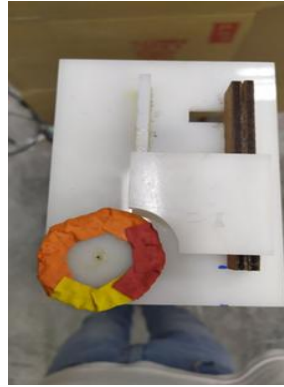
（五）高速攝影機：共兩台分別在發射器前方、側邊，用來精準捕捉瓶蓋飛出時，軌跡的變化，也可觀察瓶蓋的旋轉速率。

（六）瓶蓋：本次使用的瓶蓋唯一般飲料的塑膠瓶蓋，直徑約為 2.94 公分、高度約為 1.2 公分。

(七) 自製發射器：用壓克力板和木板做出模擬手指發射瓶蓋的機器。



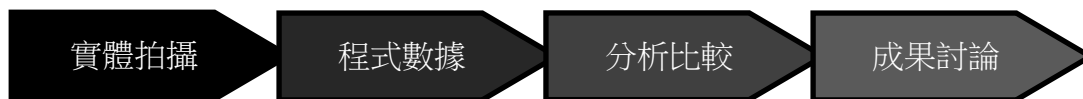
圖一：電流供應器



圖二：發射器成品

(圖一、圖二資料來源：研究者拍攝)

二、實驗流程



圖三：實驗流程

(圖三資料來源：研究者自行繪製)

三、實體測量

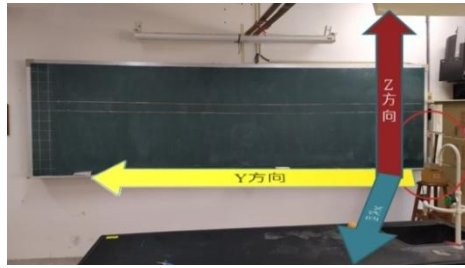
為了能清楚觀察到瓶蓋在飛行過程的軌跡，我們參考了桌球發射器的構造並製作了專門發射瓶蓋的發射器我們用自製的發射器發射瓶蓋觀察飛行軌跡，並調整電流供應器的電壓以改變轉速，使我們可以得到轉速對瓶蓋飛行軌跡的關係，並且同時在兩個方向架設兩台高速攝影機以測量瓶蓋飛行時三個方向的位移變化，最後將影片匯入至程式裡進行分析。

四、程式數據 Traker

它是由卡布里歐學院 (Cabrillo college) 退休講師 Douglas Brown 所開發設計。主要是用來從事物理教育使用。只要影像中有適當的比例尺，加上錄影本身便帶有時間的錄，適當地定義「時」、「空」座標，並捕捉物體每一秒的相對位置。這樣，便可獲得物體運動的軌跡參數。(楊仲準，2012)

(一) 實驗定義

- 1、定義空間座標：以發射點為基準，定前方為 Y 軸：測量瓶蓋飛行前近的距離。左右為 X 軸：測量瓶蓋左右的偏移量。上下為 Z 軸：測量瓶蓋垂直方向的位移。



圖四：自定義空間座標。(紅圈處為發射器位置)
(圖四資料來源：研究者拍攝)

2、定義比例尺：在背景黑板上量出 10cm，並於程式上標明。



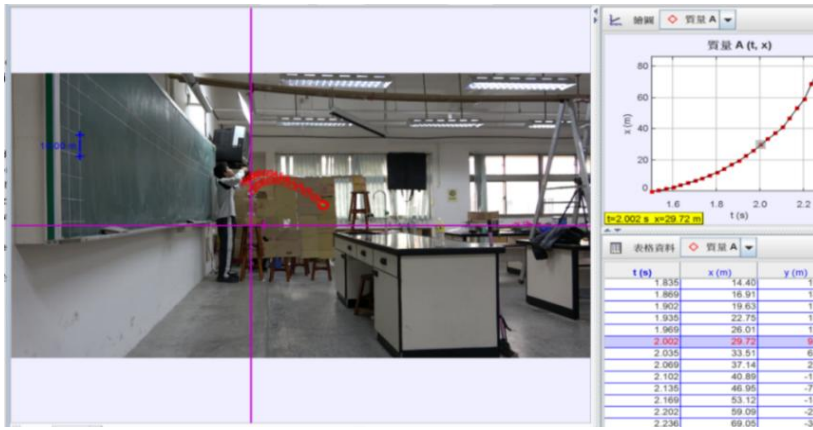
圖五：定義比例尺
(圖五資料來源：研究者拍攝)

