

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080123

變化多端的瓶蓋棒球

學校名稱：高雄市三民區民族國民小學

作者： 小六 施岑瑩 小六 李韋勳 小六 蔡芷妍 小六 項芊瑜 小六 陳懿涵	指導老師： 謝君偉
---	------------------

關鍵詞：瓶蓋棒球、康達效應、馬格努斯效應

摘要

在影片中，看到有人將瓶蓋像棒球一樣投出轉彎變化球，我們想知道瓶蓋棒球轉彎的原理。設計利用橡皮筋將瓶蓋彈射出去的發射台，並嘗試瓶蓋正、反兩面的飛行效果。我們發現瓶蓋飛行穩定的主要因素是旋轉。利用長短橡皮筋模擬右手食指彈射左右施力不同造成的逆時針旋轉。也實驗不同仰角發射，發現正面在 5~10 度的飛行效果最好，反面則是 5 度。而且逆時針旋轉的飛行路線是右傾斜的偏右弧線。交換長短橡皮筋的位置，變成順時針旋轉，飛行路線相反。將發射台的左、右傾斜角度調整為 10 度並將仰角設為 15 度，也發現瓶蓋彈射出去時，受發射面的傾斜方向影響偏向，左傾多偏左方，右傾多偏右方，但是不同的旋轉方向可以跟檯面的傾斜方向抵銷，將斜飛行狀況變成平飛。

壹、研究動機

我們上網瀏覽時，看到日本最近流行的瓶蓋棒球，我們對這項活動十分好奇，覺得可以在校園內推動，讓同學在下課時可以玩玩看，剛好跟五年級學過的力與運動有關！於是去請教老師有關瓶蓋棒球是如何飛行的。為什麼瓶蓋會轉彎投出去後會轉彎？剛好老師參加過壘球隊，教我們一些基本的投球方式，給我們提示了轉彎原因是「旋轉」。於是我們決定更深入地去了解瓶蓋棒球，開始了一連串的實驗

貳、研究目的

- 1.了解瓶蓋棒球的飛行方式與原理，進而控制飛行路線。
- 2.找出最適合的彈射方式，讓瓶蓋棒球的飛行達到最理想的效果。
- 3.找出不同飛行球路的發射方式，了解變化球的原理。

參、研究設備及器材設備




1.紀錄器材：筆記本、相機、電子秤、游標尺、皮尺、高度尺、鐵尺、棉線、奇異筆



2.實驗器材:各式大、中、小瓶蓋各五個、橡皮筋(大、小)

瓶蓋測量	小瓶蓋	中瓶蓋(較高)	大瓶蓋
五個平均直徑	32.18cm	30.45cm	41.20cm
五個平均重量	1.8gw	2.76gw	3.32gw

製作發射台(塑膠瓦楞板 60cmx40cm、鐵釘、木板、木條)。

		
發射台，桌高 60cm	用木條調整角度	鋪塑膠板減少摩擦力

肆、研究過程與方法

一、研究階段說明：





- 1.資源回收廠收集各種瓶蓋並進行試投與分類出不同大小。
- 2.挑選出數量在五個以上，可以明顯區分的大、中、小三種差異較大的瓶蓋。
- 3.設計發射台，如何調整角度傾斜、掛橡皮筋與嘗試各種的發射方法。
- 4.分析結果討論各種不同發射方式的優缺點，提出實驗結論。

二、研究方法

- 1.利用橡皮筋作為發射動力，廢棄書桌與木板製作發射台，將瓶蓋放到指定位置拉動橡皮筋直接彈射，紀錄 5 次飛行狀況與飛行距離。
- 2.直接彈射發現效果不佳，經過一番討論嘗試後，改進為長短橡皮筋相接，左右不同橡皮筋接觸頂住瓶蓋，手按住瓶蓋正中央的位置，手指往上抬，瓶蓋就旋轉發射出去，紀錄 5 次飛行狀況與飛行距離。(正面代表凹面朝下、反面凹面朝上)

3.改變發射角度、瓶蓋正反面與發射的傾斜度，紀錄 5 次飛行狀況與飛行距離。

4.記錄方式：

紀錄方式	記錄代號
飛行狀況	平飛記 1、斜飛記 2 左 L 右 R、翻滾記 3。 傾斜程度小於 45 度記 1、45 度記 2、大於 45 度記 3
落地位置	中線為準右飛記 R 左飛記 L，每 30cm 一格紀錄距離與偏轉格數
飛行距離	由發射台下方拉皮尺，直接測量飛行距離
舉例	1-14R1，461cm。平飛 14 格右偏 1 格，飛行距離 461 公分。
	
實驗測量場所全長 12 公尺每格 30cm	紀錄落地位置與擺上標記旗桿

伍、研究結果

一、利用兩條一樣的橡皮筋直接彈射，瓶蓋正面。

發射方式：橡皮筋拉 14 公分，瓶蓋放 12 公分位置，直接彈出

實驗記錄：

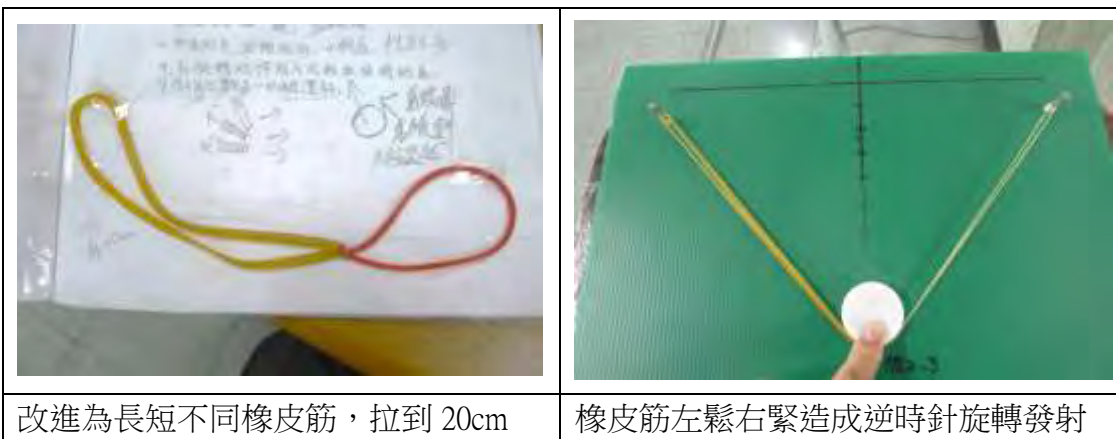
項目	飛行狀況		飛行距離平均 平均距離	落地偏離	
	平飛	翻滾		偏左 1 格	偏右 1 格
小瓶蓋	1	4	448.2	1	4
中瓶蓋	0	5	305.2	4	1
大瓶蓋	5	0	292.4	0	5

我們的發現：小瓶蓋的飛行距離是 448.2 公分；中瓶蓋 305.2 公分；大瓶蓋 292.4 公分，由此可知瓶蓋愈大，重量越重飛行距離愈短。而且中小瓶蓋，容易產生翻滾，飛行狀況不穩定，大瓶蓋則是平飛。三種落地位置都只有偏移中線一格內，不容易偏轉。



討論：發射狀況不像手指彈射會旋轉。所以我們討論如何模擬手指彈射，因為手指彈射兩邊受力不同，所以右手彈射會逆時針旋轉，左手則是順時針旋轉。

解決方式：利用長短橡皮筋不同，模擬兩端拉力不同，造成瓶蓋旋轉。試射後，飛行狀況與手指彈射相似，我們決定後續都以這種方式進行瓶蓋旋轉發射。



改進為長短不同橡皮筋，拉到 20cm

橡皮筋左鬆右緊造成逆時針旋轉發射

註記：每個不同主題實驗更換新橡皮筋，更換時選擇重量與長度接近的橡皮筋
 長橡皮筋 10 條平均長度 12cm，平均重量 1.3gw，拉長到發射點平均力量 233gw
 短橡皮筋 10 條平均長度 6.5cm，平均重量 0.3gw，拉長到發射點平均力量 452gw
 左長右短橡皮筋同時使用，拉長到發射點 20cm 平均力量 481gw

二、利用長短橡皮筋進行逆時針旋轉平射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

發射方式：瓶蓋抵住橡皮筋交會處，拉至發射板中線 20cm 處發射。

實驗結果：

項目	飛行狀況			飛行距離平均 平均距離(cm)	落地偏離	
	平飛	斜右	斜左		落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5	0	747	4	1
中瓶蓋正面	0	5	0	598	2	3
大瓶蓋正面	0	5	0	615	0	5
小瓶蓋反面	2	3	0	1016	1	4
中瓶蓋反面	2	3	0	679	3	2
大瓶蓋反面	5	0	0	583	5	0

我們的發現：

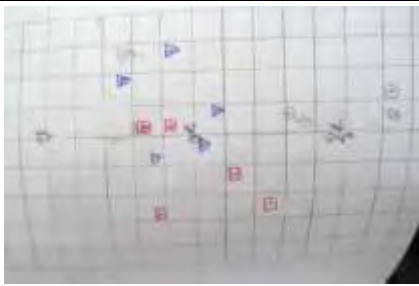

- 1.利用長短橡皮筋發射瓶蓋，會逆時針旋轉，而且飛得比實驗(一)遠大約 300 公分。瓶蓋飛行時會往右傾斜，落地的位置比較分散。
- 2.瓶蓋正面旋轉彈射中、大瓶蓋距離加倍，小瓶蓋增加 3/4 距離，有向右傾斜的

情況但都在 45 度之內。

3.瓶蓋反面旋轉發射中、小瓶蓋的飛行狀況部分為平飛，大瓶蓋則全是平飛，是因為大瓶底部受風面較大，因此飛行狀況較為平穩。

3.比較瓶蓋正反面發射發現，小瓶蓋的反面飛行距離比正面遠，大約多了 250 公分，反面中瓶蓋飛行距離大約多了 80 公分，大瓶蓋距離反之較近，少了 30 公分。

討論：反面彈射飛行速度較快適合直球，正面彈射比較會飄跟轉彎。

	
正面旋轉彈射落地分布	反面旋轉彈射落地分布。大瓶蓋 20 格內

□大瓶蓋 △中瓶蓋 ○小瓶蓋，中線數字為格數(每格 30cm)

三、用長短橡皮筋進行逆時針旋轉 5 度仰角發射，觀察瓶蓋正反面的飛行。

發射方式：瓶蓋抵住橡皮筋交會處，拉至發射板中線 20cm 處，仰角 5 度發射。

實驗結果：


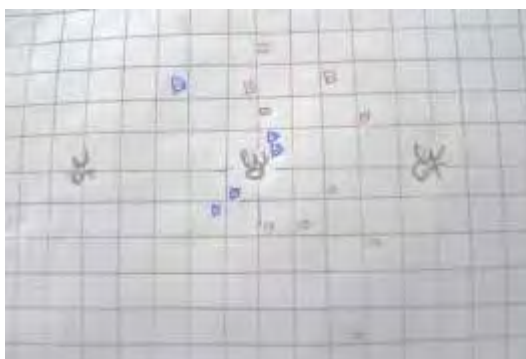
項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜右	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5	1034	156	0	5
中瓶蓋正面	0	5	774	137	0	5
大瓶蓋正面	0	5	758	120	0	5
小瓶蓋反面	3	2	977	123	0	5
中瓶蓋反面	2	3	894	128	3	2
大瓶蓋反面	5	0	951	117	5	0

我們的發現：

1.正面瓶蓋發射出去時，瓶蓋會呈現右斜，並且全部往右偏 3 格附近。但飛行距離比實驗二遠，瓶蓋最大飛行高度超過兩倍發射架高，有上飄情形。

- 2.反面瓶蓋發射出去，不容易傾斜。小瓶蓋的飛行拋物線最高點在 120 公分以上，瓶蓋的偏轉角度就會變大。中瓶蓋在實驗中失敗率最高，可能是瓶蓋較高。
- 3.反面瓶蓋發射時的飛行距離比正面短，高度也較小，下沉的狀況明顯，但是飛行穩定度高。

討論：反面瓶蓋飛行方式大多為平飛與右斜 5 度，飛行狀況較穩定。而大瓶蓋很適合做反面發射。

	
正面 5 度彈射多右偏	反面 5 度彈射距離相差小

□大瓶蓋 △中瓶蓋 ○小瓶蓋，中線數字為格數(每格 30cm)

