

屏東縣第 61 屆中小學科學展覽會

作 品 說 明 書

科別：物理科

組別：國小組

作品名稱：GO！GO！瓶蓋棒球賽

關 鍵 詞：變化球、馬格努斯效應

編號：A2045

目錄

壹、研究摘要-----	1
貳、研究動機-----	1
參、文獻討論-----	1~2
肆、研究目的-----	2
伍、研究器材及設備-----	2
陸、研究流程與結果-----	3
研究一、設計適合觀察瓶蓋飛行路徑的的瓶蓋發射臺-----	3~6
研究二、瓶蓋樣式對飛行路徑的影響-----	7~10
研究三、球體與瓶蓋的飛行路徑是否有差異-----	11~15
研究四、彈射角度對瓶蓋投出後飛行的影響-----	16~18
研究五、橡皮筋彈射位置對瓶蓋投出後飛行的影響-----	19~21
研究六、橡皮筋扭轉對瓶蓋投出後飛行的影響-----	22~24
柒、研究結論-----	25~27
捌、參考書目-----	28

圖表目錄

1.橡皮筋彈性區間測試圖表-----	5
2.拉力與瓶蓋飛行的關係（正立）圖表、落點位置圖-----	7~8
3.拉力與瓶蓋飛行的關係（倒立）圖表、落點位置圖-----	10
4.拉力與球體飛行的關係關係圖表、落點位置圖-----	11~12
5.拉力與半球體飛行的關係圖表、落點位置圖-----	14
6.彈射角度與瓶蓋飛行的關係圖表、落點位置圖-----	16~17
7.橡皮筋打擊位置示意圖-----	18
8.橡皮筋打擊位置與瓶蓋飛行的關係圖表、落點位置圖-----	19~20
9.橡皮筋不規則施力與瓶蓋的飛行情形關係圖表、落點位置圖-----	22~23
10.彈射各類型球種變因歸納表-----	27

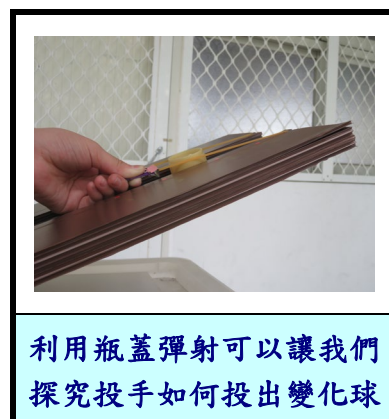
壹、研究摘要：

為找出投手投出變化球背後的科學原理，我們從改良發射器開始，研究「瓶蓋樣式」、「瓶蓋的彈射角度」、「彈射瞬間橡皮筋打擊瓶蓋的位置」，以及「扭轉橡皮筋」等因素對瓶蓋飛行的影響。利用瓶蓋彈射裝置，我們瞭解棒球投手投球的奧秘，瓶蓋由發射器彈出後，在飛行過程中，瓶蓋除了旋轉，還會翻轉，也因此讓飛行路徑充滿變化。若要投出直球則要選用直徑較小，厚度較薄的瓶蓋，或是扭轉橡皮筋。若要投出路徑飄移的變化球，則要選擇半徑較大，厚度較厚的瓶蓋，讓橡皮筋打擊瓶蓋較低的位置。

貳、研究動機：

因為疫情影響，許多國際運動賽事都受到限制，但是人們喜歡運動的心情卻不會改變，尤其是充滿熱情與活力的國球—棒球，更是我們的最愛。上學期學校班際樂樂棒球賽，大家體驗了棒球比賽的活力與刺激，但是樂樂棒只讓我們體驗了打擊與傳接球的樂趣，卻無法體驗投手投出變化球與打擊者對決的精彩。

一場球賽中，投手該如何將一顆直徑約 7 公分的棒球，準確的丟到 18 公尺外的打擊區？除了考驗投手的技巧與身體素質，更包含許多科學概念，但是並非每個人都可以成為厲害的棒球選手，因此日本京都大學的學生利用隨手可得的保特瓶蓋當球，發明了「瓶蓋棒球賽」，給了我們靈感啟發，決定好好探究一番，研究變化球背後的科學原理。



參、文獻討論：

西元一八五二年，德國物理學家馬格努斯提出了「馬格努斯」效應，指出物體在飛行過程中，因為本身的旋轉，使的空氣（或其他流體）流通經過球體時，球體上下的空氣流速會產生壓力差，而產生壓力不平衡的情況。（NTCU 科學教育與應用學系科學遊戲實驗室：馬格努斯效應 <http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-023.html>）

在棒球上也可以見到「馬格努斯」效應，例如硬式棒球表面的紅色縫線，並非只為了美觀，更重要的是讓空氣流經棒球表面時，可以產生更多摩擦力，這樣投手變可以藉由不同的持球方式，改變棒球不同側的空氣流動情況，進而投出變化球。

當棒球在飛行旋轉時，風經過「逆向」的一側就會向逆著走電扶梯一樣前進很困難；經過「順向」側的風則相當順利，一點都不堵塞。兩邊這時就有了壓力差，會改變棒球的飛行路徑。（國語日報科學 6 版，2020 年 4 月 30 日）

肆、研究目的：

我們希望藉由本研究從瓶蓋的飛行路徑中瞭解影響投出變化球的各項因素，因此訂定研究目的如下：

- 一、發射裝置的設計及改進——
 - (一) 設計適合觀察瓶蓋飛行路徑的瓶蓋發射臺。
- 二、探索各種瓶蓋樣式對於飛行路徑的影響——
 - (二) 瓶蓋樣式對飛行路徑的影響。
 - (三) 球體與瓶蓋的飛行路徑是否有差異
- 三、探索彈射方式與瓶蓋投出後飛行路徑的關係——
 - (四) 彈射角度對瓶蓋投出後飛行的影響。
 - (五) 橡皮筋彈射位置對瓶蓋投出後飛行的影響。
 - (六) 橡皮筋扭轉對瓶蓋投出後飛行的影響。

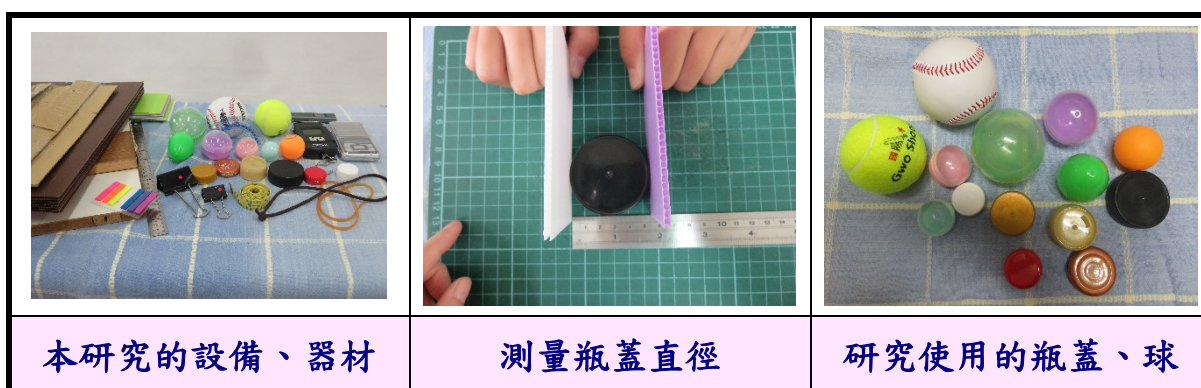
伍、研究器材及設備：

一、研究器材：

各種尺寸瓶蓋、各種尺寸扭蛋、乒乓球、棒球、網球、捲尺、橡皮筋、長尾夾、迴紋針、直尺、冰棒棍、吸管。

二、研究設備：

測距儀、電子磅秤、數位相機、手機錄影、腳架。

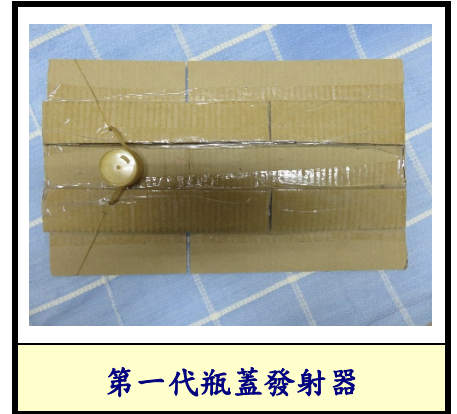


陸、研究流程與結果：

研究一：設計適合觀察瓶蓋飛行路徑的的瓶蓋發射臺

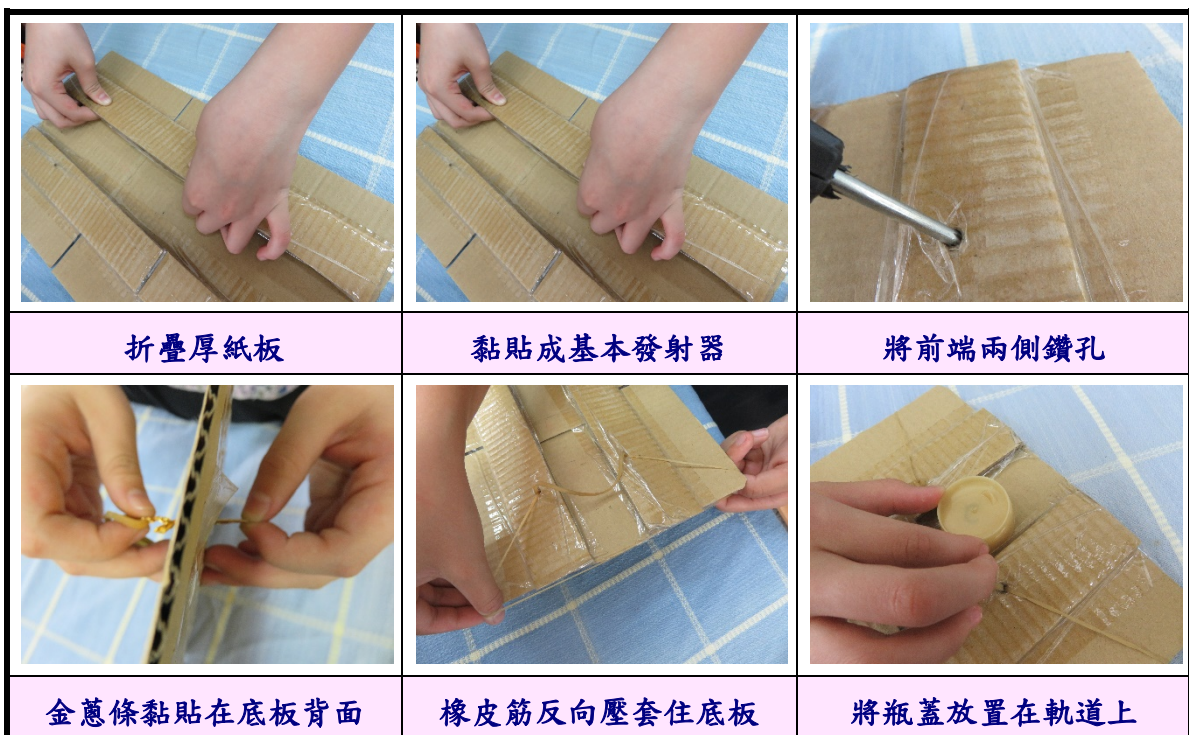
我們先利用紙箱的厚紙板製作瓶蓋發射器：

1. 將厚紙板裁切出一塊底板，並架設一條軌道。
2. 將軌道兩側紙板用透明膠帶固定在底板的左右兩邊。
3. 在軌道前端相對位置用錐子戳洞。
4. 將金蔥條對折，以對折處夾住橡皮筋，穿過小洞。
5. 橡皮筋一半反向壓套住底板。
6. 將兩邊的金蔥條黏貼在底板背面，完成發射器！