3、設定坐標軸：於前方與側邊攝影機所拍出的影片上分別定一個固定的座標軸，以便我們作測量與比較。



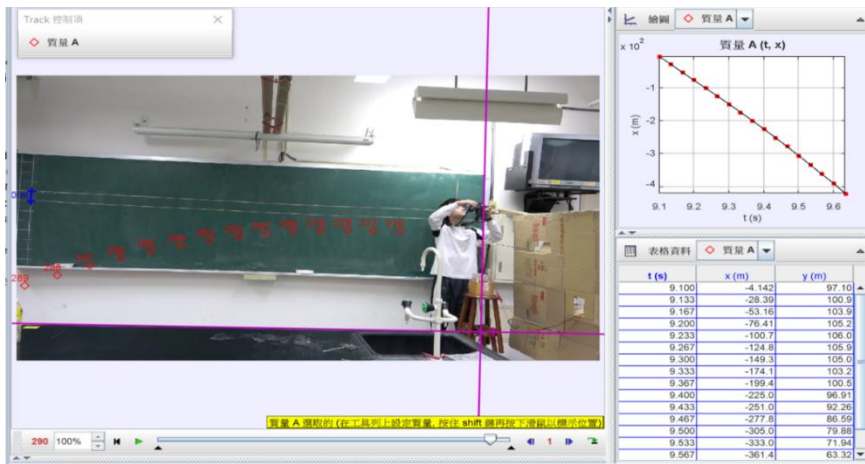
圖六：定義坐標軸
(圖六資料來源：研究者拍攝)

4、設定質點 (1) 讓程式追蹤瓶蓋並標出每一刻時間的質點位置。



圖七：定義 x 方向質點
(圖七資料來源：研究者拍攝)

(2) 同理可得 y-z 方向的軌跡



圖八：定義 y-z 方向質點
(圖八資料來源：研究者拍攝)

(二) 運算

由於射出的轉速不同造成上下和左右壓力差異，我們利用 y 方向位置對時間的關係圖把各個轉速算出來，接著帶入白努力方程式 $\frac{1}{2}PV^2$ ，P 為空氣平均密度，我們約用 $1.3\text{kg}/10^6\text{cm}^3$ 進行估算，V 則是代入我們瓶蓋飛行時相同時間間隔內的轉速，時間間隔取 0.0083S。計算出來的值即為瓶蓋左右兩側的壓力差，也是造成瓶蓋在 x 方向偏移的主因。

五、研究結果

(一) 本文以轉速對 x 方向加速度的關係，將測量數據帶入白努力方程式，計算出 X 方向加速度。

白努力定律： $P + \frac{1}{2}\rho V^2 + \rho gh = \text{constant}$ （杜鳳棋、王鴻烈，104 年）

利用這個公式，我們可議求出物體兩受到的壓力差為 $\frac{1}{2}\rho V^2$ 。

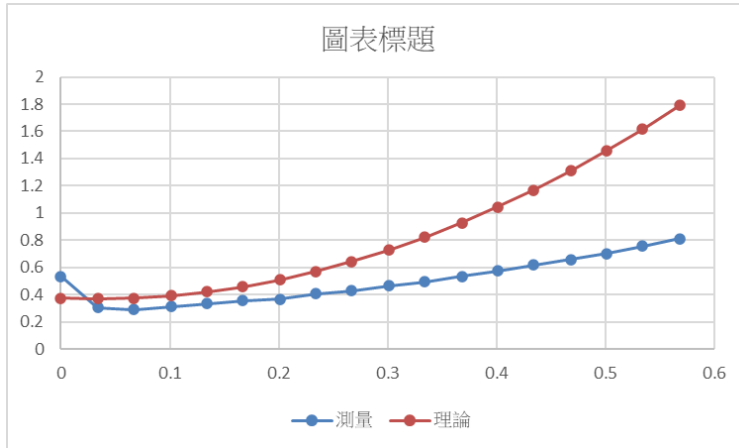
我們將電壓對應的不同轉速計算出平均轉速，而因為我們設計的發射器是模擬右手彈射，因此發射出的瓶蓋是逆時鐘旋轉，所以在算出瓶蓋兩旁速度後，帶入白努力方程式裡求出瓶蓋左右壓力差，此壓力差會造成瓶蓋向左偏移，然後將此壓力差乘上瓶蓋側面面積，進而得到向左偏移力，最後得到瓶蓋向左的加速度，就能與實際測量的軌跡作比較，以觀察氣流對瓶蓋偏移造成果。