四、用長短橡皮筋進行逆時針旋轉 10 度仰角發射，觀察瓶蓋正反面的飛行。

發射方式：瓶蓋抵住橡皮筋交會處，拉至發射板中線 20cm 處，仰角 10 度發射。

實驗結果：

項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜右	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5	1094	150	0	5
中瓶蓋正面	0	5	864	151	0	5
大瓶蓋正面	0	5	696	138	0	5
小瓶蓋反面	0	5	830	135	0	5
中瓶蓋反面	0	5	725	139	4	1
大瓶蓋反面	5	0	962	135	3	2

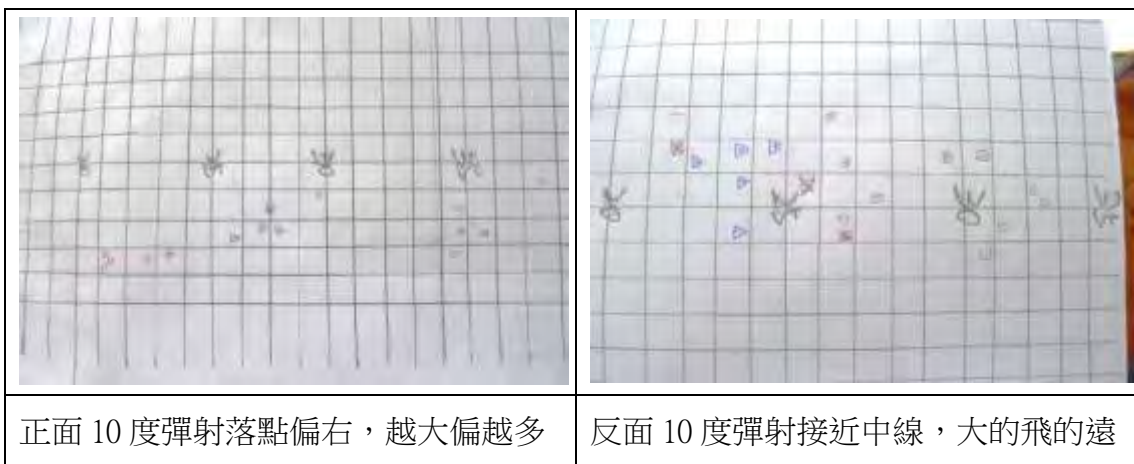
我們的發現:

- 1.正面瓶蓋彈射可以知道瓶蓋越大、越重，飛行距離越近，飛行狀況都右斜落地右偏 3 格。上升高度較 5 度大，飛行距離小瓶蓋飛行距離多 60 公分，中瓶

蓋較為明顯增加了 90 公分，大瓶蓋反而減少 62 公分。

2.反向大瓶蓋的飛行距離是 962 公分，是三種中最遠，可見重量不是影響飛行的唯一因素。而中小瓶蓋反而減少了!不過三種落地的位置都很接近中線。

討論：正面仰角發射飛行狀況多向右傾斜，我們推測仰角高，造成瓶蓋受風面變大影響飛行的軌道。反面因為底部平坦反而不容易受風力的影響可以穩定飛行。而大瓶蓋可以得到比較大的浮力。如果要投出轉彎球，用正面會比較適合，如果是直線球，大瓶蓋反面比較適合。



□大瓶蓋 △中瓶蓋 ○小瓶蓋，中線數字為格數(每格 30cm)

五、用長短橡皮筋進行逆時針旋轉 15 度仰角發射，觀察瓶蓋正反面的飛行。

發射方式：瓶蓋抵住橡皮筋交會處，拉至發射板中線 20cm 處，仰角 15 度發射。

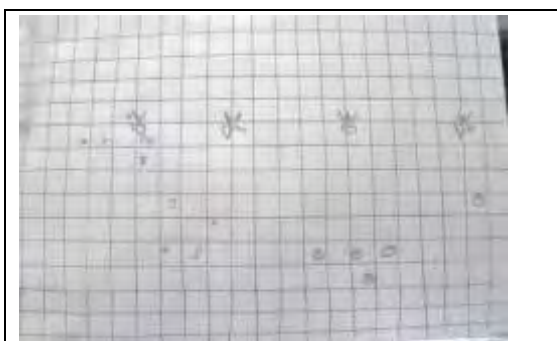
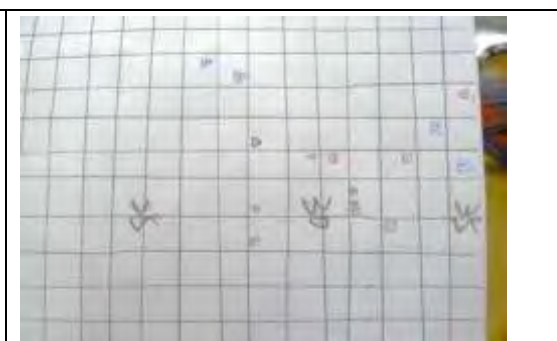
實驗結果：

項目 次數	飛行狀況 斜右	飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
		平均距離平均	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	5	956	196	0	5
中瓶蓋正面	5	594	160	1	4
大瓶蓋正面	5	733	170	0	5
小瓶蓋反面	5	925	183	4	1
中瓶蓋反面	5	945	166	5	0
大瓶蓋反面	5	995	178	4	1

我們的發現:

1.正面彈射瓶蓋，小瓶蓋傾斜約 45 度，偏轉的角度大多落右偏 6 格的位置，上升高度接近 2m。三種拋物線的最高點都在 160 公分以上。

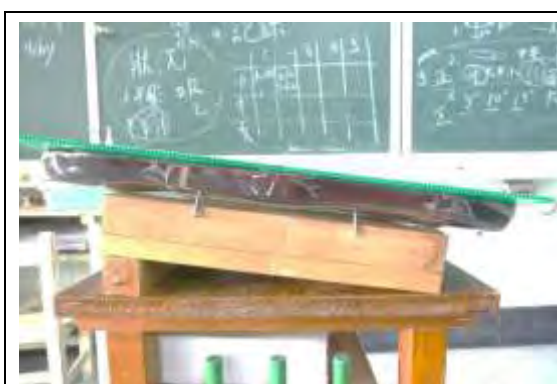

- 2.中瓶蓋雖然落地接近中線，但實際上飛行是往左偏後向右拉回，角度很大的掉落。大瓶蓋也是如此。可能是因為角度越大，旋轉產生的風向影響。
- 3.反向彈射大瓶蓋的飛行距離最遠，三種的距離差距不大，但上升高度都有接近或超過正面彈射瓶蓋的情形。可能是因為仰角越大，受風面越明顯在下方，反向的瓶蓋用平滑的一面受風，不容易受到旋轉的影響。
- 4.反向彈射飛行的空氣阻力是在瓶蓋上方，會往右傾斜造成的壓力在左邊，落地點大多在左方。可能因為瓶蓋左半部的空氣阻力比右半部大，所以在左半部形成摩擦力，帶動瓶蓋往左偏。

	
正面彈射右傾右側掉落，轉彎角度大	反面彈射距離遠，有往左偏的狀況

□大瓶蓋 △中瓶蓋 ○小瓶蓋，中線數字為格數(每格 30cm)

六、利用左長(鬆)右短(緊)橡皮筋進行逆時針旋轉左斜 10 度仰角 15 度發射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

發射方式：發射台調整成左斜 10 度、仰角 15 度，橡皮筋拉至發射板中線發射。

	
發射台面向左傾斜(發射者角度)	木條墊高釘死仰角 15 度

實驗結果：

項目	飛行狀況	飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
		平均距離平均	最大高度	落地偏左	落地偏右
次數	平飛				
小瓶蓋正面	5	1038	154	4	1
中瓶蓋正面	5	876	141	3	2
大瓶蓋正面	5	842	140	3	2
小瓶蓋反面	5	947	127	5	0
中瓶蓋反面	5	777	132	5	0
大瓶蓋反面	5	827	118	5	0

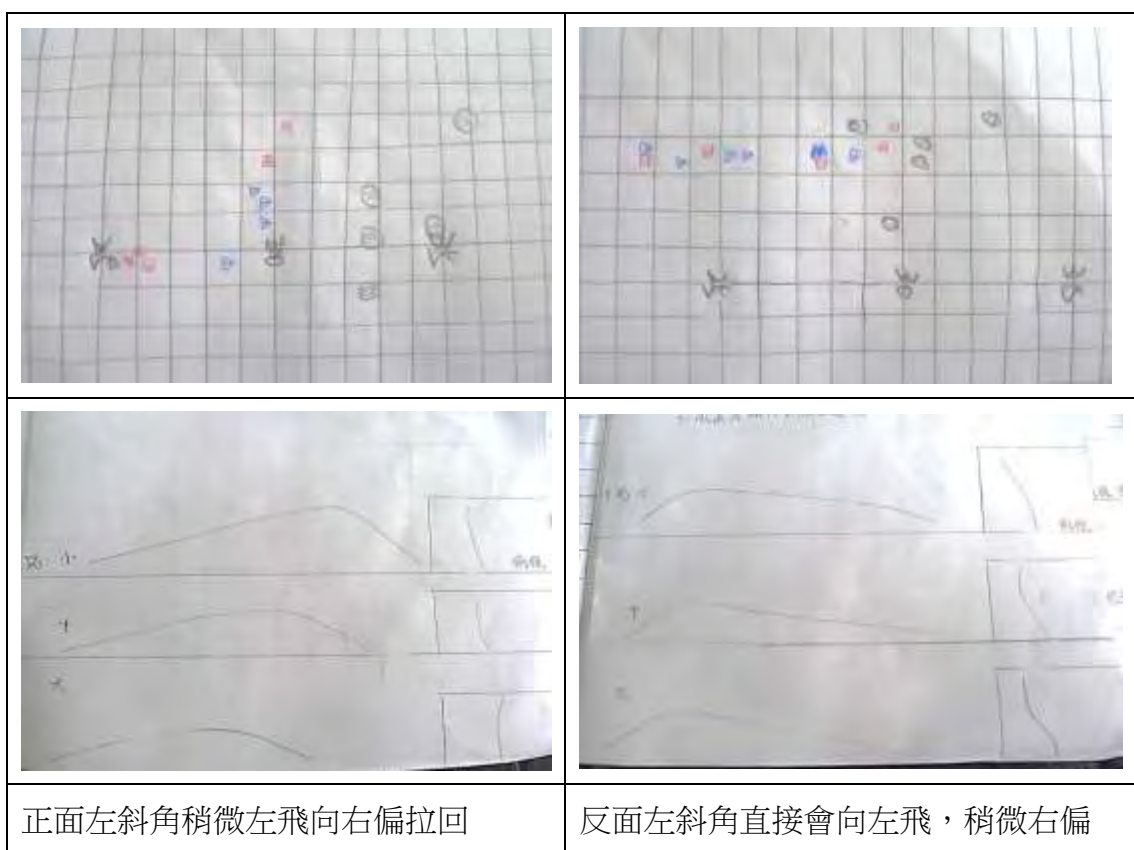
我們的發現：

- 1.我們在前面的實驗發現使用橡皮筋左長鬆右短緊的狀況下，雖然可以讓瓶蓋**逆時針旋轉**，但是因為兩側受力不同，發射時會有**右傾斜**的狀況。於是設想讓盤面向左斜是不是可以修正。根據全部發射都是平飛的狀況，我們的設想是正確的。
- 2.正面瓶蓋發射出去時，因為盤面左斜會先往左飛，有些瓶蓋會再往右偏回來落在 R1~R2，有些則是直接下沉，落在 L1~L4。可見旋轉時時可能產生往右側拉的力量，可能跟瓶蓋是逆時針旋轉有關。然後在同樣仰角下，修正成平飛可以增加飛行距離。小瓶蓋及大瓶蓋都比實驗(五)遠約 100 公分，中瓶蓋則是比實驗(五)遠約 275 公分。
- 3.反面瓶蓋一樣平飛，最大高度都一樣較正面低。但是落地位置全部左偏多落在 L1~L4。可能跟盤面左斜反面發射有關。中、大瓶蓋發射出去時，會飛至 L5~L6 附近，之後向右偏轉回到 L4~L2 並下沉。小瓶蓋則是慢往左飛，緩慢降落。