第一代瓶蓋發射器

製作瓶蓋發射器



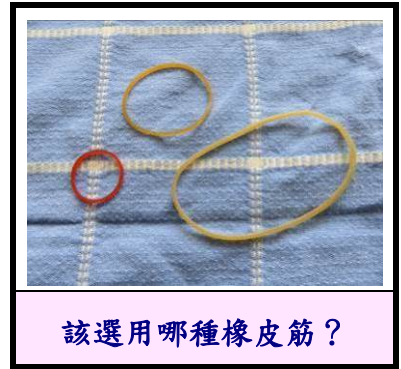
實測：



討論：

利用厚紙板摺成的發射器確實能順利讓瓶蓋彈射，但在實測時我們發現有幾個需要調整的地方：

- 一、以橡皮筋彈射瓶蓋，要如何確定每一次橡皮筋的拉力都一樣呢？不同大小的橡皮筋拉力不一樣，哪一種較適合用在我們的研究呢？
- 二、以金蔥條穿過紙板，當橡皮筋拉緊時厚紙板容易彎曲，使得發射器軌道拱起。
- 三、手扣住瓶蓋彈射，是否會造成發射時的誤差？
- 四、發射器如果隨意放置，那麼每一次發射的高度是否也會造成瓶蓋飛行距離的誤差？



該選用哪種橡皮筋？

經討論後，我們試著將發射器進行一些調整：

- 一、將厚紙板改成較硬質的優塑板。
- 二、利用迴紋針製作勾子，改變拉動橡皮筋時的施力方向，避免軌道底板向上拉扯。
- 三、以長尾夾夾住一小段冰棒棍，作為彈射時的打擊點，以避免手拉所造成的誤差。
- 四、配合發射器長度，因此選用長橡皮筋作為發射器的裝置，並測試橡皮筋的彈性區間。
- 五、測試橡皮筋的彈性區間，以確定究竟可以將橡皮筋拉到多長避免超出彈性限度，並將發射器軌道以直尺標示刻度，確定每次橡皮筋的拉力。



發射處的調整

利用迴紋針扣住橡皮筋

在發射器軌道標示刻度

製作第二代瓶蓋發射器



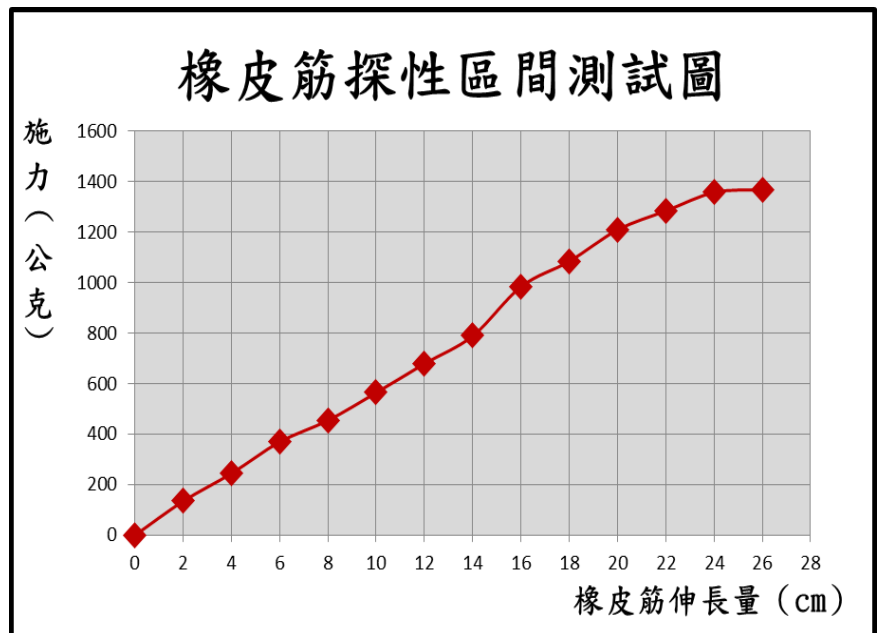
橡皮筋彈性區間測試

迴紋針改變拉力方向
避免軌道底板變形

以刻度確保每次拉力相同

實測：

全長 (cm)	伸長量 (cm)	施力 (g)
5	0	0
7	2	135
9	4	245
11	6	370
13	8	455
15	10	565
17	12	680
19	14	790
21	16	985
23	18	1085
25	20	1210
27	22	1285
29	24	1358
31	26	1368



討論：

第二代發射器確實改進了瓶蓋發射時的幾項缺點，但在實測時我們發現仍有幾個需要調整的地方：

- 一、依據橡皮筋彈性區間測試，我們發現本研究所使用的橡皮筋彈性範圍大約落在伸長量 20 公分，也就是橡皮筋總長度在 25 公分以內的範圍。
- 二、在放置裝置時，我們想到：發射器如果隨意放置，那麼每一次發射的高度是否也會造成飛行距離的誤差？若要固定發射器位置，究竟要固定在怎樣的高度呢？
- 三、雖然改進發射器安裝的位置，可以固定每一次發射的方向以及高度，但是卻無法調整發射時角度，但是角度卻是投球的關鍵因素之一，究竟要如何改進裝置呢？



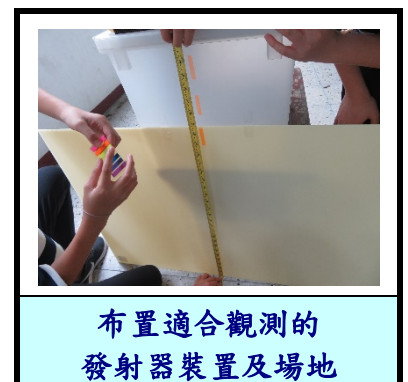
測量發射台高度

經討論後，我們試著將發射器進行一些調整：

- 一、依據棒球的好球帶高度，以及學校樂樂棒的打擊點高度，我們將發射器固定於高度 78 公分的桌子上，並在桌上及地上標示並以捲尺拉出中心線，發射器軌道對準中心線，以固定發射的軌道及高度。

同時，我們也從「看書架」得到靈感製作一個「角度調整板」，將發射器固定在「角度調整板」上，那麼不就可以順利調整角度了嗎？因此再次將瓶蓋發射器做了以下調整：

- 二、利用量角器調整看書架的角度，並在後方以塑膠板固



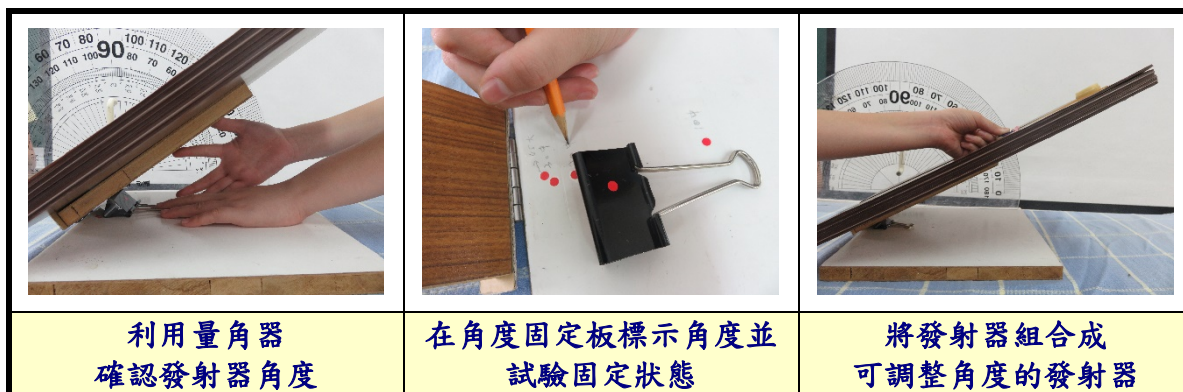
布置適合觀測的發射器裝置及場地

定，做為支架放置的位置。

三、將發射器固定在塑膠板上，再將整個裝置固定在「角度調整板」上，作為瓶蓋發射裝置。

四、利用「角度調整板」的支撐，來改變角度大小，藉以控制瓶蓋的發射角度。

實測：



討論：

調整後的發射器，果然可以確認每次發射的高度、方向，以及瓶蓋彈射出去時的力度，作為後續研究的裝置。

布置適合研究的發射裝置後，要如何描述瓶蓋的飛行情形呢？我們經過討論認為有幾項觀察的項目：「飛行距離」、「落點位置」、「飛行高度」、「飛行樣態」，要如何兼顧這些項目的觀察呢？經過討論我們決定：

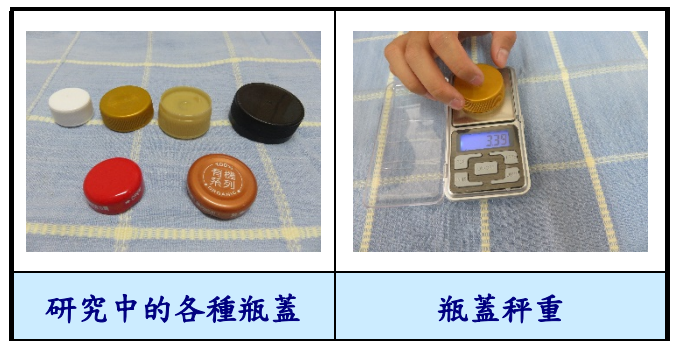
- 一、飛行距離：發射台下方拉出中心線，以測距儀測從瓶蓋落點測量飛行距離。
- 二、落點位置：以座標方式記錄瓶蓋的落點。
- 三、飛行高度：藉由測量走廊三層窗台的高度，協助我們觀察飛行高度範圍。
- 四、飛行樣態：利用手機的「連拍」及「慢速攝影」功能協助我們觀察瓶蓋飛行中的旋轉及翻轉情形。



接著我們將利用改良後的瓶蓋發射器，針對各種不同的瓶蓋的飛行進行研究，探索各種瓶蓋樣式對於飛行路徑的影響。

研究二：瓶蓋樣式對飛行路徑的影響

發射器平放（0度）時，將收集的各種瓶蓋利用發射器，以不同拉力：5公分、10公分、15公分、20公分，測量並觀察瓶蓋飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。