表一：轉速對 x 方向加速度關係

	原始	個別轉速	平均轉速	cm/s	代入白努力後	F	單位校正	加速度
8v	187.2	22554.22	21811.24	559.313	813.3607571	2830.495435	0.028305	14.15248
	177.3	21361.45						
	178.6	21518.07						
7.5v	183.7	22132.53	21795.18	558.9011	812.1630974	2826.327579	0.028263	14.13164
	179	21566.27						
	180	21686.75						
7v	184.5	22228.92	21658.63	555.3996	802.0186175	2791.024789	0.02791	13.95512
	177.9	21433.73						
	176.9	21313.25						
6.5v	153.7	18518.07	19295.18	494.7928	636.5316528	2215.130152	0.022151	11.07565
	166.6	20072.29						
6v	152.6	18385.54	18196.79	466.6263	566.1242177	1970.112278	0.019701	9.850561
	142.1	17120.48						
	158.4	19084.34						
5.5v	131.5	15843.37	16148.59	414.1038	445.8530639	1551.568662	0.015516	7.757843
	130	15662.65						
	140.6	16939.76						
5v	117.3	14132.53	14451.81	370.5925	357.0809021	1242.641539	0.012426	6.213208
	122.6	14771.08						

（表一資料來源：研究者自行繪製）

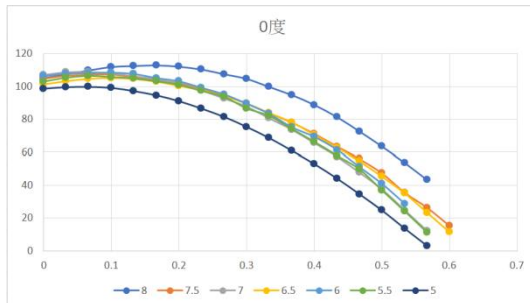
（二）將最後算出的加速度帶進位移公式用 excel 作圖，並跟實際測量的 X 方向軌跡比對是否和理論值吻合，比對結果如圖九。紅色線為理論值，藍色線為實際測量結果，我們可以發現，雖然轉速有對瓶蓋造成影響，但實際測量發現所受的壓力差沒有理論值來的大。因此我們推測瓶蓋周圍的攪動氣流，受轉速的影響較小。



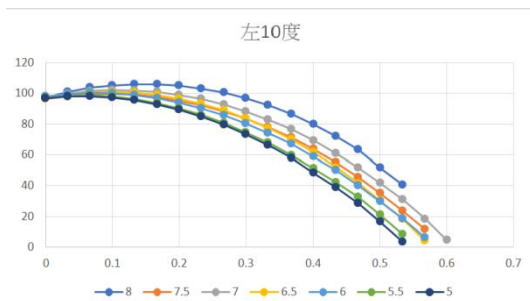
圖九：x 方向理論值與測量值比較
(圖九資料來源：研究者自行繪製)

(三) Z 方向的軌跡變化，受角度影響、以及各電壓，在不同電壓下所對應的轉速下瓶蓋在 z 方向的軌跡變化如圖十至圖十六。從圖中可以發現：

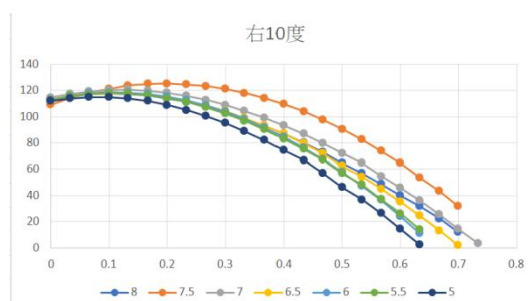
- 1、發射角右偏瓶蓋軌跡，較接近斜拋；發射角左偏則較接近平拋。
- 2、給定電壓愈大，飛行時間較長。