討論：

- 1.左右受力不同會讓瓶蓋傾斜飛行，橡皮筋左邊長比較鬆，右邊短比較緊，這時發射出去的瓶蓋飛行面會向右斜，也會有向右偏的狀況。可以讓瓶蓋發射時，發射面就向左傾斜來修正。
- 2.可能受到逆時針旋轉產生的氣流帶動影響，瓶蓋會有弧線先向左再來向右偏的飛行路線，可以利用這樣變化來投出變化球。

3.正面彈射容易向上飄右轉向，反面彈射比較容易下沉左轉向。



正面左斜角稍微左飛向右偏拉回

反面左斜角直接會向左飛，稍微右偏

□大瓶蓋 △中瓶蓋 ○小瓶蓋，中線數字為格數(每格 30cm)

因為猜測左右鬆緊不同會影響旋轉方向，造成偏轉的情形，所以進行實驗七、改變橡皮筋成右邊長橡皮筋，左邊短橡皮筋，順時針旋轉。觀察偏轉的情形。

七、利用右長(鬆)左短(緊)橡皮筋進行順時針旋轉左斜 10 度仰角 15 度發射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

發射方式：發射板調整成左斜 10 度、仰角 15 度，橡皮筋拉至發射板中線發射。

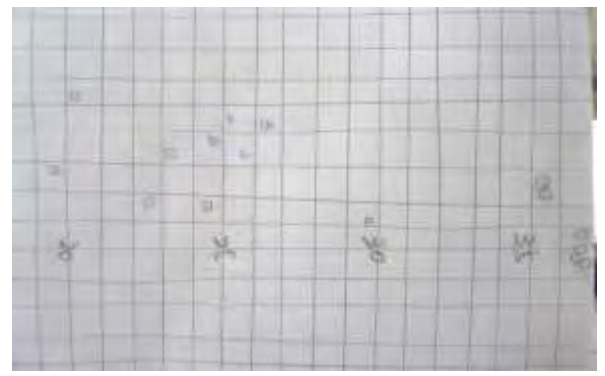
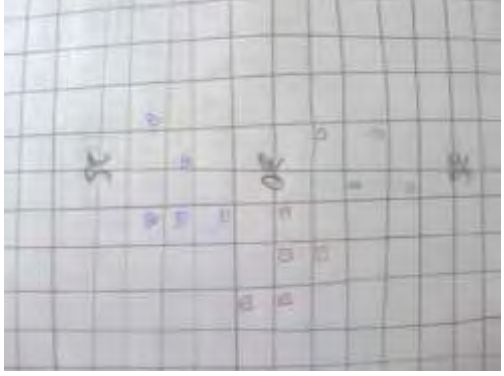
項目 次數	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離		
	平飛	斜左	平均距離	平均	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	2	3	1160		131	3	2
中瓶蓋正面	0	5	815		130	5	0
大瓶蓋正面	2	3	675		136	5	0
小瓶蓋反面	4	1	1033		154	2	3
中瓶蓋反面	5	0	847		139	3	2
大瓶蓋反面	5	0	920		132	0	5

我們的發現：

- 1.實驗七與我們的預測一致，在橡皮筋左邊緊右邊鬆的情況下，瓶蓋會**順針針旋轉**，因為兩側受力不同，正面發射時會有**左傾斜**的狀況。而且加上盤面朝向左方，正面彈射多左偏落地。
- 2.正面彈射小瓶蓋有平飛的情形，中、大瓶蓋則是左斜飛。小瓶蓋比實驗(六)遠約 120 公分。中、大瓶蓋左轉彎明顯落地位置在 L2 後，有些甚至到 L4，不適合遠射，但是彎曲度大
- 3.反向發射瓶蓋大多為平飛，雖然盤面左傾斜左邊較緊順時針旋轉可能會讓瓶蓋修正飛行軌跡，使瓶蓋偏轉角度較小，稍微偏向右方。小、大瓶蓋大多集中在 31~35 格，中瓶蓋則是集中在 27~29 格。

討論：

- 1.正面發射瓶蓋容易受到左右鬆緊不同的影響產生傾斜，左邊緊盤面又朝左就容易左偏，比較與旋轉方向反向飛行。
- 2.反面彈射瓶蓋不容易受盤面傾斜影響，會修正成平飛。左邊緊則往右邊飛，容易跟旋轉方向同向飛行。

	
正面順時針旋轉左斜較易左偏	反面順時針旋轉左斜直飛偏右

□大瓶蓋 △中瓶蓋 ○小瓶蓋，中線數字為格數(每格 30cm)

八、利用左長(鬆)右短(緊)橡皮筋進行逆時針旋轉右斜 10 度仰角 15 度發射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

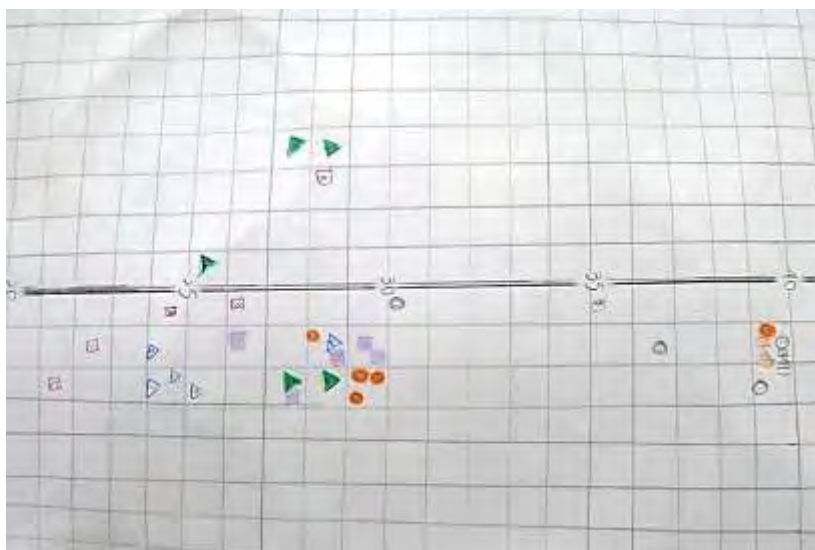
發射方式：發射板調整成右斜 10 度、仰角 15 度，橡皮筋拉至發射板中線發射。

實驗結果：

項目 次數	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜右	平均距離平均	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5	1091	137	0	5
中瓶蓋正面	0	5	779	128	0	5
大瓶蓋正面	0	5	755	124	0	5
小瓶蓋反面	5	0	980	140	0	5
中瓶蓋反面	2	3	856	132	3	2
大瓶蓋反面	0	5	874	134	0	5

我們的發現：

- 1.我們預測盤面右斜逆時針旋轉發射，應該會多數右偏，實際結果也是這樣，不過偏離的格數大多在三個內，而且正面小瓶蓋飛行距離還接近 11 公尺，推測逆時針的旋轉可能對小瓶蓋有修正效果。
- 2.正面發射中大瓶蓋時，盤面右傾斜加上飛行右傾，會有快速加下墜的狀況，飛行高度較其他實驗來的低，可能是逆時針旋轉問題。
- 3.反面彈射小瓶蓋的飛行方式有修正為平飛，落地還是偏向右方，但是小中大三種瓶蓋的距離差距不大，中大瓶蓋距離比正面來的遠。中瓶蓋可能因為較厚，有往左邊偏轉的情形。



□大瓶蓋正面 △中瓶蓋正面 ○小瓶蓋正面

■大瓶蓋反面 ▲中瓶蓋反面 ●小瓶蓋反面

中間黑線格數代表每格 30cm，左右每格也是 30cm

九、利用右長(鬆)左短(緊)橡皮筋進行順時針旋轉右斜 10 度仰角 15 度發射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

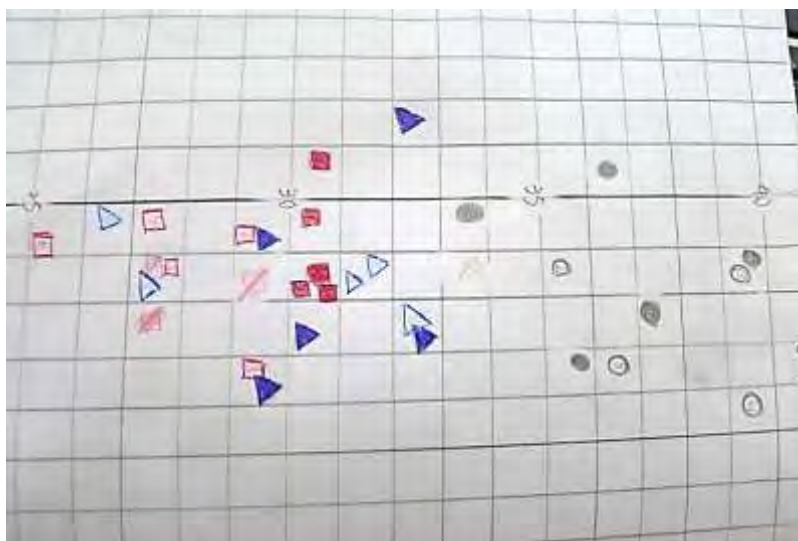
發射方式：發射板調整成右斜 10 度、仰角 15 度，橡皮筋拉至發射板中線發射。

實驗結果

項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜右	平均距離平均	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	3	2	1153	125	0	5
中瓶蓋正面	3	2	913	136	0	5
大瓶蓋正面	1	4	819	110	0	5
小瓶蓋反面	4	1	1115	112	1	4
中瓶蓋反面	3	2	943	116	1	4
大瓶蓋反面	5	0	910	118	1	4

我們的發現：

- 1.從前面實驗發現順時針發射時，瓶蓋多會左斜，遇到右斜的發射面就會有修正的效果變成平飛，特別是對於正面發射的瓶蓋。
- 2.正面發射時，大瓶蓋可能重量較重，受發射面右斜影響，飛行時右斜的情形較明顯。小瓶蓋都往右偏，落在 R2~R4 之間，但中、大瓶蓋往右偏的飛行狀況較不明顯。中瓶蓋在飛行時，飛行軌跡較為彎曲，小、大瓶蓋飛行軌跡較筆直。
- 3.反面發射時，中、小瓶蓋的飛行距離相差不遠，大部分都在 30 格~40 格之間，飛行狀況良好大多是平飛和微微右斜，可能因為順時針本來或左斜，因會發射面右斜的修正，三種瓶蓋的飛行距離較實驗八來的遠，但是飛行高度都不高。



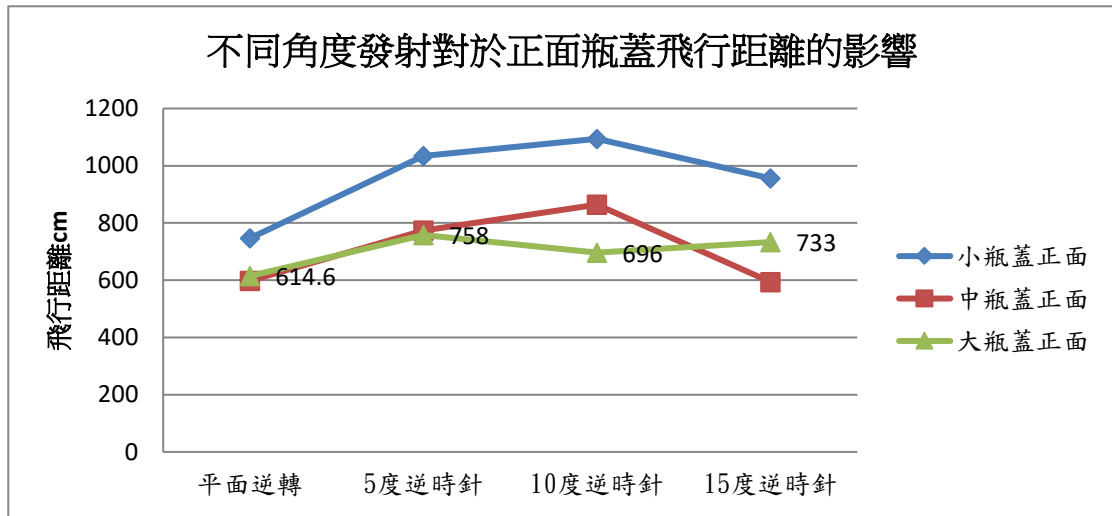
□大瓶蓋正面 △中瓶蓋正面 ○小瓶蓋正面

■大瓶蓋反面 ▲中瓶蓋反面 ●小瓶蓋反面

中間黑線格數代表每格 30cm，左右每格也是 30cm

陸、討論

一、不同角度逆時針旋轉正面發射瓶蓋造成的飛行影響

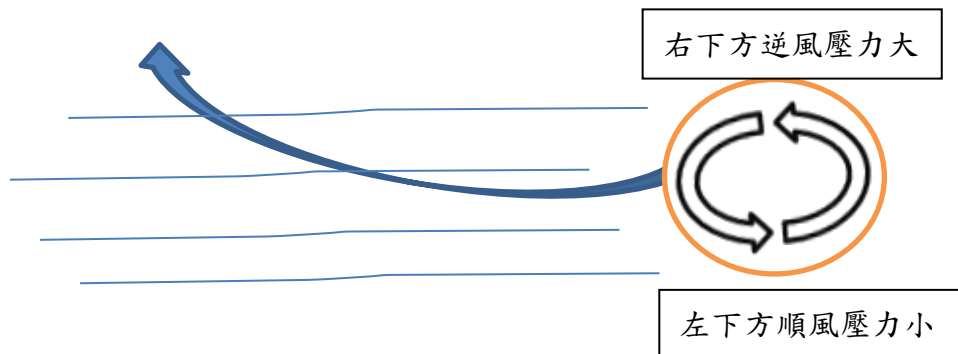


1.比較不同角度逆時針旋轉發射的瓶蓋飛行距離，發現小瓶蓋與中瓶蓋都在 10 度時有最遠的飛行距離。大瓶蓋則是在 5 度有最遠的飛行距離，但後續角度抬高對於大瓶蓋影響較小。