研究中的各種瓶蓋

瓶蓋秤重

結果：

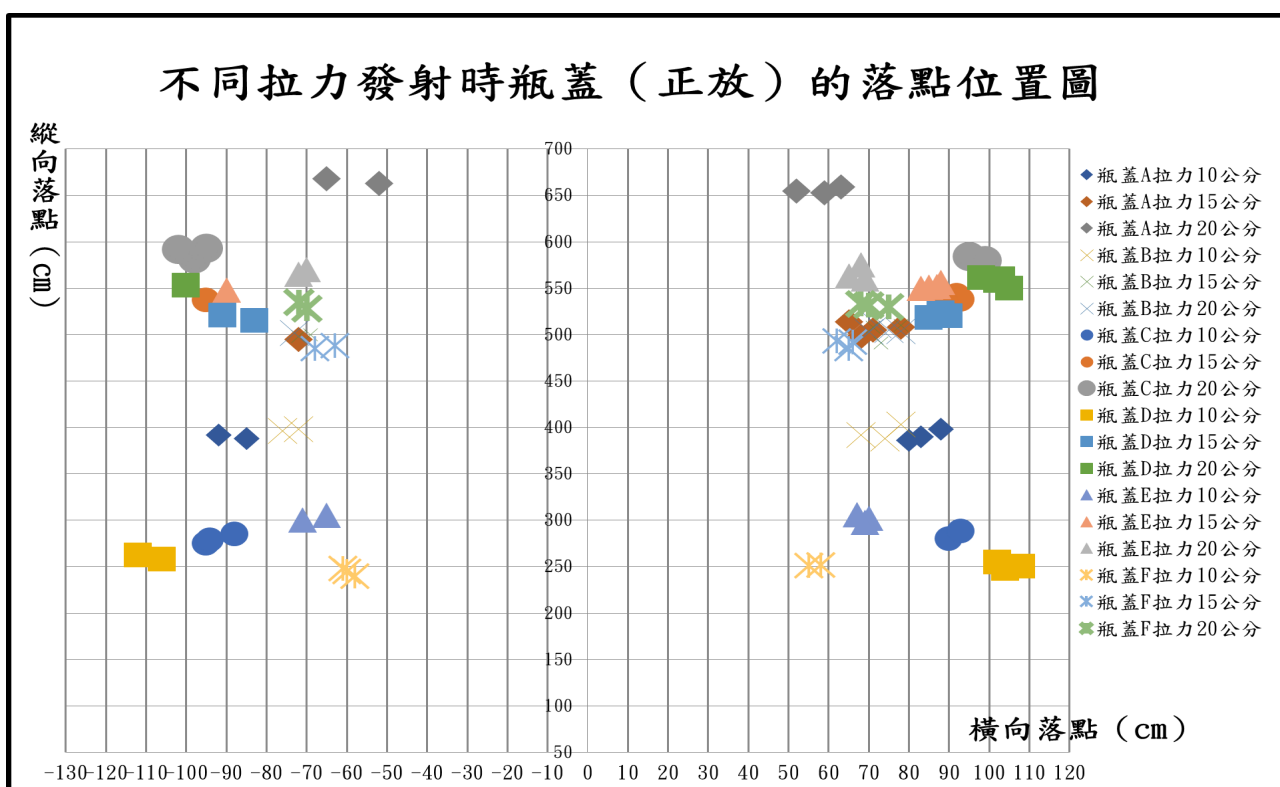
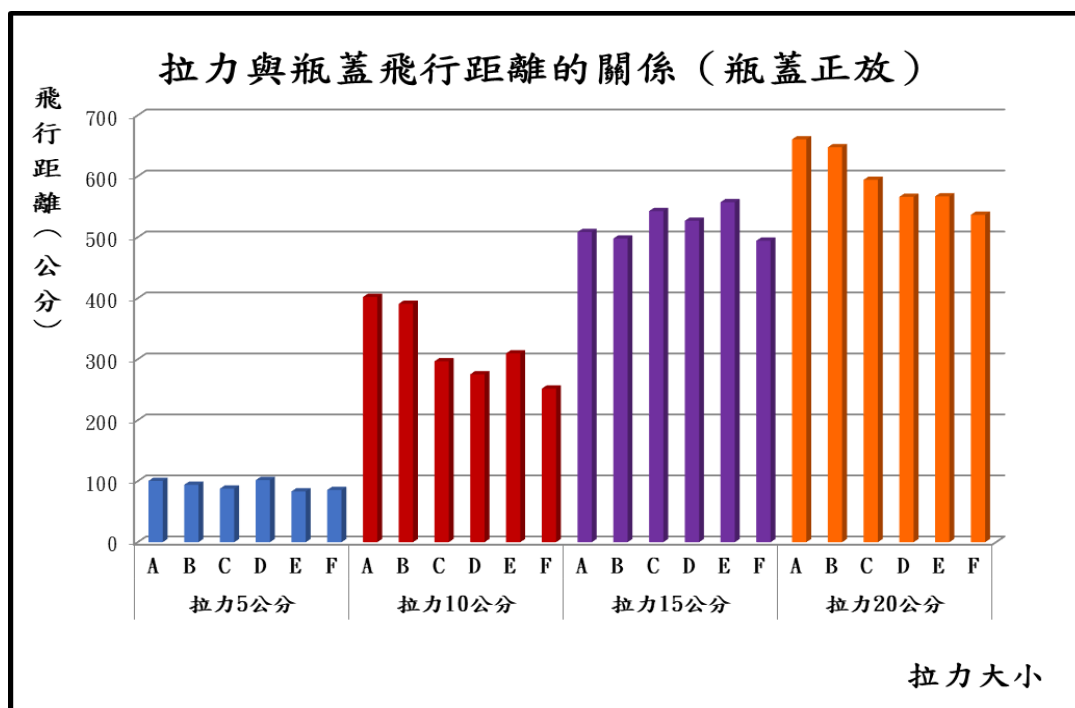
【各種瓶蓋的基本資料：】

	A	B	C	D	E	F
						
材質	塑膠	塑膠	塑膠	塑膠	金屬	金屬
重量	2.39	3.40	5.05	6.21	4.19	4.65
厚度	1.5	1.3	2.1	1.9	1.3	0.9
直徑	3	4.2	4.2	5.8	3.4	4.3

【拉力與瓶蓋飛行的關係（正立）「落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）」：】

	拉力 10 公分			拉力 15 公分			拉力 20 公分		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
第一次	83,390	68,392	90,280	-72,495	-72,498	90,530	-52,663	72,510	95,584
第二次	-85,388	-72,398	-88,285	68,498	71,508	92,542	63,659	-73,502	-98,582
第三次	80,386	74,388	93,288	65,514	78,510	93,538	59,653	75,505	99,580
第四次	-92,392	78,403	-95,275	71,505	-69,500	-95,537	-65,668	70,503	-102,592
第五次	88,398	-76,396	-94,279	78,508	73,491	89,535	52,655	78,504	-95,593
平均距離 (cm)	402.1	390.9	296.6	508.6	497.8	542.9	660.6	647.6	594.1

	拉力 10 公分			拉力 15 公分			拉力 20 公分		
	D	E	F	D	E	F	D	E	F
第一次	108,250	70,302	-58,240	85,518	83,550	66,492	103,560	68,575	70,532
第二次	-112,262	-71,300	55,251	-91,521	85,551	-68,485	102,558	-70,570	75,530
第三次	-106,258	69,298	-60,245	-83,515	-90,548	-63,488	-100,553	65,563	-72,535
第四次	102,255	-65,305	-61,248	88,523	87,552	62,493	105,550	-72,565	68,533
第五次	104,248	67,306	58,252	90,520	88,556	65,485	98,561	69,560	-70,528
平均距離 (cm)	275.2	309.6	251.8	527.1	557.5	494.3	566.3	567.1	536.9



討論：

各種不同樣式的瓶蓋經發射臺彈出後，飛行情形大不相同：

一、橡皮筋越長拉力越大，瓶蓋彈射後飛行距離越長，依序排列為：拉力 20cm > 拉力 15cm > 拉力 10cm > 拉力 5cm，但是因為拉力 25 公分時彈力已經超過橡皮筋的彈性區間，因此雖然可以觀察到拉力與飛行距離的關係，但並不十分準確。

二、在多次的瓶蓋彈射飛行中，我們觀察到，瓶蓋不只是飛出去，在飛行過程中瓶蓋還會上下或是左右翻轉，在翻轉的同時瓶蓋並非直線往前飛行，面向發射臺方向可以看到瓶蓋飛行路徑會因為瓶蓋的翻轉略略往左右偏移。

三、瓶蓋材質對於瓶蓋飛行的影響：

1. 飛行距離：金屬瓶蓋（E、F）的飛行距離明顯比塑膠瓶蓋瓶蓋（A、B、C、D）飛行距離短。
2. 飛行路徑：金屬瓶蓋在飛行中會翻轉後下墜，比較接近直飛下墜的飛行樣態。而塑膠材質的瓶蓋在飛行中，則會一邊翻轉一邊或左或右飄移，在落地前斜斜飛行一段後著地。

四、瓶蓋的直徑對於瓶蓋飛行的影響：

1. 直徑較大的瓶蓋（D）飛行距離較短，但在空中飛行路徑會有飄移及斜斜向一旁飛去。
2. 直徑較小的瓶蓋（A）飛行距離較長，飛行中也較少翻轉，飛行方式比較接近直線往前拋射飛行。

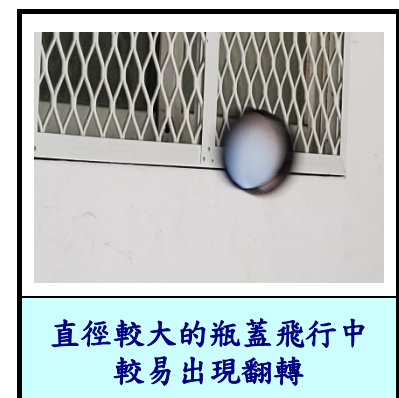
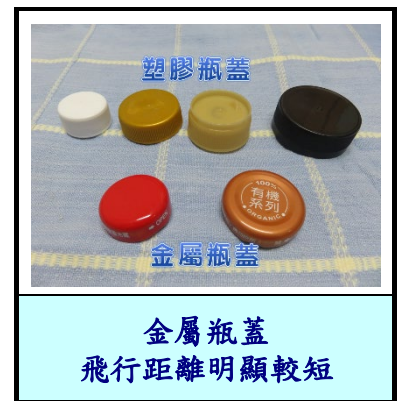
五、瓶蓋厚度對於瓶蓋飛行的影響：

1. 瓶蓋厚度對於飛行距離影響不明顯，但是飛行的樣態及最後落點則有明顯差異。
2. 較厚的瓶蓋（C、D），但是在飛行中翻轉的情形相當明顯，飛行過程中除了翻轉，並在翻轉同時或左或右飄移，落點偏離發射臺中心線較遠。
3. 較薄的瓶蓋（B、F），飛行翻轉較不明顯，比較接近拋物線飛出，最後落點較接近發射臺中心線。

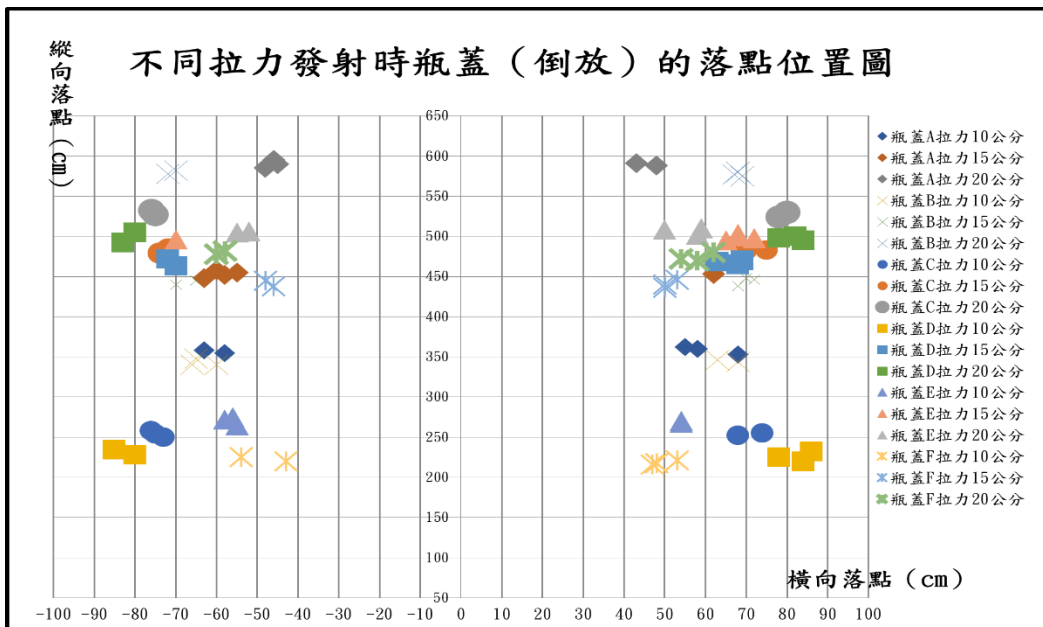
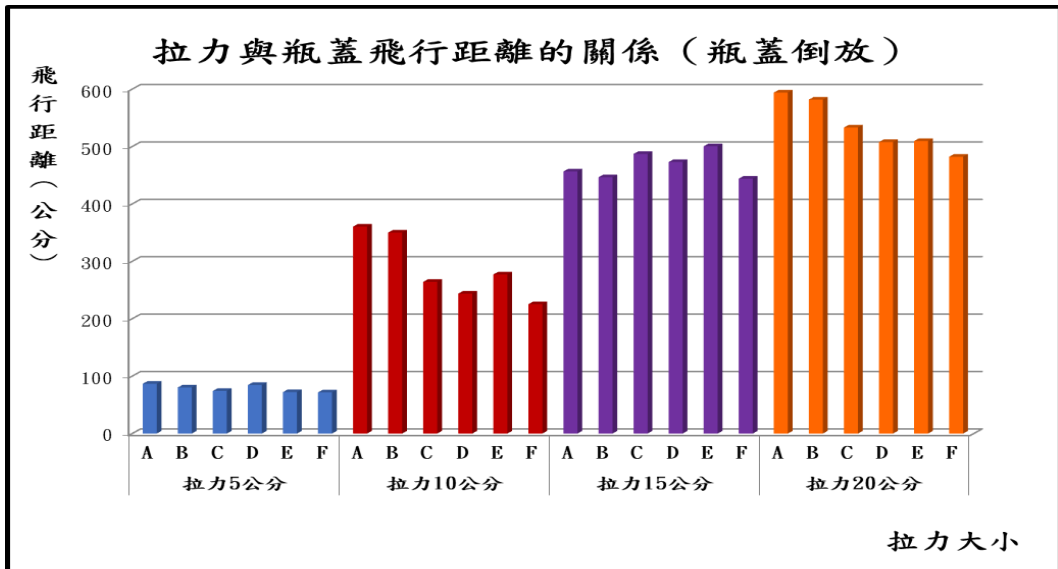
六、無論是何種瓶蓋，以發射器水平彈射，瓶蓋飛行的高度大約在 120~140 公分，與瓶蓋材質無關。