圖十

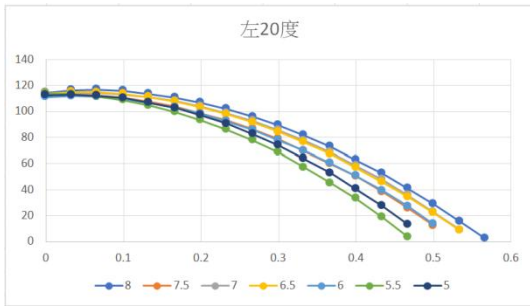


圖十一

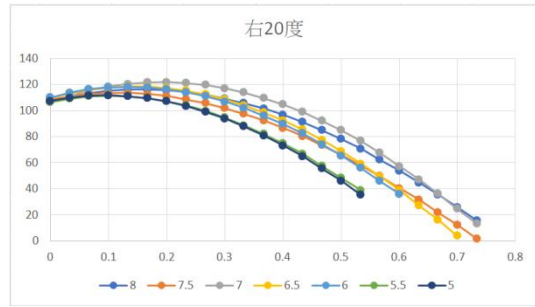


圖十二

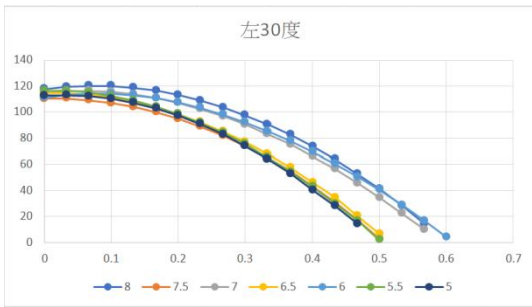
瓶蓋飛行軌跡研究探討



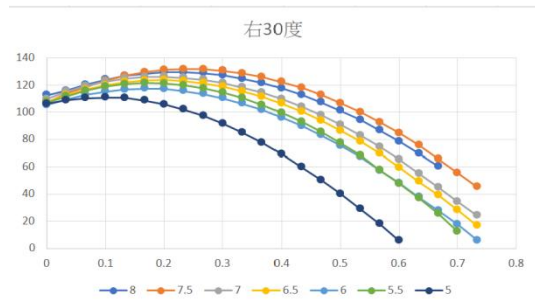
圖十三



圖十四



圖十五

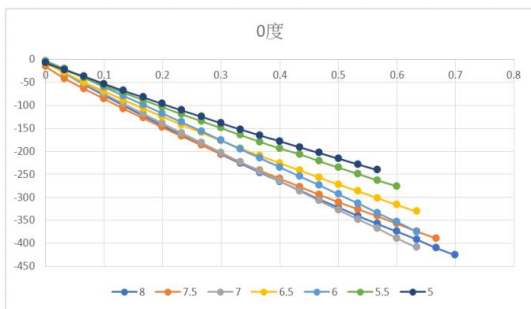


圖十六

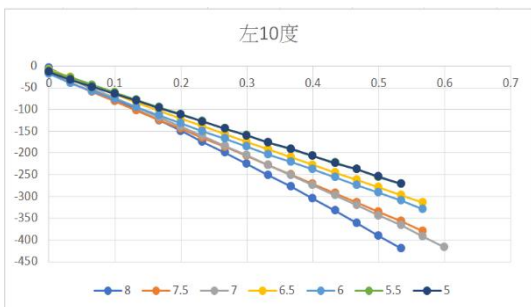
（圖十一至十六資料來源：研究者自行繪製）

（一）Y 方向的軌跡變化，各角度和電壓。在不同電壓下所對應的轉速下瓶蓋在 z 方向的軌跡變化如圖十至圖十六。從圖中可以發現：

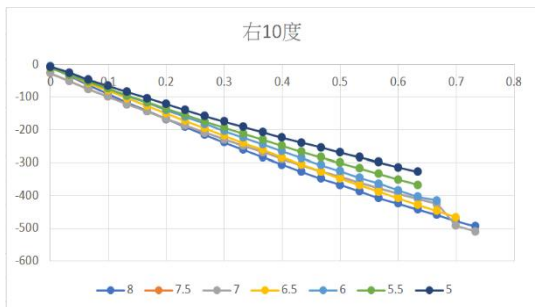
- 1、發射角右偏角度愈大能在空中停留時間較長。
- 2、給定電壓愈高，飛行距離愈長。