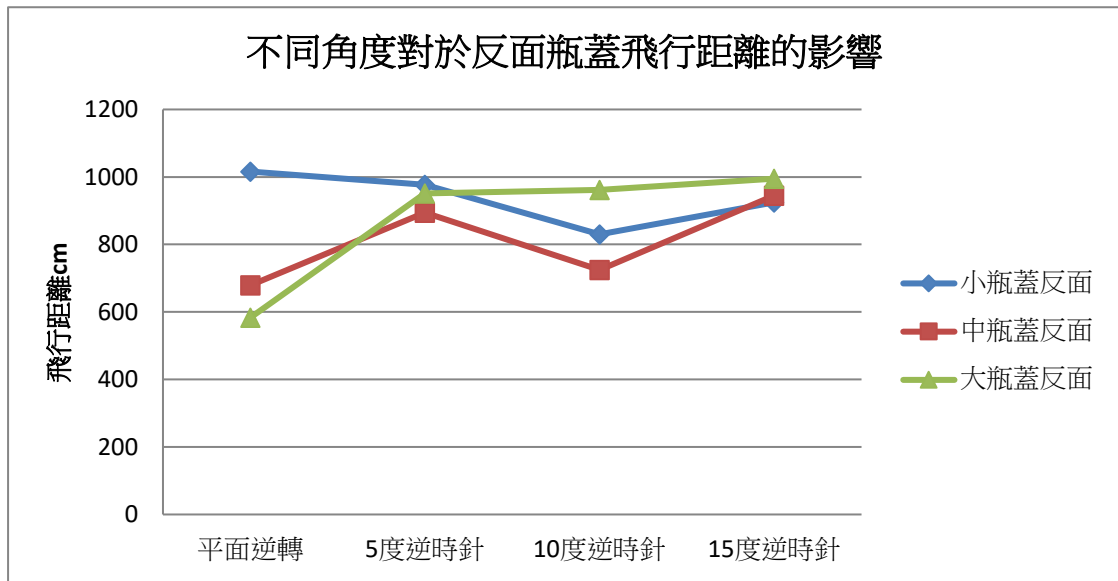
角度	平射		5 度		10 度		15 度	
	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右
小瓶蓋正面	4	1	0	5	0	5	0	5
中瓶蓋正面	2	3	0	5	0	5	1	4
大瓶蓋正面	0	5	0	5	0	5	0	5

2 觀察逆時針旋轉發射的飛行狀況與落地偏向也發現，右緊左鬆彈射出去產生瓶蓋逆時針旋轉，容易在有仰角時產生右傾斜飛行，最後落地偏右方。

我們推測右邊較長的橡皮筋可能影響時間較久，拉動瓶蓋右傾斜。仰角發射出去時，瓶蓋右後方與空氣逆向撞擊造成壓力增加，向右方偏轉落地。



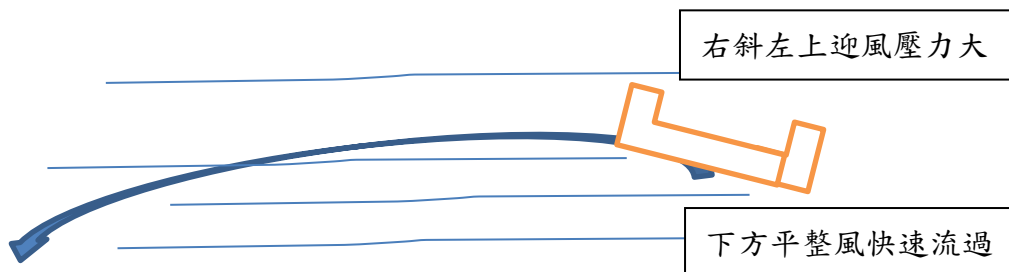
二、不同角度逆時針旋轉反面發射瓶蓋造成的飛行影響



1.反面逆時針旋轉發射瓶蓋，小瓶蓋在平射時飛的最遠，中大瓶蓋仰角增加並沒有太大的改變。而且飛行速度快有下沉的狀況。可能是因為反面瓶蓋有仰角時是下方平整面迎風，反而減少了跟空氣的摩擦力。

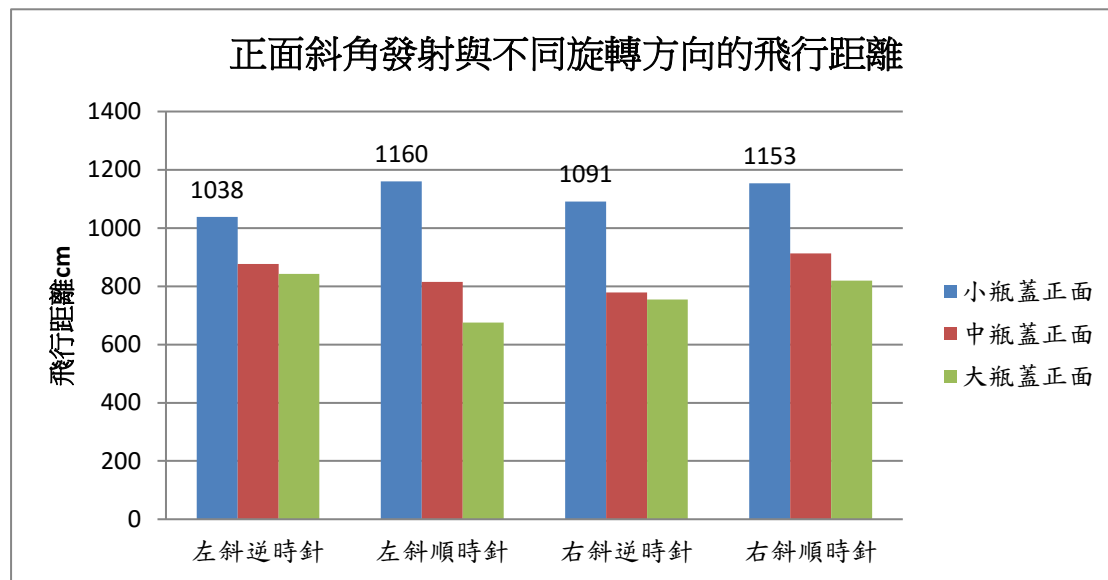
角度	平射		5度		10度		15度	
	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右
小瓶蓋反面	1	4	0	5	0	5	4	1
中瓶蓋反面	3	2	3	2	4	1	5	0
大瓶蓋反面	5	0	5	0	3	2	4	1

2.反面發射瓶蓋飛行狀況在角度小時多是平飛或稍微右斜，小瓶蓋會右偏。中大瓶蓋則比較不會受影響。而且中大瓶蓋反而會有落地偏左的情形。可能是反面發射在下墜時，因為右斜，反而是左上面受風力較大而向右偏。



三、發射台斜角發射，比較逆時針與順時針旋轉正面發射瓶蓋造成的飛行影響

我們從實驗中發現逆時針旋轉的瓶蓋會飛行時會右傾斜，順時針旋轉的瓶蓋會往左傾斜，可以用改變發射斜角來進行修正，影響飛行軌道。



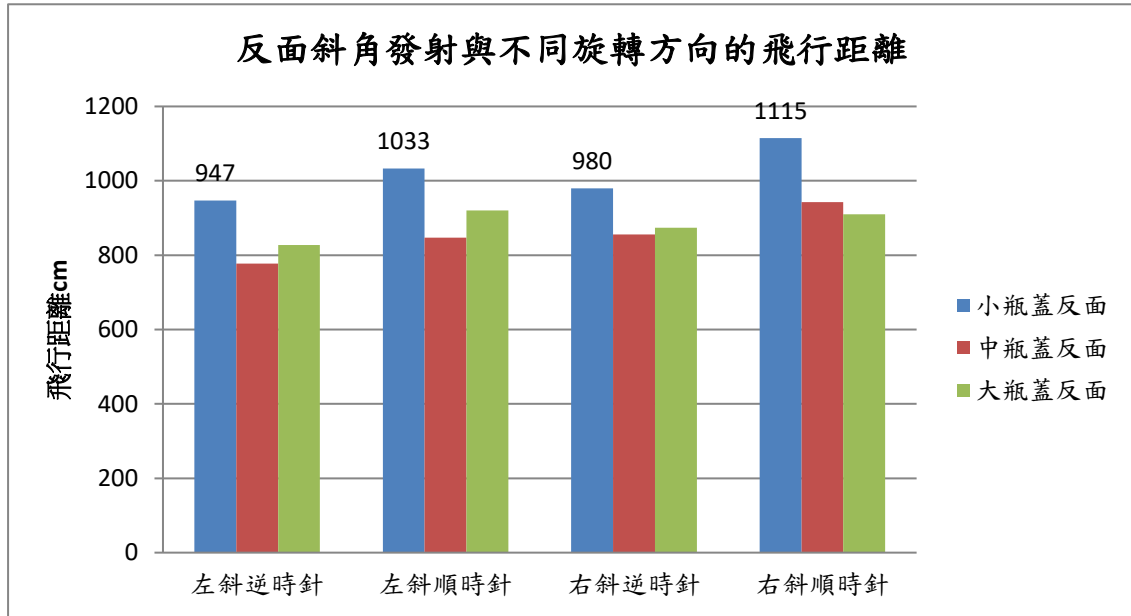
- 1.小瓶蓋飛行距離都在 10 公尺以上,比較不受旋轉方向與盤面左右傾斜的影響，不過盤面左斜與右斜時，都是順時針方向有最遠的距離。
- 2.中大瓶蓋在盤面左斜，逆時針旋轉右傾與盤面右斜，順時針旋轉左傾，修正飛行狀況的效果就出現了!都有飛行距離比較遠的狀況，可見重量與大小還是影響飛行的主要因素，特別是在大瓶蓋上，有修正後幾乎可以跟少了一克重的中瓶蓋達到接近的飛行距離。

發射台與旋轉方向	左斜逆時針		左斜順時針		右斜逆時針		右斜順時針	
	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右
小瓶蓋正面	4	1	3	2	0	5	0	5
中瓶蓋正面	3	2	5	0	0	5	0	5
大瓶蓋正面	3	2	5	0	0	5	0	5

- 3.正面斜角發射瓶蓋時，落地的偏向容易受台面傾斜方向影響，只有第一組的左斜角與逆時針造成的右傾有修正方向，落點接近中線。而且小瓶蓋是比較不受影響的，中大瓶蓋都很容易受發射時的斜角影響，產生落地偏向。