七、利用慢速錄影我們也發現半徑大，較厚的瓶蓋，飛行過程中除了翻轉，並在翻轉同時或左或右飄移之外，也會會有一段像飛盤一樣在落地前斜斜飛行一段後著地，因此雖然瓶蓋飛行距離不見得比較遠，但是落點卻很明顯的離發射臺中心線較遠。

我們也有點好奇，如果將瓶蓋倒放，讓空心的一面朝上發射，是否影響飛行？因此我們也進一步試試看。



結果：



討論：

瓶蓋倒放的飛行情形與正放略有差異：

- 一、無論瓶蓋材質及大小，倒放的瓶蓋飛行距離都比較短，也比較不會偏移，落點比較接近中心線。
- 二、瓶蓋倒放彈射，飛行過程中的翻轉情形較少，尤其是半徑較大的幾個瓶蓋，可以看到旋轉，卻看不到翻轉，飛行路徑也偏向直線下墜。

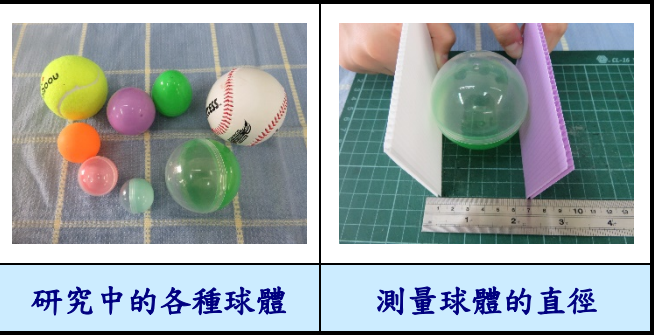
瓶蓋的飛行比我們想像的有趣，在觀察過瓶蓋的飛行後，我們有點好奇：如果將瓶蓋換成球體，與瓶蓋的飛行會有什麼差別？我們想到利用體育式的各種球類，但是棒球、網球重量與乒乓球相差太大，是否能用發射臺彈射？是否有其他球體讓我們觀察它們的飛行樣態？我們決定在下一個研究中加以試驗。



球體飛行情形與瓶蓋是
否有差異？

研究三：球體與瓶蓋的飛行路徑是否有差異

發射器平放（0度）時，將收集的球體利用發射器，以不同拉力：5公分、10公分、15公分、20公分，測量並觀察瓶蓋飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。









研究中的各種球體

測量球體的直徑

結果：

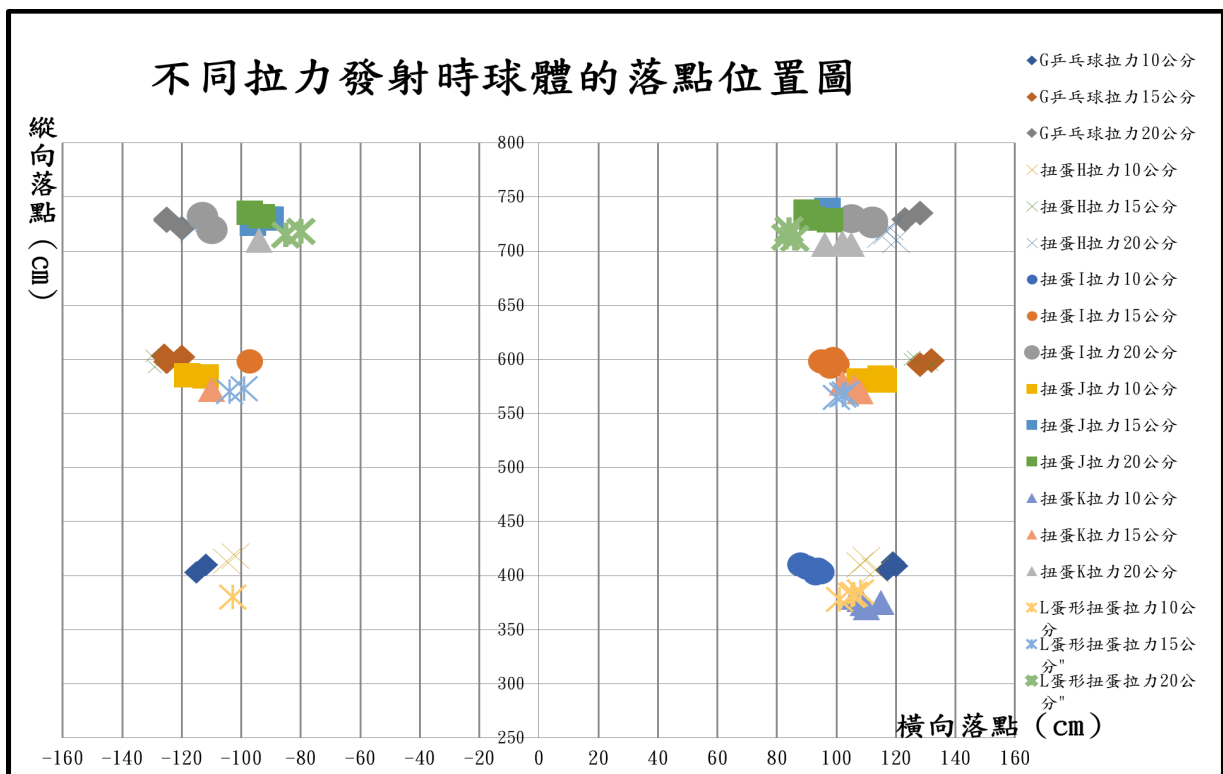
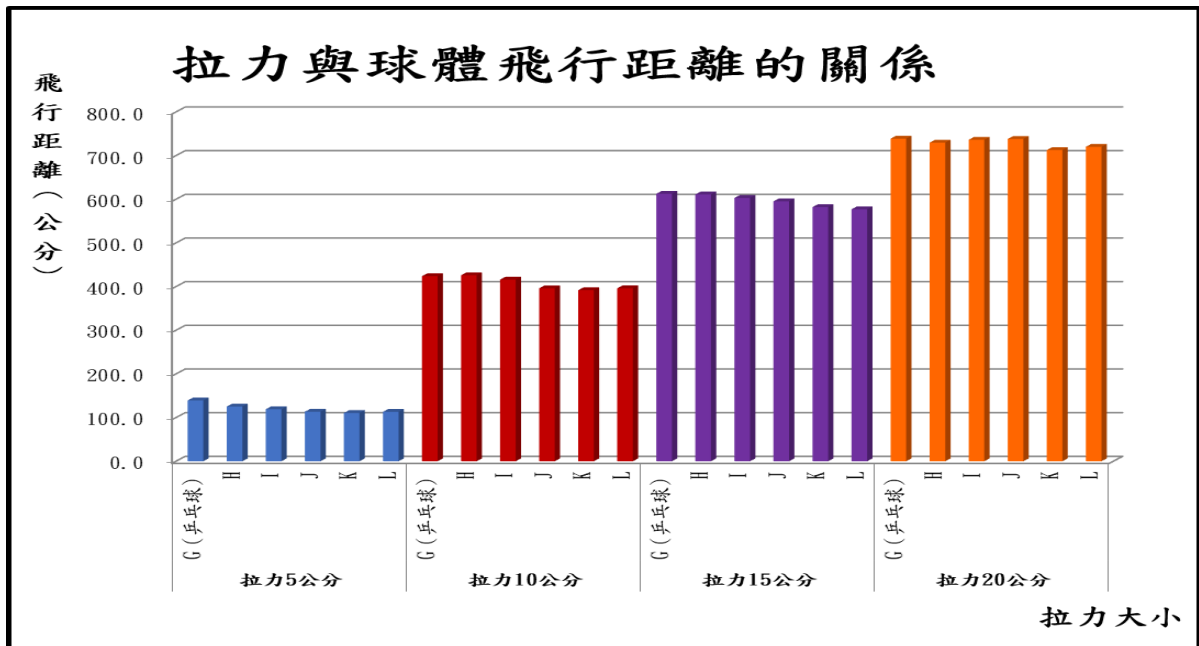
【各種球體的基本資料：】

	G (乒乓球)	H	I	J	K	L
						
重量	2.76	2.01	3.27	6.84	11.49	4.87
材質	塑膠	塑膠	塑膠	塑膠	塑膠	塑膠
直徑	4.0	3.2	3.8	5.0	6.5	4.3

【拉力與球體飛行的關係「落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）」：】

	拉力 10 公分			拉力 15 公分			拉力 20 公分		
	G	H	I	G	H	I	G	H	I
第一次	-112,410	108,410	95,403	-125,598	125,600	95,598	-120,721	120,710	-110,720
第二次	-115,403	-105,413	93,402	128,595	126,602	98,593	-125,730	115,715	112,725
第三次	117,405	110,415	94,405	-120,602	-130,603	-97,598	128,735	-116,720	-113,732
第四次	119,412	-102,418	90,407	-126,603	-129,593	100,595	-125,728	118,722	105,730
第五次	120,409	113,405	88,410	132,599	132,595	99,600	123,729	117,718	112,728
平均距離 (cm)	423.9	425.9	416.0	612.5	611.1	603.0	738.8	729.6	736.3

	拉力 10 公分			拉力 15 公分			拉力 20 公分		
	J	K	L	J	K	L	J	K	L
第一次	-112,584	110,370	-103,380	93,732	106,573	100,565	92,730	-98,703	84,720
第二次	115,583	115,375	105,382	-90,730	108,575	102,567	-93,732	96,706	-85,715
第三次	108,580	108,378	106,383	95,735	-110,570	-104,570	98,728	-94,710	-80,718
第四次	-118,585	106,380	108,385	97,738	102,572	-99,573	-97,735	102,708	83,713
第五次	116,580	109,374	101,378	-96,725	104,578	103,568	90,736	105,706	86,712
平均距離 (cm)	396.1	391.8	396.2	595.3	582.1	577.1	738.1	712.8	720.0



討論：

各種不同樣式的球體經發射臺彈出後，飛行情形與瓶蓋大不相同：

- 一、棒球、網球重量太大，完全無法彈射，多半都是擊出後直接墜落，因此我們無法觀察到它們的飛行情形。
- 二、球體與瓶蓋最大的不同在飛行高度，除了無法觀察的網球及棒球外，每一種球的飛行高度都在走廊第二層窗戶上方到第三層窗戶間，大約 150~170 公分。
- 三、各種球體的飛行距離也都比瓶蓋遠，在我們試驗的各種大小球體中，我們發現直徑較小的球體（H、I）飛行較遠，路徑也比較飄忽，而直徑較大的球體（J、K）路徑比較直，飛行距離也較短。
- 四、扭蛋的雙色幫助我們觀察到球體的飛行，在多次的瓶蓋彈射飛行中，我們觀察到，球體不只是飛出去，在飛行過程中瓶蓋還會上下旋轉，在旋轉的同時球體並非直線往前飛行，面向發射臺方向可以看到球體飛行路徑會因為球體的旋轉略略往左右偏移。
- 五、蛋形的扭蛋（L）飛行路徑是所有球體中最飄忽的，透過慢速攝影，我們觀察到在旋轉的過程中，蛋形扭蛋還會上下翻滾，在翻滾的同時扭蛋就往左右偏移，最後落的落點距離中央線較遠。








從各種球體讓我們確實觀察到與瓶蓋不同的飛行樣態，我們有點好奇，如果是半球體，飛行狀況是否會有所變化呢？由於扭蛋可以分上下兩半，因此我們就決定利用這可分割的特性來觀測它們的飛行狀態。