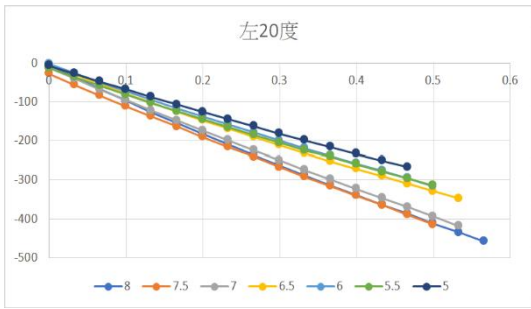
圖十七



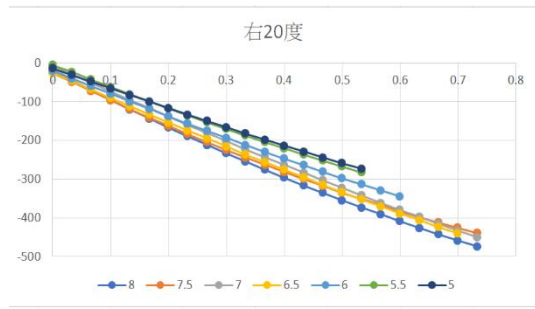
圖十八



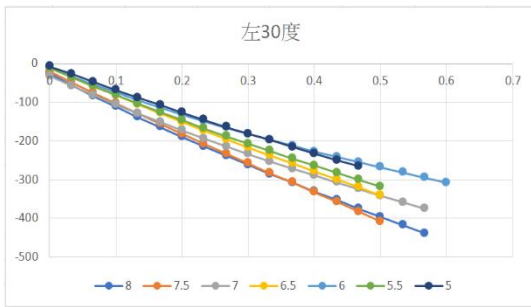
圖十九



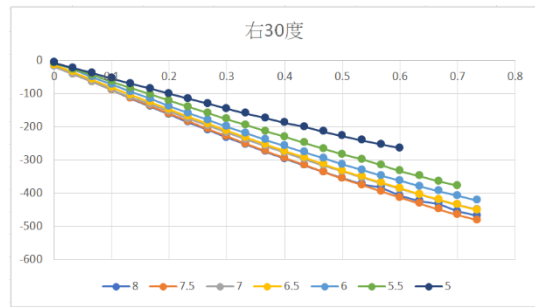
圖二十



圖二十一



圖二十二

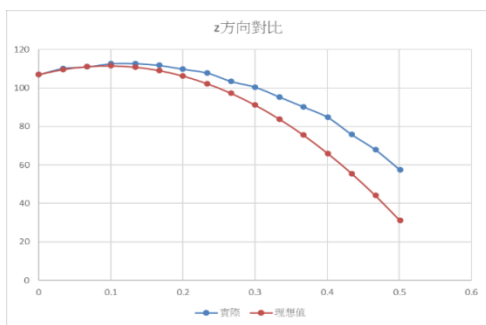


圖二十三

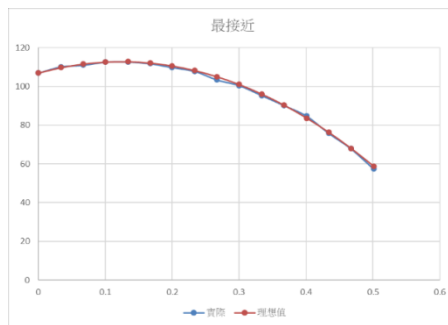
(圖十七至二十三資料來源：研究者自行繪製)