四、發射台斜角發射，比較逆時針與順時針旋轉反面發射瓶蓋造成的飛行影響

我們在前面仰角發射實驗發現反面發射，比較會偏向左方，而且較不受發射角度的影響，是否在斜角發射也有這種情形呢？



- 1.反面斜角發射時，小瓶蓋與正面有類似的趨勢，修正與否不會影響飛行距離，不過反面發射普遍飛行速度快，落地快，所以飛行距離比正面發射短。
- 2.反面發射大瓶蓋有三種發射方式飛行距離超過中瓶蓋，可能是盤面大迎風面大具有支撐的效果，讓他可以飛得遠一點。其中左斜順時針與右斜逆時針都是旋轉傾斜與盤面傾斜方向一致，而飛的最遠的右斜順時針(左傾)則是有修正飛行狀況的效果。

發射台與旋轉方向	左斜逆時針		左斜順時針		右斜逆時針		右斜順時針	
	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右
小瓶蓋反面	5	0	2	3	0	5	1	4
中瓶蓋反面	5	0	3	2	3	2	1	4
大瓶蓋反面	5	0	0	5	0	5	1	4

- 3.落地偏向多數狀況還是與正面發射一致，受到盤面偏向影響較大。左斜逆時針與右斜順時針都是屬於盤面與傾斜方向相反的，最後還是會順著傾斜方向飛行，多屬於平飛。特別是在大瓶蓋時最明顯。

柒、結論

一、如何玩瓶蓋棒球：

瓶蓋棒球是一個有趣安全的活動，下課找塊小地方就可以玩。用中指及大拇指夾住瓶蓋，食指可以壓住瓶蓋面，用力彈出造成**旋轉就可以讓瓶蓋穩定飛行**，加上手臂的力量與改變彈射的角度，可以讓瓶蓋變化出不同的球路。

二、旋轉方向怎麼變：

我們從遊戲中發現右撇子彈射出去的多是**逆時針旋轉右偏弧線**，左撇子彈射出去的多是**順時針旋轉的左偏弧線**。利用長短不同的橡皮筋來模擬左右手彈射所造成的不同方向旋轉，可以控制瓶蓋的偏向。

三、快速直球怎麼彈：

我們從實驗中發現反面瓶蓋逆時針旋轉彈射比較不會受到氣流的影響而偏向，速度快而且會稍微下沉，所以可以用反面瓶蓋5度的角度彈出快速直球，能達到較遠的飛行距離。

四、上飄球怎麼彈：

我們發現正面瓶蓋會有上浮的效果，利用小瓶蓋以10度仰角的方式彈出可以有飄浮的效果，而且會出現右偏弧線。旋轉與飛行前進時的阻力集中在右下方，讓瓶蓋右側速度慢左側速度快，產生康達效應。所以可以在發射時稍微向左方修正，讓最後瓶蓋可以落到中間才算好球。

五、弧線曲球怎麼彈：

我們從仰角實驗中發現15度的仰角雖然飛得高但是落地距離近，飛行狀況有明顯右傾斜與偏右。而且因為迎風面較大受到空氣阻力也大，速度不會太快，但是轉向的角度大。所以如果要投出弧線下沉的曲球，可以用比較大的仰角，向左方發射會切出比較大的弧線。

六、平飛轉彎曲球怎麼彈：我們從瓶蓋的反面發射發現，反面平坦比較不會上飄，但是受到側面旋轉的影響很大。逆時針旋轉左偏，順時針旋轉右偏！與正面發射完全相反，經過請教專家後了解這個稱為馬格努斯效應。因為逆時針旋轉與右側與空氣摩擦導致壓力變大，左側則是加速帶動壓力變小，所以將瓶蓋往左側推動。而順時針旋轉則是左側壓力增大，往右側飛！


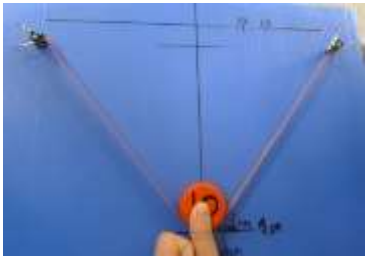

七、發射台面傾斜方向對於瓶蓋棒球飛行路徑的影響。

我們從實驗八九中發現，發射台面的傾斜方向會影響瓶蓋的飛行方向，瓶蓋會順的檯面方向飛行，左傾斜左偏、右傾斜右偏。如果因為旋轉的方向而產生的轉彎與發射台面傾斜方向相反，就會產生修正抵銷的效果。所以如果要向右偏轉大一點，那就是用發射台面右斜加上逆時針旋轉右偏發射，會拉出很大的右彎弧線。如果是要投出先直後彎那要用發射台面左斜加上逆時針旋轉右偏，因為台面偏向與旋轉偏向相反，的發射時會修正飛行成平飛，但是最後還是會受到氣流旋轉右偏。相反的如果是順時針旋轉左偏，那台面左斜會拉出比較大曲線，右斜則是先直後左彎。

捌、參考資料及其他

1.在市賽評審意見希望可以比較橡皮筋拉力與旋轉速度間的關係，我們發現橡皮筋拉力並不穩定而且帶動旋轉的效果也不好。我們重新尋找材料與老師討論如何重新設計發射方式與進行實驗討論。

實驗進度修正：採用迪卡農彈力帶作為發射的材料，裁切成 1cm 寬度，長 30cm，測量拉力後發現拉到 18cm 處的力量等同實驗用的橡皮筋彈力。而且因為寬度較寬，帶動旋轉的力量更大。重新修正進行實驗中。

		
<p>長尾夾固定彈力帶</p>	<p>正向利用彈力帶進行發射</p>	<p>反向發射</p>

2. 我們推測旋轉會帶動氣流的影響瓶蓋的飛行與偏轉，但是沒有直接的證據，老師給我們的建議是查風洞的資料，觀察旋轉瓶蓋造成的氣流變化，可以做為後續的實驗。
3. 屁孩不認真上課 新創「瓶蓋棒球」風靡全日本
<https://www.mirrormedia.mg/story/20181015edi005/>
4. 超猛日本新運動「瓶蓋棒球」 超神絕技變化球都能扔
<https://bear.umtalk.net/article/1614102>.
5. 日本新運動「瓶蓋棒球」！ 震撼網友：教室就可以玩了
<https://www.setn.com/News.aspx?NewsID=442427>

【評語】 080123

1. 挑選大、中、小瓶蓋後，有確認瓶蓋大小不同，刻紋間距、材質是否相同？
2. 人為發射會有許多誤差，若能設計簡易旋轉發射機會更佳。
3. 能以各種變數探討瓶蓋飛行穩定性及轉彎特性。

壹、研究動機：

我們上網瀏覽時，看到日本最近流行的瓶蓋棒球，我們對這項活動十分好奇，可以在校園內推廣，讓同學在下課時可以玩玩看，跟五年級學過的力與運動有關！於是去請教老師有關瓶蓋棒球是如何飛行的。為什麼瓶蓋會轉彎投出去後會轉彎。剛好老師參加過壘球隊，教我們一些基本的投球方式，給我們提示了原因是「旋轉」。於是我們決定更深入地去了解瓶蓋棒球，開始了一連串的實驗。

貳、研究目的：

1. 了解瓶蓋棒球的飛行方式與原理，進而控制他的飛行方式。
2. 找出最適合的彈射方式，讓瓶蓋棒球的飛行達到最理想的效果。
3. 找出不同飛行球路的發射方式，了解變化球的原理。

參、研究設備與器材：

1. 紀錄器材：筆記本、相機、電子秤、游標尺、皮尺、高度尺、鐵尺、棉線、奇異筆
2. 實驗器材：各式大、中、小瓶蓋各五個、橡皮筋(大、小)、**改進實驗使用30cmx1cm 瑜珈彈力帶**
3. 製作發射台(塑膠瓦楞板60cmx40cm、鐵釘、木板、木條)。

肆、研究過程與方法：

一、研究階段說明：

1. 資源回收廠收集各種瓶蓋並進行試投與分類出不同大小。
2. 挑選出數量在五個以上，可以明顯區分的大、中、小三種比較好丟的瓶蓋。
3. 設計發射台，如何調整角度傾斜、掛橡皮筋與嘗試各種的發射方法。
4. 分析結果討論各種不同發射方式的優缺點，提出實驗結論。
5. 經過縣市賽後，改進發射的動力為**彈力帶**，進行轉速與彈射摩擦控制。

二、研究方法：

1. 利用橡皮筋作為發射動力，廢棄書桌與木板製作發射台，將瓶蓋放到指定位置拉動橡皮筋直接彈射，紀錄5次飛行狀況與飛行距離。
2. 從直接彈射發現效果不佳，改進為大小橡皮筋相接，兩端的橡皮筋接觸頂住瓶蓋，手按住瓶蓋正中央的位置，接著將其手指往上抬，瓶蓋就會旋轉發射出去，紀錄5次飛行狀況與飛行距離。(正面代表凹面朝下、反面凹面朝上)
3. 改變發射角度、瓶蓋正反面與發射的傾斜度，紀錄5次飛行狀況與飛行距離。

伍、研究結果：

一、利用一條橡皮筋直接彈射，瓶蓋正面。



發射方式：橡皮筋拉14公分，瓶蓋放12公分位置，直接彈出。 實驗結果如右方表格—我們的發現：

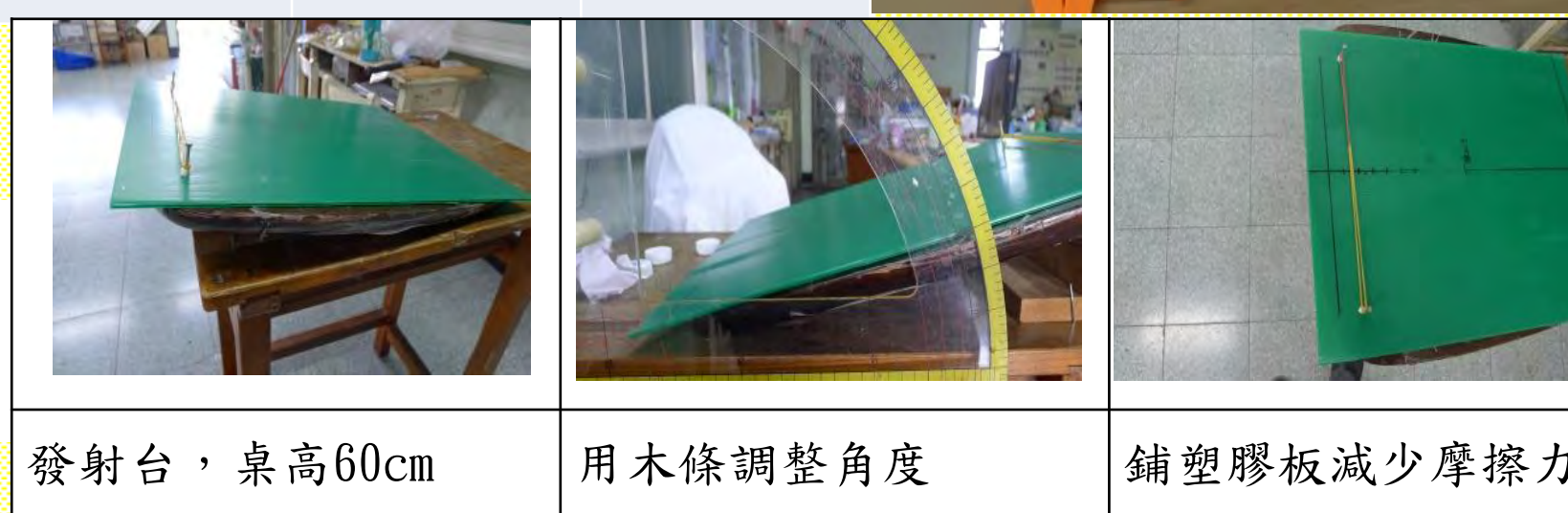
1. 小瓶蓋的飛行距離是448.2公分；中瓶蓋305.2公分；大瓶蓋292.4公分，由此可知瓶蓋愈大，重量越大飛行距離愈短。而且中小瓶蓋，容易產生翻滾，飛行狀況不穩定，大瓶蓋則是平飛。
2. 三種瓶蓋落地位置都只有偏移中線一格內，不容易偏轉。