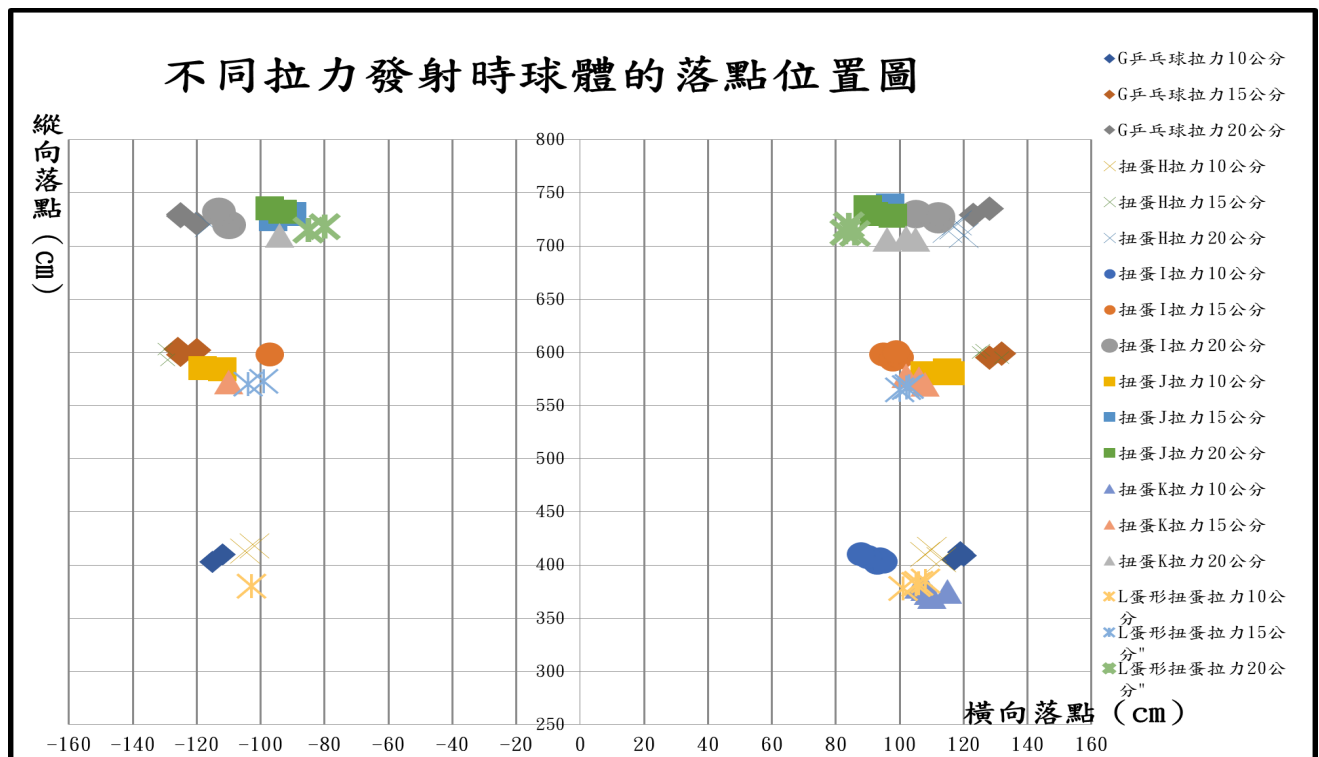
結果：

【各種半球體的基本資料：】

	H-2	I-2	J-2	K-2	L-2 (圓頭)	L-3 (尖頭)
						
重量	1.32	2.19	4.26	7.45	2.43	2.44
直徑	3.2	3.8	5.0	6.5	4.3	4.3

【拉力與半球體飛行的關係 (拉力 15 公分)「落點位置 (x：橫向位置，y：縱向位置)」：】

	拉力 15 公分					
	H-2	I-2	J-2	K-2	L-2	L-3
第一次	98,473	-98,473	-75,465	74,576	-85,450	-80,453
第二次	-102,470	95,472	78,458	75,578	-88,458	82,455
第三次	-105,480	-102,480	-76,462	-78,580	86,462	-78,458
第四次	108,476	108,478	-74,455	73,572	89,460	83,462
第五次	95,480	105,476	80,457	80,575	-90,460	80,463
平均距離 (cm)	485.4	487.0	466.6	472.7	466.0	462.0



討論：

我們從半球狀的球體觀察到與整顆球體不大相同的飛行樣貌：

一、半球扭蛋（H-2、I-2、J-2、K-2）的飛行樣態比較接近瓶蓋，但飛行距離明顯較瓶蓋短，飛行高度比整顆球時低，反而與瓶蓋的飛行高度接近，大多在第一層窗戶接近第二層處，140～160公分。

二、蛋形扭蛋的兩半飛行狀況不同：

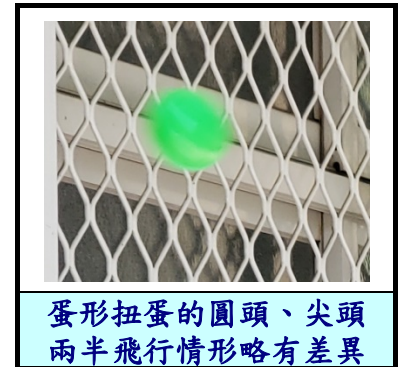
1. 圓頭的一半（L-2）飛行距離較遠，飛行時翻轉較不明顯，飛行路線較少偏移，落點較接近中心線。

2. 尖頭（L-3）的一半在飛行中除了旋轉，同時也上下翻轉，在翻轉的同時，會向一旁飄移，落點明顯偏離中心線。

三、直徑越大的半球（J-2、K-2），飛行距離越短，但是路徑較為飄忽，飛行過程中則會有翻轉情形。

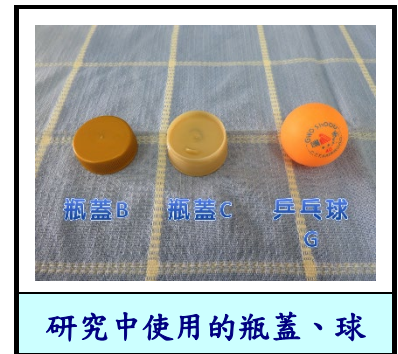
光是水平彈射，我們就觀察到瓶蓋或球體的飛行不只是旋轉，還有翻轉，當翻轉的同時也造成飛行路線的飄移，當我們面向發射臺觀察，就會發現當瓶蓋翻轉明顯時，瓶蓋飛行路線會有先飄向左右，再往中心線飄回的情形。

我們想到：如果發射器加上角度？讓瓶蓋以不同角度彈射，對於飛行路徑又會有怎樣的影響？因此我們進一步用結合角度固定版的發射器，改變瓶蓋的彈射角度，觀察瓶蓋飛行



研究四：彈射角度對瓶蓋投出後飛行的影響

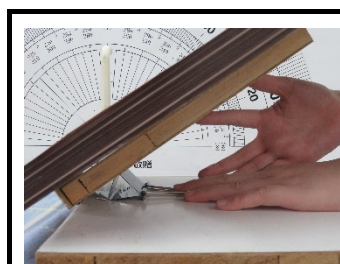
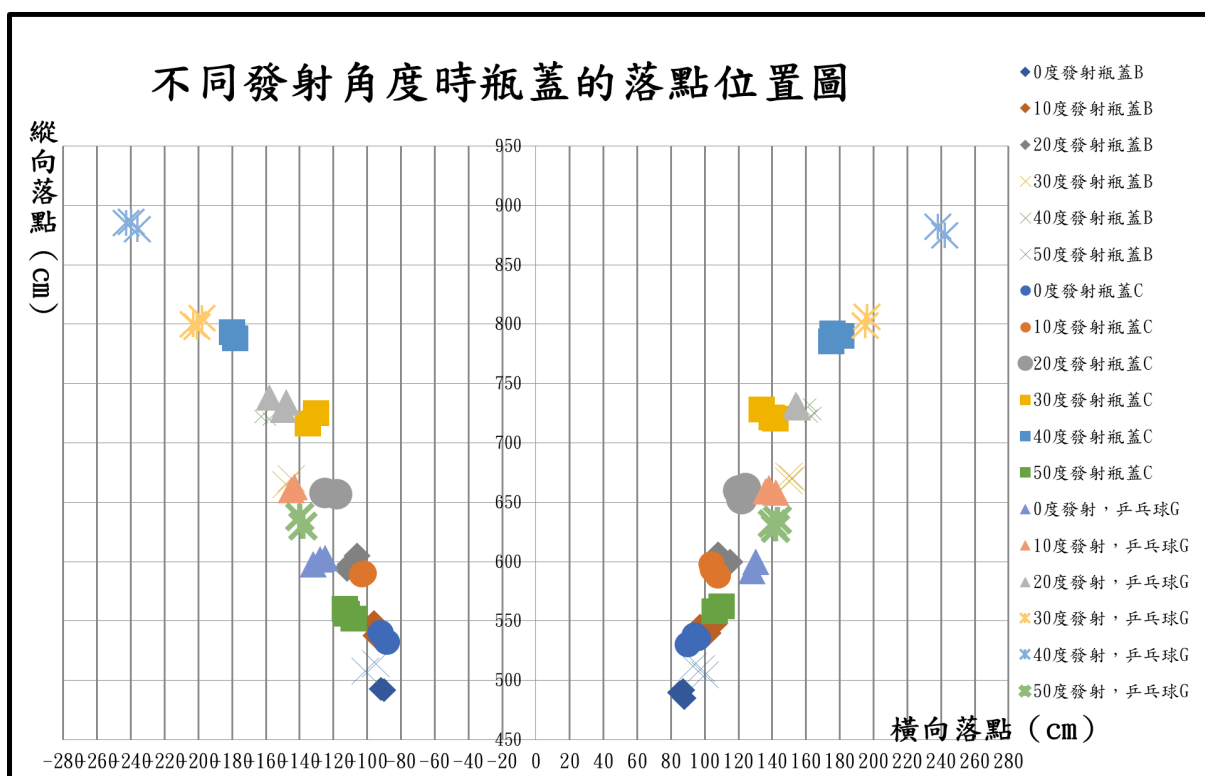
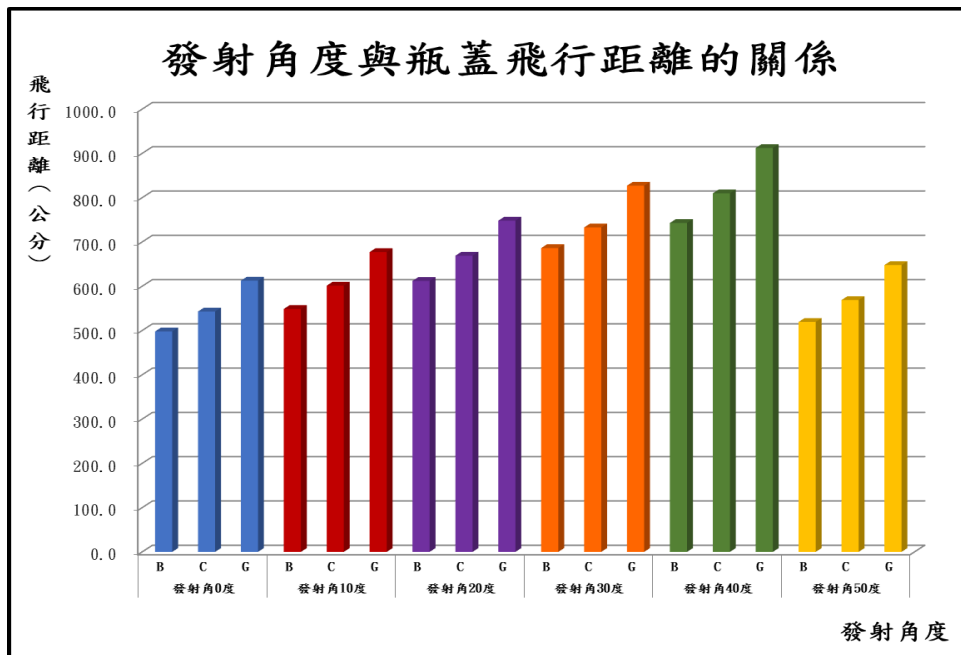
將「瓶蓋 B、C，及乒乓球 G」擊球體利用發射器，固定拉力為 15 公分，測量並觀察不同彈射角度（10 度、20 度、30 度、40 度、50 度、60 度）下，瓶蓋飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。



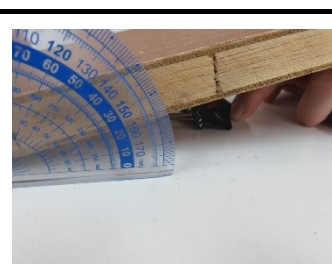
結果：

【彈射角度與瓶蓋飛行的關係「拉力 15 公分，落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）」：】