(五) 比對 Y 方向利用理論值跟實際測量算出向上的空氣浮力。

- 1、在 excel 打上只受重力作用的理想函數，並將測量的數據與只受重力作用的情況做對比。
- 2、調整函數理的數值，使其軌跡最接近測量軌跡，進而算出瓶蓋上下壓力差。



圖二十四：校正前

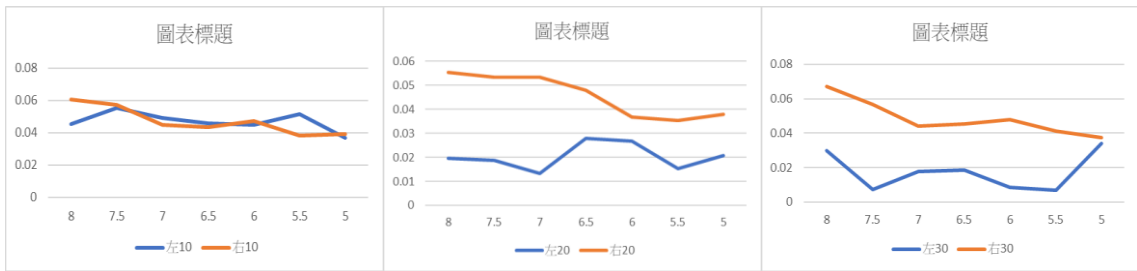


圖二十五：校正後

(圖二十四至二十五資料來源：研究者自行繪製)

- 3、算得瓶蓋所受向上的浮力，並作圖比較。如圖二十六~圖二十八可以看出轉速對上下壓力差並沒有明顯影響，但發射角度越往左，往上的推力越不明顯。

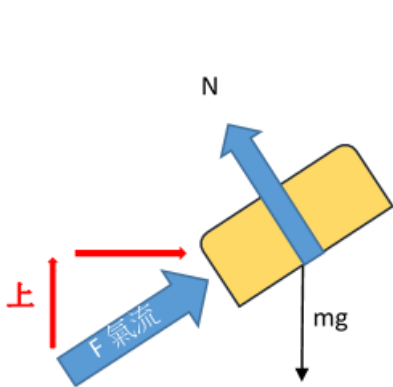
瓶蓋飛行軌跡研究探討



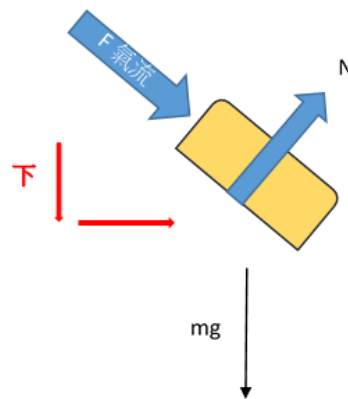
圖二十六：左右 10 度 圖二十七：左右 20 度 圖二十八：左右 30 度
 (圖二十六至二十八資料來源：研究者自行繪製)

參、結論

- 一、轉速可以改變瓶蓋飛行時的左右氣壓差，而造成瓶蓋向左偏移。
- 二、而影響瓶蓋走向最大的因素是發射角，基本上平飛的瓶蓋會向左偏移，發射角越往右偏越能讓瓶蓋最後向右偏移。
- 三、左右壓力差愈大，瓶蓋的落點向左偏移就愈大。
- 四、角度與水平夾角愈大，愈快落地，即可以推得角度愈大，所受的壓力差愈小。
- 五、初速愈大瓶蓋受浮力影響愈大愈能漂浮。
- 六、基本上右旋角度會比左旋角度造成較大的向上空氣浮力，因此可以飛的較遠。



圖二十九：發射角右偏



圖三十：發射角左偏

(圖二十九至三十資料來源：研究者自行繪製)

肆、引註資料:

杜鳳棋、王鴻烈（譯）（2015）。**流體力學**。新北市：高立圖書有限公司。

鏡 mirrormedia。2018 年 10 月 15 日。取自

<https://www.mirrormedia.mg/story/20181015edi005/>

楊仲準（2012）。錄影好好玩－由影像追蹤學物理。**科學研習月刊**，51，12-21。2014 年 4 月 3 號，取自

<https://www.ntsec.gov.tw/User/Article.aspx?a=955>