討論：發射狀況不像手指彈射會旋轉。所以我們討論如何模擬手指彈射，因為手指彈射兩邊受力不同，所以右手彈射會逆時針旋轉，左手則是順時針旋轉。

解決方式：利用長短橡皮筋不同，模擬兩端拉力不同，造成瓶蓋旋轉。試射後，飛行狀況與手指彈射相似，我們決定後續都以這種方式進行瓶蓋旋轉發射。

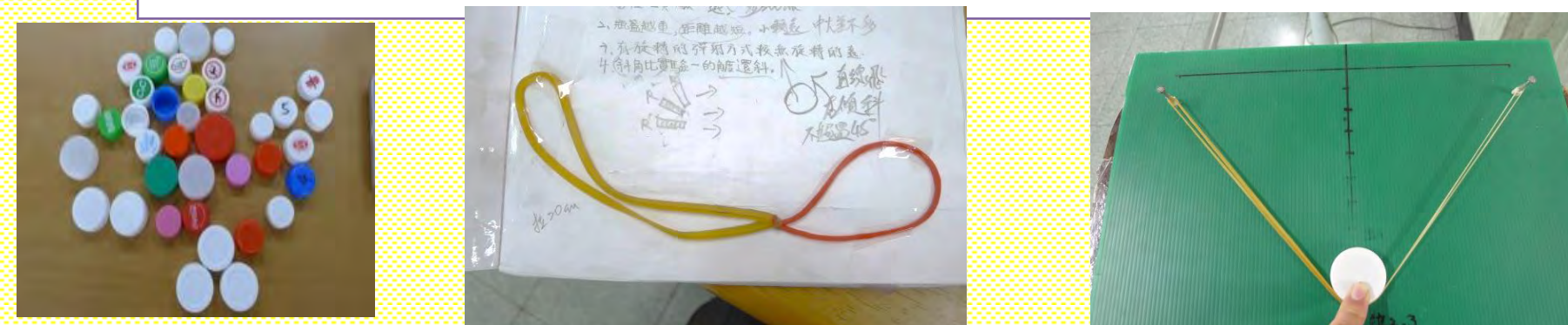
改進實驗使用彈力帶左右1:1直接彈射，拉到18cm拉力為500gw。結果發現左右拉力均等時，瓶蓋無論正反面仍然翻滾狀況，距離也不遠。落地位置偏向中央線

瓶蓋測量	小瓶蓋	中瓶蓋(較高)	大瓶蓋
五個平均直徑	32.18mm	30.45mm	41.20mm
五個平均重量	1.8gw	2.76gw	3.32gw



紀錄方式	紀錄代號
飛行狀況	平飛記1、斜飛記2左R右L、翻滾記3。 傾斜程度小於45度記1、45度記2、大於45度記3
落地位置	中線為準右飛記R左飛記L，每30cm一格紀錄距離與偏轉格數
飛行距離	由發射台下方拉皮尺，直接測量飛行距離
舉例	1-14R1，461cm。表示平飛14格右偏1格，飛行距離461公分。

實驗測量場所全長12公尺 每格30cm 紀錄落地位置與擺上標記旗桿



改進為長短不同橡皮筋，拉到20cm 橡皮筋左鬆右緊造成逆時針旋轉發射

一、使用兩條短橡皮筋直接彈射

項目	飛行狀況		飛行距離平均	落地偏離	
	平飛	翻滾		偏左1格	偏右1格
次數			平均距離		
小瓶蓋	1	4	448.2cm	1	4
中瓶蓋	0	5	305.2cm	4	1
大瓶蓋	5	0	292.4cm	0	5

二、使用彈力帶左右1:1直接彈射

項目	飛行狀況	飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
		平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
次數	翻滾				
小瓶蓋正面	5	683	138	4	1
大瓶蓋正面	5	517	104	2	3
小瓶蓋反面	5	461	114	0	5
大瓶蓋反面	5	444	104	5	0

二、利用長短橡皮筋進行逆時針旋轉平射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

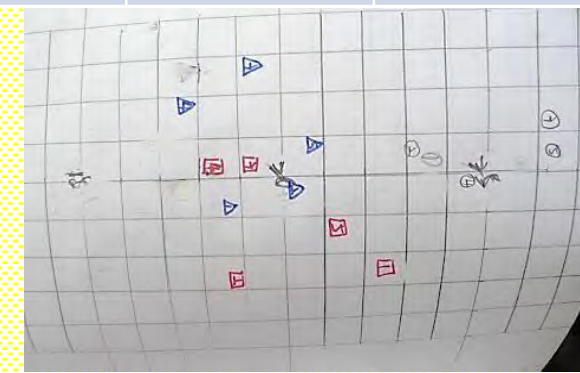
發射方式：瓶蓋抵住橡皮筋交會處，拉至發射板中線20cm處發射。

我們的發現：

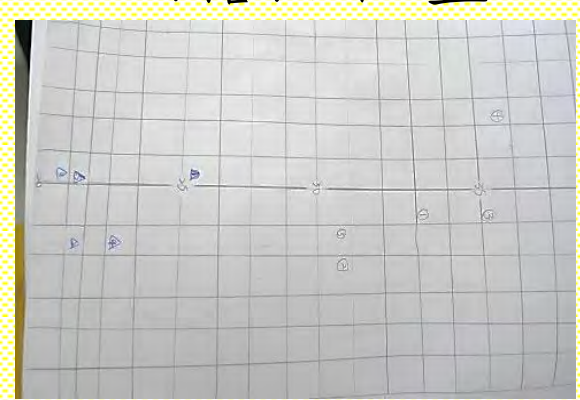
1. 利用長短橡皮筋發射瓶蓋，會逆時針旋轉，而且飛得比實驗(一)遠大約300公分。瓶蓋飛行時會往右傾斜，落地的位置比較分散。
 2. 瓶蓋正面旋轉彈射中、大瓶蓋距離加倍，小瓶蓋增加3/4距離，有向右傾斜的情況但都在45度之內。
 3. 瓶蓋反面旋轉發射中、小瓶蓋的飛行狀況部分為平飛，大瓶蓋則全是平飛，是因為大瓶底部受風面較大，因此飛行狀況較為平穩。
 3. 比較瓶蓋正反面發射發現，小瓶蓋的反面飛行距離比正面遠，大約多了250公分，反面中瓶蓋飛行距離大約多了80公分，大瓶蓋距離反之較近，少了30公分。
- 討論：反面彈射飛行速度較快適合直球，正面彈射比較會飄跟轉彎。

實驗結果：

項目	飛行狀況		飛行距離平均		落地偏離		
	次數	平飛	斜右	斜左	平均距離(cm)	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5	0		747	4	1
中瓶蓋正面	0	5	0		598	2	3
大瓶蓋正面	0	5	0		615	0	5
小瓶蓋反面	2	3	0		1016	1	4
中瓶蓋反面	2	3	0		679	3	2
大瓶蓋反面	5	0	0		583	5	0



正面落點位置



反面落點位置

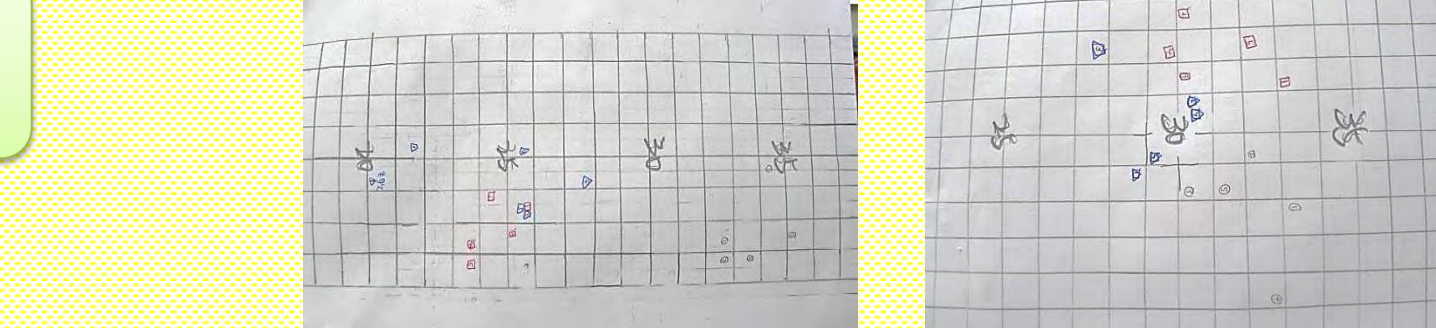
三、用長短橡皮筋進行逆時針旋轉5度仰角發射，觀察瓶蓋正反面的飛行。

發射方式：瓶蓋抵住橡皮筋交會處，拉至發射板中線20cm處，仰角5度發射。

實驗修正：使用彈力帶進行左右2:1、3:1彈射，觀察飛行距離與偏向。

我們的發現：

1. 正面瓶蓋發射出去時，瓶蓋會呈現右斜，並且全部往右偏3格附近。但飛行距離比實驗二遠，瓶蓋最大飛行高度超過兩倍發射架高，有上飄情形。
 2. 反面瓶蓋發射出去，不容易傾斜。小瓶蓋的飛行拋物線最高點在120公分以上，瓶蓋的偏轉角度就會變大。中瓶蓋在實驗中失敗率最高，可能是瓶蓋較高。
 3. 反面瓶蓋發射時的飛行距離比正面短，高度也較小，下沉的狀況明顯，但是飛行穩定度高。
- 討論：反面瓶蓋飛行方式大多為平飛與右斜5度，飛行狀況較穩定。而大瓶蓋很適合做反面發射



實驗結果： 正面5度彈射多右偏 反面5度彈射距離相差小

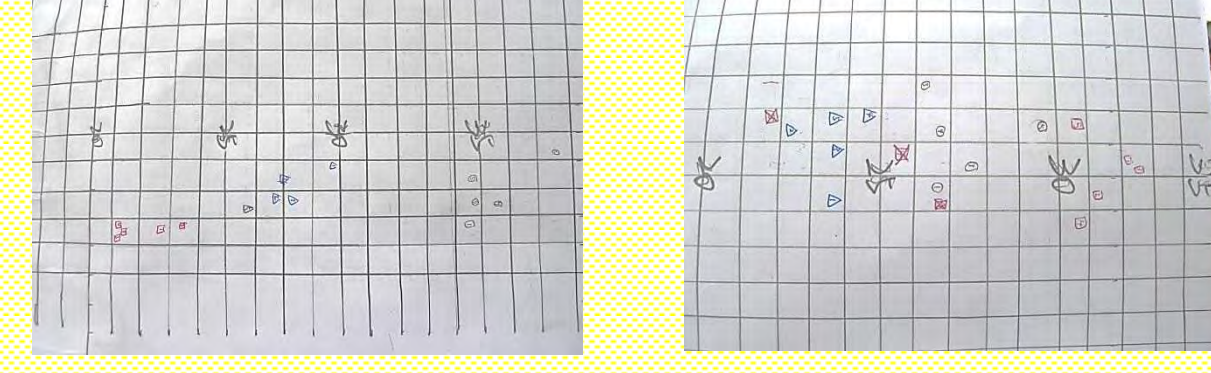
項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離		
	次數	平飛	斜右	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5		1034	156	0	5
中瓶蓋正面	0	5		774	137	2	3
大瓶蓋正面	0	5		758	120	0	5
小瓶蓋反面	3	2		977	123	0	5
中瓶蓋反面	2	3		894	128	3	2
大瓶蓋反面	5	0		951	117	5	0

四、用長短橡皮筋進行逆時針旋轉10度仰角發射，觀察瓶蓋正反面的飛行。

發射方式：瓶蓋抵住橡皮筋交會處，拉至發射板中線20cm處，仰角10度發射。

我們的發現：

1. 正面瓶蓋彈射可以知道瓶蓋越大、越重，飛行距離越近，飛行狀況都右斜落地右偏3格。上升高度較5度大，飛行距離小瓶蓋飛行距離多60公分，中瓶蓋較為明顯增加了90公分，大瓶蓋反而減少62公分。
 2. 反向大瓶蓋的飛行距離是962公分，是三種中最遠，可見重量不是影響飛行的唯一因素。而中小瓶蓋反而減少了！不過三種落地的位置都很接近中線。
- 討論：正面仰角發射飛行狀況多向右傾斜，我們推測仰角高，造成瓶蓋受風面變大影響飛行的軌道。反面因為底部平坦反而不容易受風力的影響可以穩定飛行。而大瓶蓋可以得到比較大的浮力。如果要投出轉彎球，用正面會比較適合，如果是直線球，大瓶蓋反面比較適合。