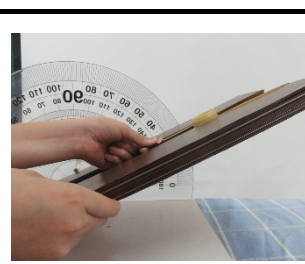
	10 度			20 度					
	B	C	G	B	C	G			
第一次	-96,548	104,598	-143,663	-112,594	-118,657	155,730			
第二次	97,545	-103,589	142,658	108,606	122,653	-158,738			
第三次	-95,538	108,588	-145,660	-110,598	124,662	-148,734			
第四次	102,540	-102,590	138,662	-106,605	120,660	-150,728			
第五次	106,548	105,593	136,659	115,600	-125,658	154,732			
平均距離 (cm)	548.6	601.2	677.1	612.0	668.9	748.0			
	30 度 (水平)			40 度			50 度		
	B	C	G	B	C	G	B	C	G
第一次	-145,670	-135,716	-203,800	-163,722	176,792	242,875	-95,514	110,562	140,632
第二次	150,668	134,728	-201,798	162,732	-178,788	-236,880	93,512	-112,556	-138,630
第三次	-148,665	-130,725	195,799	-158,720	175,785	238,882	98,510	-108,552	-140,638
第四次	152,670	142,720	196,806	165,725	-180,793	-240,886	-101,508	106,558	142,628
第五次	150,672	140,721	-198,805	163,723	181,790	-243,885	100,505	-113,560	143,635
平均距離 (cm)	686.2	732.7	827.1	742.9	809.8	912.1	519.3	568.7	647.8



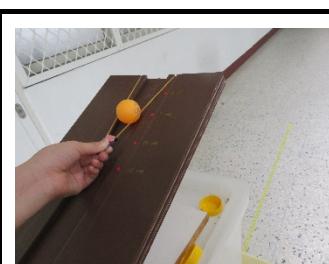
利用角度固定板調整彈射角度



調整發射器角度



瓶蓋固定在發射器

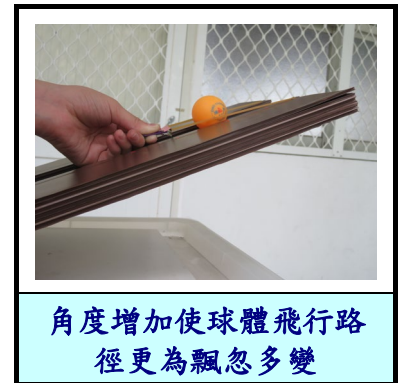
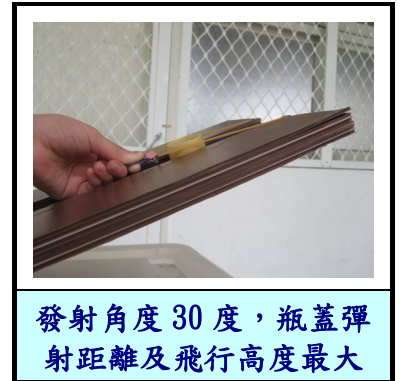


球體固定在發射器

討論：

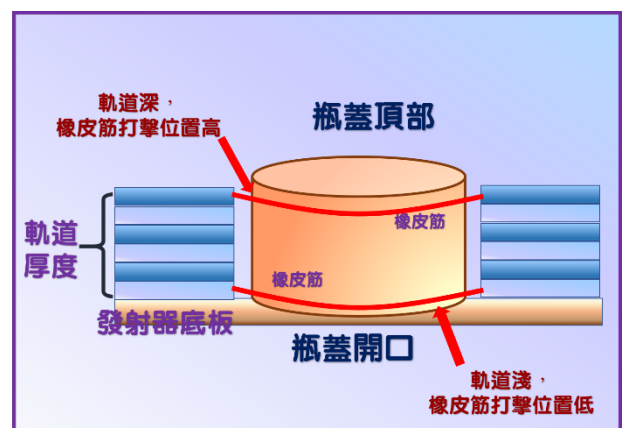
改變瓶蓋彈射角度，對瓶蓋的飛行會產生影響：

- 一、彈射角度改變，最明顯的就是瓶蓋的飛行路徑變得飄忽不定。
- 二、在彈射角度 30 度以內，隨著角度增加，每一個瓶蓋飛行距離都明顯增加，且飛行高度也大大提高，瓶蓋飛行的最高點幾乎都在第三層窗戶，也就是 180 公分以上。
- 三、在 30 度彈射角以內，角度越大，瓶蓋飛行距離越遠，但當彈射角度超過 30 度，瓶蓋的飛行距離反而變短，而且也比較會往兩旁飄。
- 四、改變彈射角度對瓶蓋飛行中的翻轉情形也會有影響，彈射角度大時，瓶蓋飛行中的翻轉情形較多，路徑變得較為飄忽，直徑越大，厚度越大的瓶蓋在 30 度、40 度的彈射角時，飛行路徑忽左忽右，甚至會出現先往一邊飛到一半又斜斜飄向另一邊的情況。
- 五、乒乓球、扭蛋等球體，角度改變造成的飛行改變更加明顯，在 30 度、40 度的彈射角時，飛行路徑左右飄移的情形比瓶蓋更加明顯。



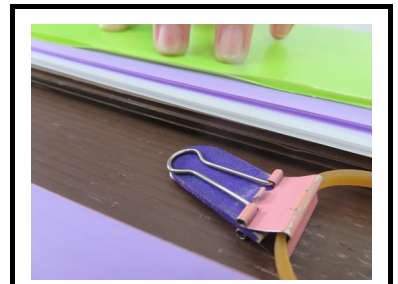
彈射角度的改變，讓我們觀察到瓶蓋飛行路徑就像飄忽的變化球，但是在球場上，投手如何投出一顆變化球，不只要考慮角度，還有施力的位置及投球的力度差異。要如何觀察到施力對於瓶蓋飛行的影響？我們想到，如果改變軌道的深度，讓橡皮筋彈射在瓶蓋不同的位置，對於瓶蓋的飛行會有什麼影響？

要如何改變橡皮筋彈射位置呢？我們想到；我們改變軌道的塑膠版厚度，塑膠板每一層厚度為 0.1mm，當塑膠版層數少（1 層、2 層）時，橡皮筋會彈射瓶蓋的底部，隨著塑膠板層數增加，橡皮筋彈射位置就會往上移，彈射位置就會落在瓶蓋的頂部。讓我們可以進一步觀察不同的瓶蓋彈射位置，對於瓶蓋的飛行是否有影響？

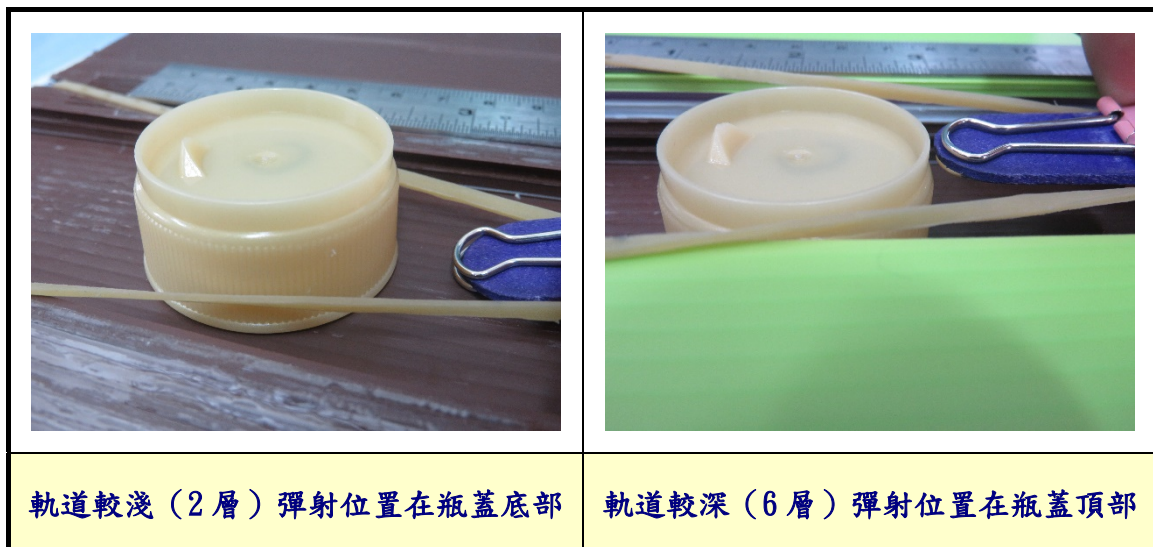


研究五：橡皮筋彈射位置對瓶蓋投出後飛行的影響

發射器平放（0度），將「瓶蓋 B、C，及乒乓球 G」利用發射器，逐步改變兩側軌道深度，以 15 公分拉力，測量並觀察橡皮筋在不同彈射位置，瓶蓋飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。



改變軌道的深度



軌道較淺（2層）彈射位置在瓶蓋底部

軌道較深（6層）彈射位置在瓶蓋頂部

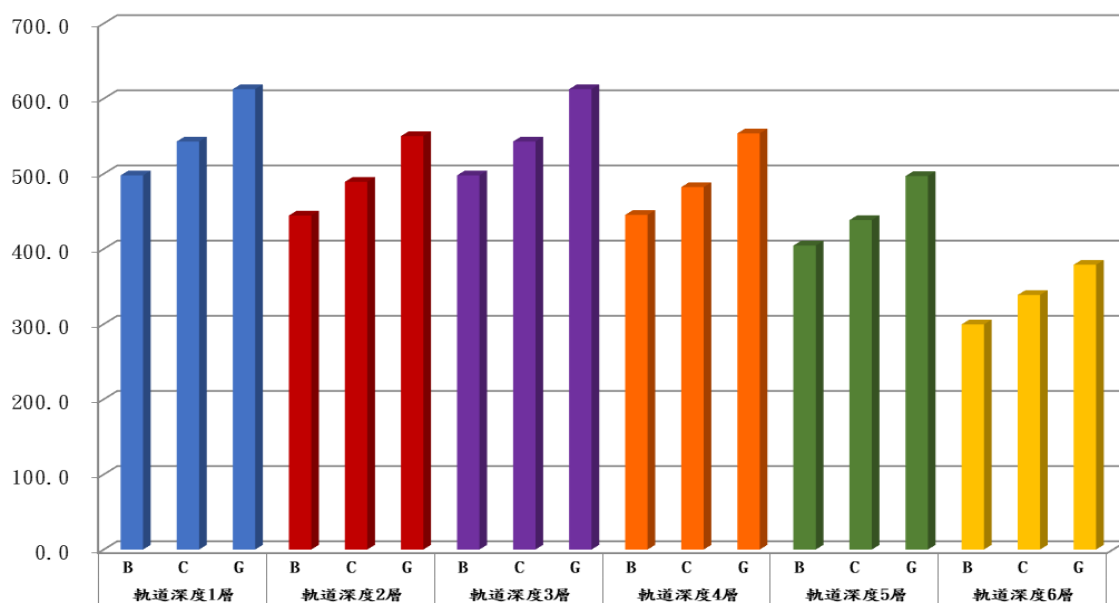
結果：

【橡皮筋打擊位置與瓶蓋飛行的關係「拉力 15 公分，落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）」：】

	軌道深度 1 層			軌道深度 3 層			軌道深度 5 層		
	B	C	G	B	C	G	B	C	G
第一次	-68,393	73,428	-98,486	-87,493	-90,538	-126,595	-73,396	73,436	110,360
第二次	-72,392	-74,433	-102,480	-88,485	92,536	130,598	75,398	-70,428	108,362
第三次	70,387	-70,428	108,475	86,486	93,532	132,602	70,401	-74,430	-116,367
第四次	67,388	76,430	99,480	90,490	88,535	-128,600	-68,402	-76,440	-118,365
第五次	71,390	-74,432	-106,483	92,492	-93,530	128,593	-69,395	78,432	-112,361
平均距離 (cm)	497.8	542.9	612.5	497.8	542.9	612.5	404.5	438.3	496.9

軌道深度與瓶蓋飛行距離的關係

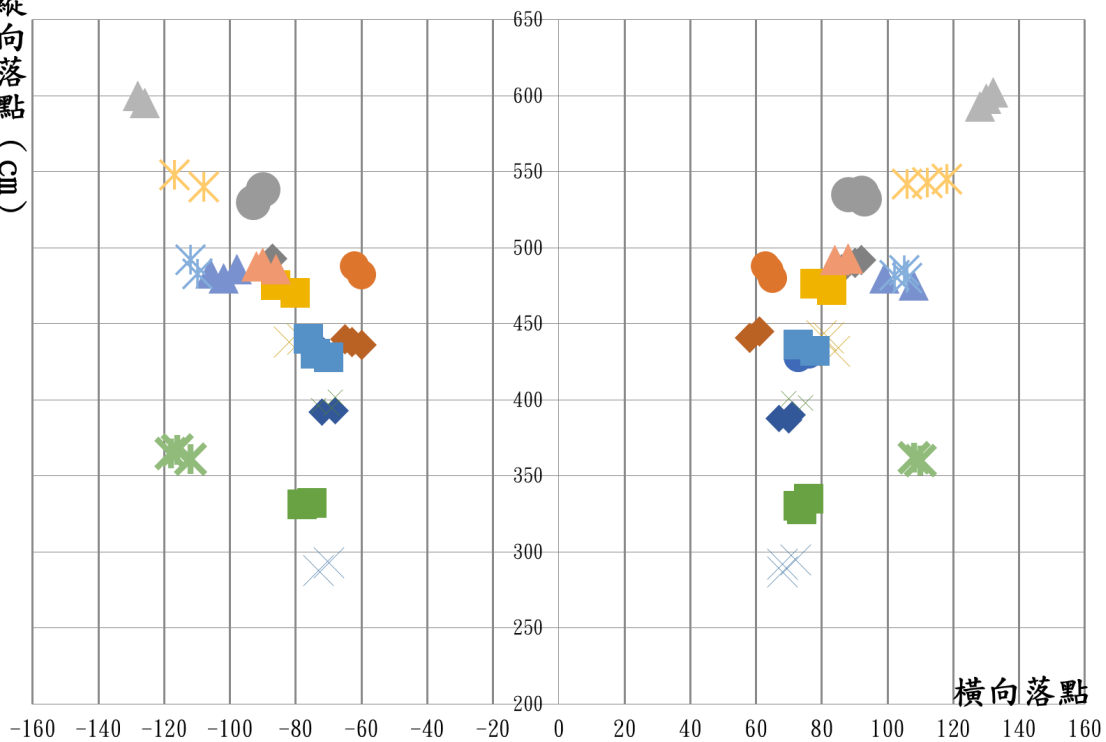
飛行距離 (公分)



發射角度

不同發射角度時瓶蓋的落點位置圖

縱向落點 (cm)



橫向落點 (cm)

討論：

藉由改變軌道深度調整橡皮筋打擊位置，我們觀察到：

一、橡皮筋彈射位置改變對於瓶蓋的飛行距離、落點位置以及飛行中的翻轉都有影響。

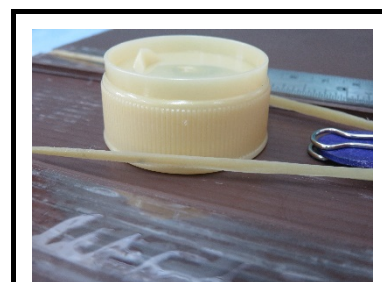
二、當軌道較淺，打擊位置在瓶蓋底部時，瓶蓋的飛行距離較遠，飛行中瓶蓋的翻轉以及飛行路徑飄移情形較明顯，也比較容易看到飛行路徑先往左或右飄移，再迴旋往令一邊飛過去的現象，最後的落點也比較偏離中心線。

三、當軌道較淺深，打擊位置在瓶蓋頂部時，瓶蓋的飛行距離較短，飛行中瓶蓋的翻轉，以及飛行路徑飄移情形較少，飛行路徑也比較接近直直的拋物線，甚至會有拋射下墜的情形，最後的落點也比較偏離中心線。

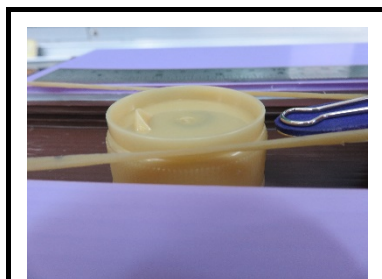
四、直徑越大厚度越後的瓶蓋，當橡皮筋打擊位置改變時，飛行路徑的差異更加明顯，當橡皮筋打擊位置在瓶蓋底部時，瓶蓋翻轉明顯，而橡皮筋打擊位置在瓶蓋頂部時，瓶蓋則直直飛出後下墜。

五、乒乓球、扭蛋等球體，打擊點改變造成的飛行改變更加明顯，當打擊點較低時，明顯飛得比較

高，而且會左右飄移，當打擊點上移，飛行路徑就變得平直，飛行高度也比較低，呈現較直線的拋物線。



打擊位置在瓶蓋底部時，瓶蓋飛行較易翻轉

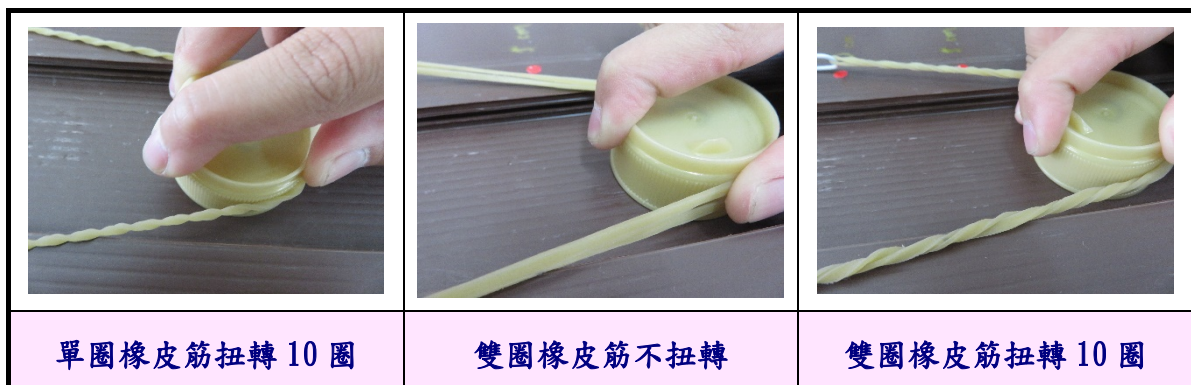


打擊位置在瓶蓋頂部時，瓶蓋飛行路徑平直

僅僅改變橡皮筋彈射瓶蓋位置我們就發現瓶蓋的飛行路徑有許多變化，我們想到：如果瓶蓋兩側的橡皮筋彈力不同，對於瓶蓋的飛行是否會有影響？我們決定在下一個研究中試試看。

研究六：橡皮筋扭轉對瓶蓋投出後飛行的影響

1. 利用迴紋針固定橡皮筋。
2. 以下列方式扭轉橡皮筋：「單圈改變扭轉圈數」和「雙圈變扭轉圈數」。
3. 發射器平放（0度），將「瓶蓋 B、C，及乒乓球 G」利用發射器，以 15 公分拉力，測量並觀察橡皮筋扭轉時，瓶蓋飛行的落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）以及飛行情形，並加以記錄。

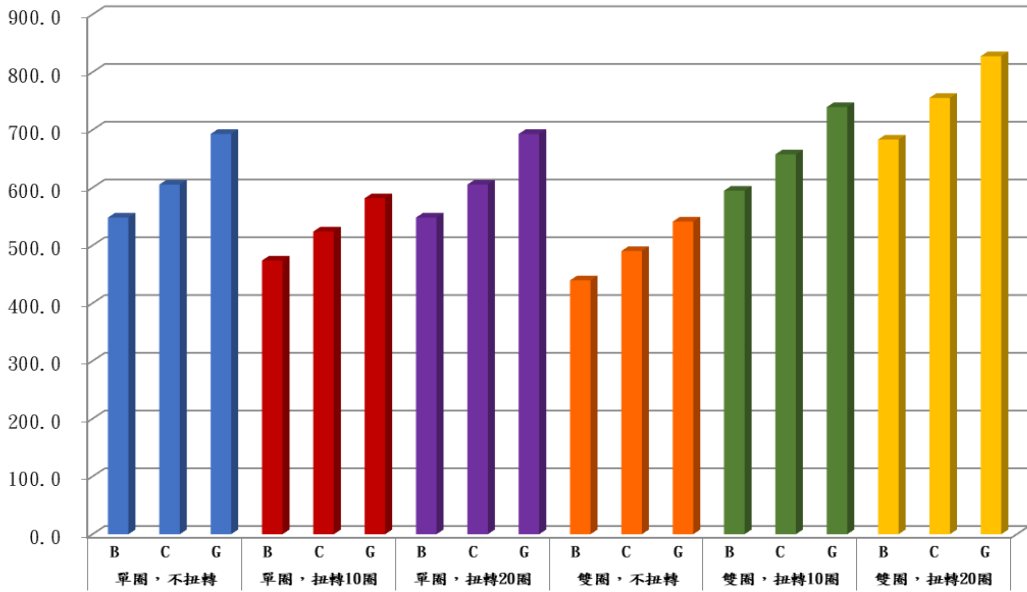


【橡皮筋不規則施力時瓶蓋的飛行的情形「拉力 15 公分，落點位置（x：橫向位置，y：縱向位置）」：】

	單圈橡皮筋扭轉 10 圈			單圈橡皮筋扭轉 20 圈			雙圈橡皮筋不扭轉		
	B	C	G	B	C	G	B	C	G
第一次	-60,472	-64,517	-75,545	-73,543	78,600	-106,683	-63,432	60,486	-84,536
第二次	-58,476	62,524	74,548	78,540	-75,595	108,680	64,435	63,485	-78,535
第三次	59,465	-60,523	80,540	-75,538	82,603	-106,688	58,438	68,483	85,538
第四次	62,468	-58,518	78,542	74,546	-81,605	-105,684	65,436	-65,490	76,532
第五次	-63,470	67,520	82,543	76,548	-80,598	107,685	-62,428	-64,486	-83,530
平均距離 (cm)	473.8	524.0	581.7	548.3	605.3	693.0	439.5	490.3	541.2
	雙圈橡皮筋扭轉 10 圈			雙圈橡皮筋扭轉 20 圈					
	B	C	G	B	C	G			
第一次	-80,591	-88,652	-106,732	-78,675	92,752	116,815			
第二次	78,585	90,653	108,731	80,680	86,750	-116,823			
第三次	-75,588	-84,650	-100,735	84,678	-88,748	108,820			
第四次	73,593	-86,653	-105,738	85,682	-89,746	110,818			
第五次	74,592	87,655	106,728	86,680	90,753	-113,825			
平均距離 (cm)	594.7	657.6	739.5	683.3	755.4	827.6			

橡皮筋扭轉與瓶蓋飛行距離的關係

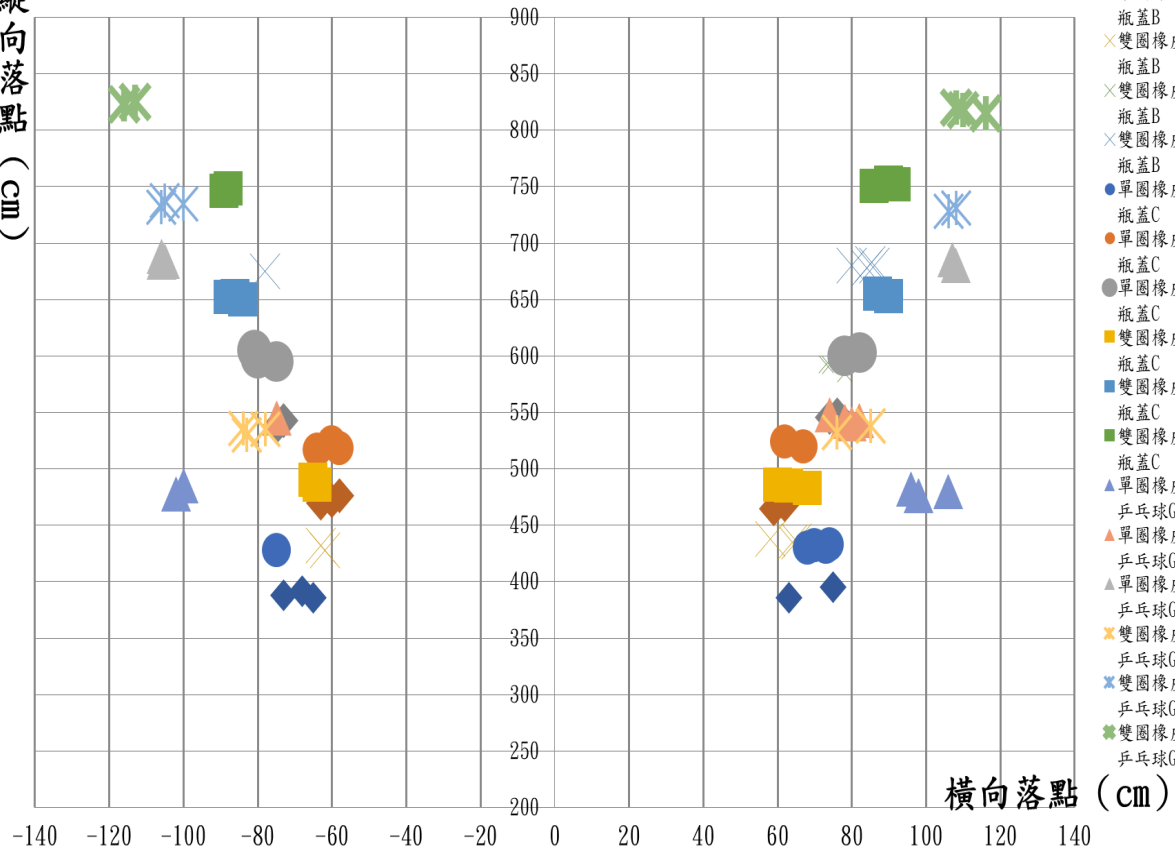
飛行距離 (公分)