實驗結果： 正面10度彈射落點偏右，越大偏越多 反面10度彈射接近中線，大的飛的遠

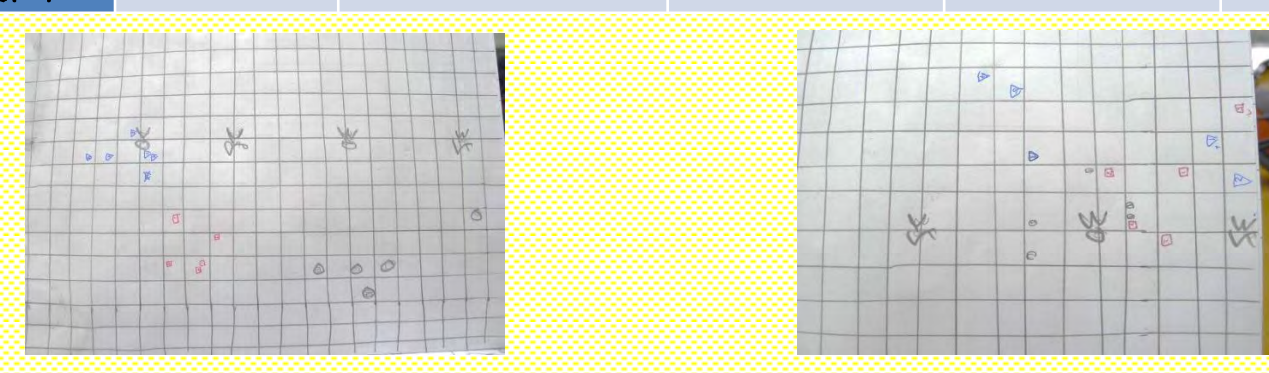
項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離		
	次數	平飛	斜右	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5		1094	150	0	5
中瓶蓋正面	0	5		864	151	0	5
大瓶蓋正面	0	5		696	138	0	5
小瓶蓋反面	0	5		830	135	0	5
中瓶蓋反面	0	5		725	139	4	1
大瓶蓋反面	5	0		962	135	3	2

五、用長短橡皮筋進行逆時針旋轉15度仰角發射，觀察瓶蓋正反面的飛行。

發射方式：瓶蓋抵住橡皮筋交會處，拉至發射板中線20cm處，仰角15度發射。

我們的發現：

1. 正面彈射瓶蓋，小瓶蓋傾斜約45度，偏轉的角度大多落右偏6格的位置，上升高度接近2m。三種拋物線的最高點都在160公分以上。
2. 中瓶蓋雖然落地接近中線，但實際上飛行是往左偏後向右拉回，角度很大的掉落。大瓶蓋也是如此。可能是因為角度越大，旋轉產生的風向影響。
3. 反向彈射大瓶蓋的飛行距離最遠，三種的距離差距不大，但上升高度都有接近或超過正面彈射瓶蓋的情形。可能是因為仰角越大，受風面越明顯在下方，反向的瓶蓋用平滑的一面受風，不容易受到旋轉的影響。
4. 反向彈射飛行的空氣阻力是在瓶蓋上方，會往右傾斜反而造成的壓力在左邊，落地點大多在左方。可能因為瓶蓋左半部的空氣阻力比右半部大，所以在左半部形成摩擦力，帶動瓶蓋往左偏。



正面彈射右傾右側掉落，轉彎角度大 反面彈射距離遠，有往左偏的狀況

大瓶蓋 中瓶蓋 小瓶蓋，中線數字為格數(每格30cm)

六、利用左長(鬆)右短(緊)橡皮筋進行逆時針旋轉左斜10度仰角15度發射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

實驗結果：

發射方式：發射台調整成左斜10度、仰角15度，橡皮筋拉至發射板中線發射。

我們的發現：

1. 我們在前面的實驗發現使用橡皮筋左長鬆右短緊的狀況下，雖然可以讓瓶蓋逆時針旋轉，但是因為兩側受力不同，發射時會有右傾斜的狀況。於是設想讓盤面向左斜是不是可以修正。根據全部發射都是平飛的狀況，我們的設想是正確的。
2. 正面瓶蓋發射出去時，因為盤面左斜會先往左飛，有些瓶蓋會再往右偏回來落在R1-R2，有些則是直接下沉，落在L1-L4。可見旋轉時時可能產生往右側拉的力量，可能跟瓶蓋是逆時針旋轉有關。然後在同樣仰角下，修正成平飛可以增加飛行距離。小瓶蓋及大瓶蓋都比實驗(五)遠約100公分，中瓶蓋則是比實驗(五)遠約275公分。
3. 反面瓶蓋一樣平飛，最大高度都一樣較正面低。但是落地位置全部左偏多落在L1-L4。可能跟盤面左斜反面發射有關。中、大瓶蓋發射出去時，會飛至L5-L6附近，之後向右偏轉回到L4-L2並下沉。小瓶蓋則是慢往左飛，緩慢降落。

討論：

1. 左右受力不同會讓瓶蓋傾斜飛行，橡皮筋左邊長比較鬆，右邊短比較緊，這時發射出去的瓶蓋飛行面會向右斜，也會有向右偏的狀況。可以讓瓶蓋發射時，發射面就往左傾斜來修正。
2. 可能受到逆時針旋轉產生的氣流帶動影響，瓶蓋會有弧線先向左再來向右偏的飛行路線，可以利用這樣變化來投出變化球。
3. 正面彈射容易向上飄右轉向，反面彈射比較容易下沉左轉向。

利用彈力帶左右2:1左斜10度仰角15度彈射

項目	飛行狀況			飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	右斜	左斜	平飛	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	0	5	1215	146	5	0
大瓶蓋正面	5	0	0	835	144	1	4
小瓶蓋反面	0	0	5	1053	137	5	0
大瓶蓋反面	0	5	0	869	134	5	0

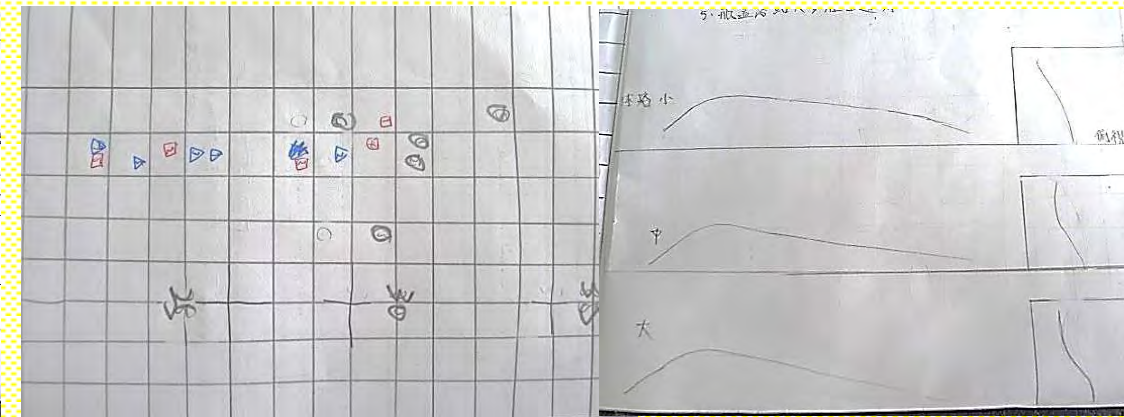
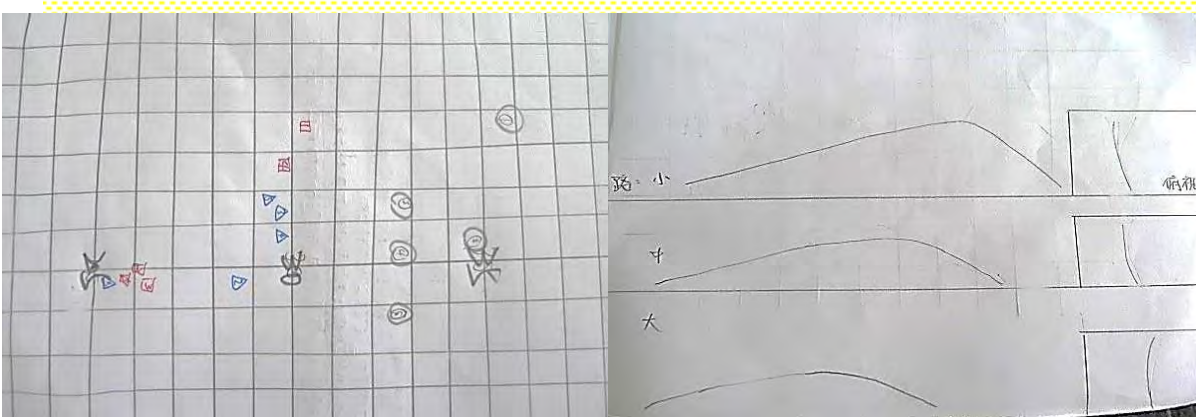
利用彈力帶左右3:1左斜10度仰角15度彈射

項目	飛行狀況			飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	右斜	左斜	平飛	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	0	5	978	150	5	0
大瓶蓋正面	0	0	5	801	125	5	0
小瓶蓋反面	0	0	5	977	146	5	0
大瓶蓋反面	0	0	5	924	143	5	0

正面左斜角稍微左飛向右偏拉回

反面左斜角直接會向左飛，稍微右偏

□大瓶蓋 △中瓶蓋 ○小瓶蓋，中線數字為格數(每格30cm)



彈力帶彈射實驗討論

1. 彈力帶左右2:1時，正面小瓶蓋轉為平飛，與原本應該右偏的狀況不同，可能是左斜檯面的修正效果。大瓶蓋則是不受影響還是偏右飛行。在同樣的拉力之下，使用彈力繩產生的飛行距離，會比橡皮筋來的遠。
2. 彈力帶左右3:1時，旋轉力量增強，周圍氣流帶動產生馬格努斯效應，向左偏的狀況很明顯，不論正反面都是這樣。而因為力量集中在旋轉，反而飛行距離不遠。

根據橡皮筋實驗推測：因為猜測左右鬆緊不同會影響旋轉方向，造成偏轉的情形，所以在實驗七、改變橡皮筋成右邊長橡皮筋，左邊短橡皮筋，造成順時針旋轉。觀察偏轉的情形。

七、利用右長(鬆)左短(緊)橡皮筋進行順時針旋轉左斜10度仰角15度發射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

實驗結果：

發射方式：發射板調整成左斜10度、仰角15度，橡皮筋拉至發射板中線發射。

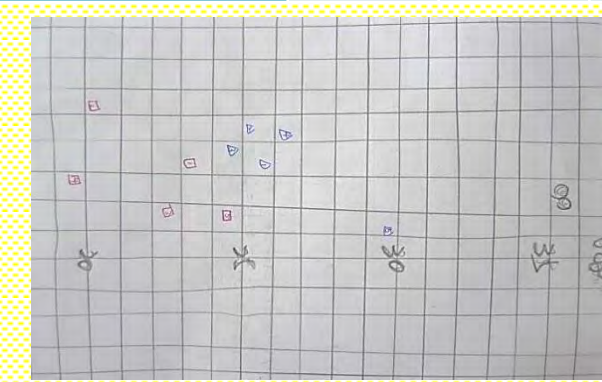
我們的發現：

1. 實驗七與我們的預測一致，在橡皮筋左邊緊右邊鬆的情況下，瓶蓋會順時針旋轉，因為兩側受力不同，正面發射時會有左傾斜的狀況。而且加上盤面朝向左方，正面彈射多左偏落地。
2. 正面彈射小瓶蓋有平飛的情形，中、大瓶蓋則是左斜飛。小瓶蓋比實驗(六)遠約120公分。中、大瓶蓋左轉彎明顯落地位置在L2後，有些甚至到L4，不適合遠射，但是彎曲度大。
3. 反面發射瓶蓋大多為平飛，雖然盤面左傾斜左邊緊順時針旋轉可能會讓瓶蓋修正飛行軌跡，使瓶蓋偏轉角度較小，稍微偏向右方。小、大瓶蓋大多集中在31-35格，中瓶蓋則是集中在27-29格。

討論：

1. 正面發射瓶蓋容易受到左右鬆緊不同的影響產生傾斜，左邊緊盤面又朝左就容易左偏，比較與旋轉方向反向飛行。
2. 反面彈射瓶蓋不容易受盤面傾斜影響，會修正成平飛。左邊緊則往右邊飛，容易跟旋轉方向同向飛行。