發射角度

不同橡皮筋扭轉圈數時瓶蓋的落點位置圖

縱向落點 (cm)



橫向落點 (cm)

討論：

將橡皮筋扭轉用來彈射瓶蓋，我們發現會影響瓶蓋的飛行路徑：

- 一、扭轉橡皮筋對於瓶蓋飛行距離的影響較少，我們發現雖然扭轉圈數較多時，瓶蓋彈得較遠，但並不明顯。
- 二、當橡皮筋扭轉圈數增加時，飛行路徑確有很大的差異，無論是瓶蓋或球，飛行路明顯變得平直，直直向前彈射。
- 三、扭轉橡皮筋會使瓶蓋在彈射的同時，因為橡皮筋本身在手放開後會回復扭轉前狀態，使得瓶蓋在啟動瞬間開始旋轉，瓶蓋的飛行路線反而比較不會左右飄移，扭轉圈數越多，飛行路線越平直，無論是瓶蓋或球都會在彈出軌道直直向中央飛行，呈現類似快速直求的飛行路線。
- 四、透過慢速射影，我們發現瓶蓋飛行時的翻轉情形減少，由於橡皮筋的扭轉施力，使得瓶蓋彈射的同時開始旋轉，因此飛行的樣態比較像是小型飛盤，飛行較為平穩，比較接近直球的路徑。

總結研究四到六的結果，我們發現當彈射的瓶蓋在飛行中翻轉較少時，路徑比較平直，就像快速直球一般。而當飛行中瓶蓋翻轉較多時，在瓶蓋翻轉的同時，會改變原本的飛行軌道，變成或左或右的飄移，這時瓶蓋的飛行路徑就比較接近變化球。

「瓶蓋的彈射角度」、「彈射瞬間橡皮筋打擊瓶蓋的位置」，以及「扭轉橡皮筋」帶動的瓶蓋旋轉，都會影響瓶蓋或球體的飛行軌跡，只要其中一項變因有一些改變，瓶蓋的飛行路線就會變化多端。



柒、研究結論：

大多數的瓶蓋，頂部是平面，底部為空心，在空中飛行時，比球形更容易產生壓力差，也更容易讓我們從瓶蓋的飛行路徑中瞭解影響投出變化球的因素。我們觀察到「瓶蓋的彈射角度」、「彈射瞬間橡皮筋打擊瓶蓋的位置」，以及「扭轉橡皮筋」帶動的瓶蓋旋轉，都會影響瓶蓋或球體的飛行軌跡，瓶蓋在飛行中除了旋轉還會翻轉，當飛行中瓶蓋翻轉較多時，瓶蓋飛行的路徑也會比較飄忽不定。

一、利用塑膠板，再以「角度固定架」作為調整角度的裝置，固定發射器就可以自由調整角度，並以此裝置控制變因，探索影響瓶蓋飛行的各項因素。

二、「瓶蓋樣式」與飛行的關係：

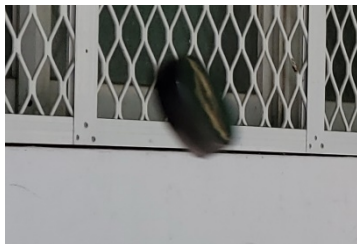
1. 瓶蓋材質：金屬瓶蓋較塑膠瓶蓋飛行距離短，飛行路徑也較平直。
2. 瓶蓋直徑：直徑小的瓶蓋飛得比較直比較遠，直徑大的瓶蓋飛行距離較短但飛行路線較為飄忽。另外，飛行中直徑大的瓶蓋除旋轉外翻轉的情形也較為明顯。
3. 瓶蓋厚度：較薄的瓶蓋飛得比較直比較遠，較厚的瓶蓋則飛行路線較為飄忽，飛行中翻轉的情形也較為明顯。
4. 瓶蓋正放倒放發射：正放彈射的瓶蓋飛行距離較遠，且飛行中較容易翻轉，而倒放的瓶蓋飛行距離較短，飛行路徑比較偏向直線下墜，飛行中的翻轉情形也較少。

三、「瓶蓋」與「球體」的飛行：

1. 「球體」的飛行距離及飛行高度明顯較瓶蓋大，直徑較小的球體飛行較遠，路徑也比較飄忽，而直徑較大的球體路徑比較直，飛行距離也較短。飛行中，我們觀察到，球體不只是飛出去，在飛行過程中瓶蓋還會上下旋轉，在旋轉的同時球體並非直線往前飛行，面向發射臺方向可以看到球體飛行路徑會因為球體的旋轉略略往左右偏移。
2. 蛋形的扭蛋飛行路徑是所有球體中最飄忽的，透過慢速攝影，我們觀察到在選轉的過程中，蛋形扭蛋還會上下翻滾，在翻滾的同時，就往



設置彈射瓶蓋的發射器



較厚的瓶蓋飛行中的翻轉較明顯



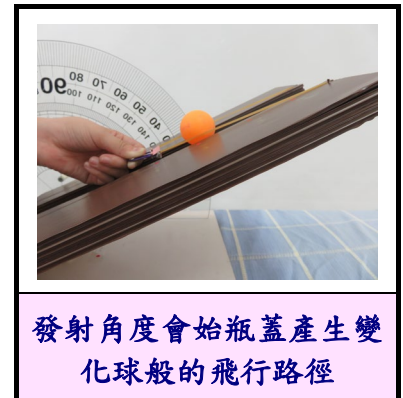
蛋形的扭蛋飛行路徑是所有球體中最飄忽的

左右偏移，最後落的落點距離中央線較遠。

3. 半球的飛行樣態比較接近瓶蓋，但飛行距離明顯較瓶蓋短，飛行高度比整顆球時低，直徑越大的半球，飛行距離越短，但是路徑較為飄忽，飛行過程中則會有翻轉情形。
4. 蛋形扭蛋的兩半飛行狀況不同：
 - (1) 圓頭的一半飛行距離較遠，飛行時翻轉較不明顯，飛行路線較少偏移，落點較接近中心線。
 - (2) 尖頭的一半在飛行中除了旋轉，同時也上下翻轉，在翻轉的同時，會向一旁飄移，落點明顯偏離中心線。

四、瓶蓋「彈射角度」與飛行的關係：

1. 發射角度改變，最明顯的就是飛行路徑變得飄忽不定。在 30 度發射角以內，角度越大，瓶蓋飛行距離越遠，但當發射角度超過 30 度，瓶蓋的飛行距離反而變短。
2. 發射角度大時，瓶蓋飛行中的翻轉情形較多，路徑變得較為飄忽，直徑越大，厚度越大的瓶蓋在 30 度、40 度的發射角時，飛行路徑忽左忽右，甚至會出現先往一邊飛到一半又斜斜飄向另一邊的情況。
3. 乒乓球、扭蛋等球體，角度改變造成的飛行改變更加明顯，在 30 度、40 度的發射角時，飛行路徑左右飄移的情形比瓶蓋更加明顯。



五、「橡皮筋發射位置」與飛行的關係：

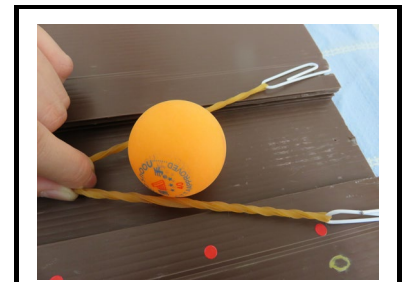
1. 打擊位置在瓶蓋底部時，瓶蓋的飛行距離較遠，飛行中瓶蓋的翻轉以及飛行路徑飄移情形較明顯，也比較容易看到飛行路徑先往左或右飄移，再迴旋往令一邊飛過去的現象，最後的落點也比較偏離中心線。
2. 打擊位置在瓶蓋頂部時，瓶蓋的飛行距離較短，飛行中瓶蓋的翻轉，以及飛行路徑飄移情形較少，飛行路徑也比較接近直直的拋物線，甚至會有拋射下墜的情形，最後的落點也比較偏離中心線。
3. 直徑越大厚度越厚的瓶蓋，打擊位置改變時飛行路徑差異更加明顯，當橡皮筋打擊位置在瓶蓋底部時瓶蓋翻轉明顯，而橡皮筋打擊位置在瓶蓋頂部時則直直飛出後下墜。



4. 乒乓球、扭蛋等球體，打擊點改變造成的飛行改變更加明顯，當打擊點較低時，明顯飛得比較高，而且會左右飄移，當打擊點上移，飛行路徑就變得平直，飛行高度也比較低，呈現較直線的拋物線。

六、瓶蓋兩側橡皮筋鬆緊度不同時，會使瓶蓋在發射的同時開始旋轉，瓶蓋反而比較不會左右飄移，不管是左邊較緊或是右邊較緊，瓶蓋都會在彈出軌道後稍唯一小段迴旋後，直直向中央飛行，我們發現瓶蓋飛行時的翻轉情形減少，由於橡皮筋的不規則施力，使得瓶蓋彈射的同時開始旋轉，飛行的樣態比較像是小型飛盤。

七、總結我們觀察的結果，想要將瓶蓋彈射出「直球」或是「變化球」需注意幾項要點，只要選擇適當的瓶蓋，掌握適當的發射方式，就能投出我們希望的球種：



扭轉的橡皮筋使彈射的同時產生旋轉，造成直球的飛行路徑

	直球	變化球	下墜球
瓶蓋或球體種類	1.瓶蓋直徑小、厚度薄 2.半徑較小的球體 3.半徑較小的半顆扭蛋	1.瓶蓋直徑大、厚度較厚 2.半徑較大的半顆扭蛋 3.半徑較小的球體	半徑較大的球體
彈射角度	彈射角度 0~10 度	彈射角度 20~40 度	水平彈射
軌道深度 橡皮筋打擊位置	1.軌道深度 3~5 層 2.打擊瓶蓋中間偏上部	1.軌道深度 1~2 層 2.打擊瓶蓋底部	1.軌道深度 6 層 2.打擊瓶蓋頂部
橡皮筋扭轉	橡皮筋扭轉	單圈橡皮筋，不扭轉	多圈橡皮筋，扭轉

投手丘上投手投出的每一顆球，無論是直球或變化球，背後都蘊含許多科學原理。透過研究，我們發現小小瓶蓋的飛行，隱含著許多投球的大秘密。只要瞭解如何調整發射瓶蓋的方式，選用適合的瓶蓋，瓶蓋的飛行就可以像投手一般模擬出各種有趣的變化球，讓投球技術沒那麼厲害的我們，體驗投出變化球的樂趣。在動手玩瓶蓋的同時，我們也學到了許多有趣的科學原理，真是收穫滿滿！

捌、參考書目：

1. 簡單機械（康軒版自然與生活科技，第八冊第一單元）。
2. 力與運動（康軒版自然與生活科技，第五冊第四單元）
3. 天外奇「機」～紙飛機的秘密（屏東縣第 56-57 屆科展說明書，國小組自然科）
4. 遠哲科學教育基金會
（https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=3044204692314156&id=141916222543032）。
5. 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：馬格努斯效應
（<http://scigame.ntcu.edu.tw/air/air-023.html>）。
6. 瓶蓋棒球賽（文・攝影／黃仲豪，圖／古室友，國語日報 2020 年 4 月 30 日科學六版）。