項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜左	平均距離平均	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	2	3	1160	131	3	2
中瓶蓋正面	0	5	815	130	5	0
大瓶蓋正面	2	3	675	136	5	0
小瓶蓋反面	4	1	1033	154	2	3
中瓶蓋反面	5	0	847	139	3	2
大瓶蓋反面	5	0	920	132	0	5



正面順時針旋轉左斜較易左偏



反面順時針旋轉左斜直飛偏右

八、利用左長(鬆)右短(緊)橡皮筋進行逆時針旋轉右斜10度仰角15度發射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

發射方式：發射板調整成右斜10度、仰角15度，橡皮筋拉至發射板中線發射。

實驗結果：

項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜右	平均距離平均	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5	1091	137	0	5
中瓶蓋正面	0	5	779	128	0	5
大瓶蓋正面	0	5	755	124	0	5
小瓶蓋反面	5	0	980	140	0	5
中瓶蓋反面	2	3	856	132	3	2
大瓶蓋反面	0	5	874	134	0	5

我們的發現：

1. 我們預測盤面右斜逆時針旋轉發射，應該會多數右偏，實際結果也是這樣，不過偏離的格數大多在三個內，而且正面小瓶蓋飛行距離還接近11公尺，推測逆時針的旋轉可能對小瓶蓋有修正效果。
2. 正面發射中大瓶蓋時，盤面右傾斜加上飛行右傾，會有快速加下墜的狀況，飛行高度較其他實驗來的低，可能是逆時針旋轉問題。
3. 反面彈射小瓶蓋的飛行方式有修正為平飛，落地還是偏向右方，但是小中大三種瓶蓋的距離差距不大，中大瓶蓋距離比正面來的遠。中瓶蓋可能因為較厚，有往左邊偏轉的情形。

利用彈力帶左右2:1右斜10度仰角15度彈射

項目	飛行狀況			飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	右斜	左斜	平飛	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	5	0	0	1238	141	4	1
大瓶蓋正面	5	0	0	930	120	1	4
小瓶蓋反面	1	4	0	1306	152	5	0
大瓶蓋反面	0	1	4	1121	141	5	0

利用彈力帶左右3:1右斜10度仰角15度彈射

項目	飛行狀況			飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	右斜	左斜	平飛	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	5	0	0	1182	144	1	4
大瓶蓋正面	5	0	0	764	137	0	5
小瓶蓋反面	1	0	4	1065	148	1	4
大瓶蓋反面	1	0	4	957	140	1	4

彈力帶彈射實驗討論

1. 彈力帶左右2:1時，小瓶蓋正面落地位置偏中，可能是因為旋轉產生的力量偏左，遇到右斜面產生了修正的效果。大瓶蓋則是仍然偏右。
2. 彈力帶左右2:1時，反面瓶蓋都是偏左，旋轉的力量大於檯面傾斜產生的影響。與橡皮筋彈射時偏右的情形相反，可能是彈力帶造成的旋轉效果更好。
3. 彈力帶左右3:1時，正面瓶蓋大多飛行右斜偏向右方，與橡皮筋發射一樣。反面受到檯面傾斜影響，轉為平飛。旋轉力量強時，彈射力量較弱，受到檯面傾斜較大，會順著檯面飛行。

九、利用右長(鬆)左短(緊)橡皮筋進行順時針旋轉右斜10度仰角15度發射，觀察瓶蓋正反面的飛行狀況。

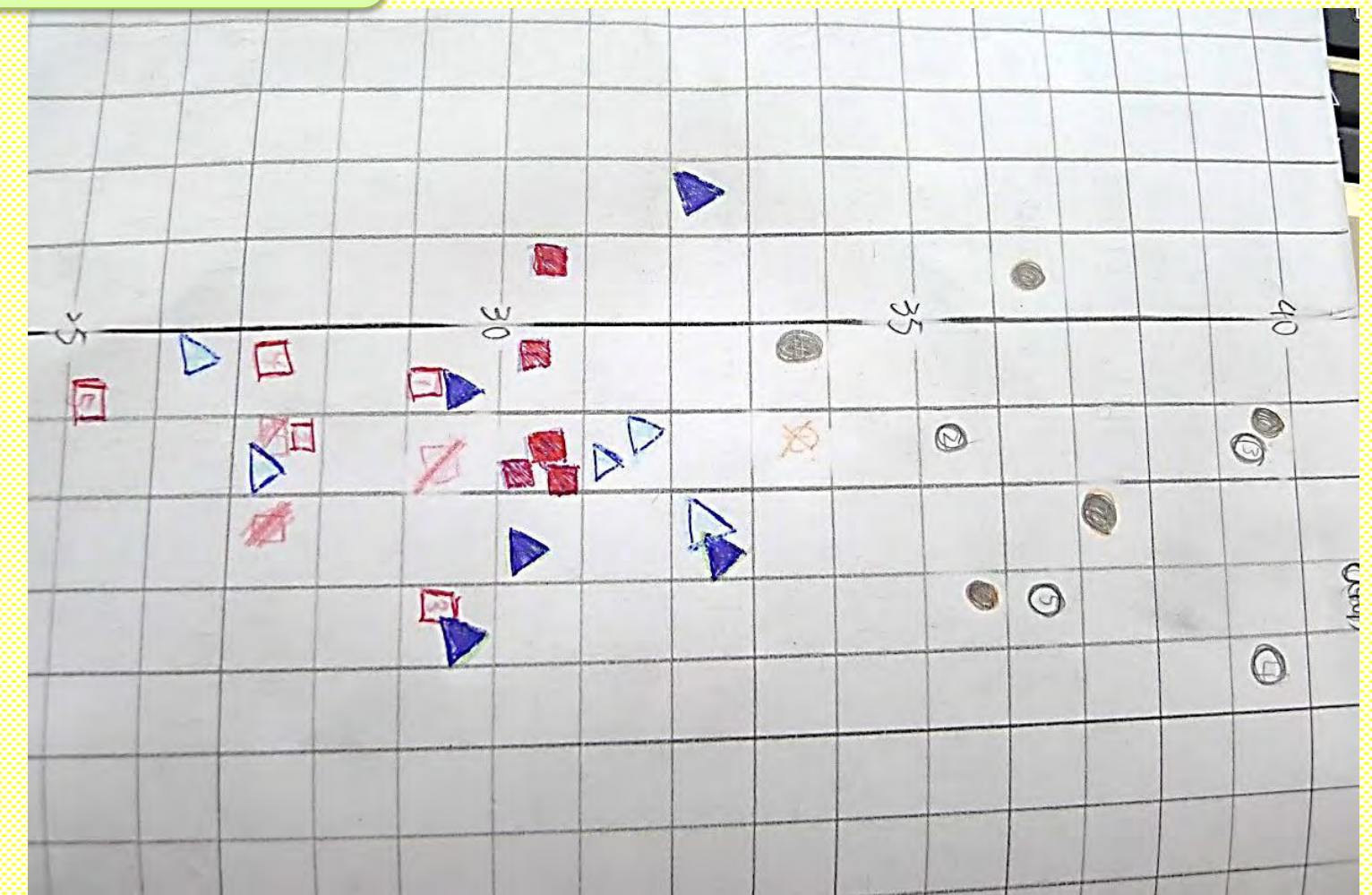
發射方式：發射板調整成右斜10度、仰角15度，橡皮筋拉至發射板中線發射。

實驗結果：

項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜右	平均距離平均	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	3	2	1153	125	0	5
中瓶蓋正面	3	2	913	136	0	5
大瓶蓋正面	1	4	819	110	0	5
小瓶蓋反面	4	1	1115	112	1	4
中瓶蓋反面	3	2	943	116	1	4
大瓶蓋反面	5	0	910	118	1	4

我們的發現：

1. 從前面實驗發現順時針發射時，瓶蓋多會左斜，遇到右斜的發射面就會有修正的效果變成平飛，特別是對於正面發射的瓶蓋。
2. 正面發射時，大瓶蓋可能重量較大，受發射面右斜影響，飛行時右斜的情形較明顯。小瓶蓋都往右偏，落在R2-R4之間，但中、大瓶蓋往右偏的飛行狀況較不明顯。中瓶蓋在飛行時，飛行軌跡較為彎曲，小、大瓶蓋飛行軌跡較筆直。
3. 反面發射時，中、小瓶蓋的飛行距離相差不遠，大部分都在30格-40格之間，飛行狀況良好大多是平飛和微微右斜，可能因為順時針本來或左斜，因會發射面右斜的修正，三種瓶蓋的飛行距離較實驗八來的遠，但是飛行高度都不高。



□大瓶蓋正面 △中瓶蓋正面 ○小瓶蓋正面
■大瓶蓋反面 ▲中瓶蓋反面 ●小瓶蓋反面
中間黑線格數代表每格30cm，左右每格也是30cm

十、將瓶蓋底部封閉觀察利用彈力帶左右2:1、3:1進行仰角5度彈射，觀察瓶蓋的飛行狀況。

彈力帶2:1進行底部封閉逆時針旋轉

項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜左	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	0	5	1011	114	5	0
大瓶蓋正面	4	1	943	104	5	0
小瓶蓋反面	0	0	1190	146	0	5
大瓶蓋反面	0	5	1000	138	0	5

彈力帶3:1進行底部封閉逆時針旋轉

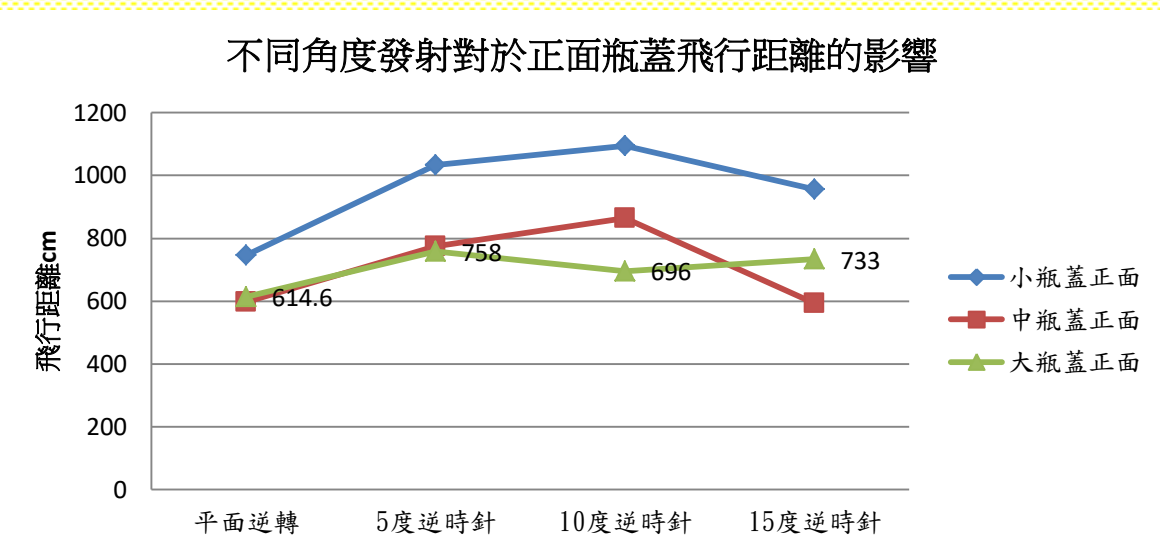
項目	飛行狀況		飛行距離與高度平均(公分)		落地偏離	
	平飛	斜右	平均距離	最大高度	落地偏左	落地偏右
小瓶蓋正面	5	0	1060	120	5	0
大瓶蓋正面	5	0	947	113	4	1
小瓶蓋反面	0	5	1062	150	0	5
大瓶蓋反面	0	5	940	116	0	5

彈力帶底部封閉實驗討論

1. 底部封閉後，正面內部不容易受到氣流影響，主要受到外部旋轉造成的馬格努斯效應影響，正面瓶蓋變為往左邊偏轉，反面瓶蓋卻變為向右偏轉，可能是因為左右受力不同，出去時產生右斜，直接往右邊掉落。
2. 底部封閉後，2:1、3:1造成的飛行距離差異不大，所以旋轉造成內部的康達效應，可以讓瓶蓋飛得更遠。
3. 反面瓶蓋飛行距離一樣比較遠，主要是重心在下方，底部平面受到空氣阻力較小，能夠乘風飛行。2:1旋轉力量較小，飛得更遠。

陸：綜合討論：

一、比較不同角度逆時針旋轉正面發射瓶蓋造成的飛行影響

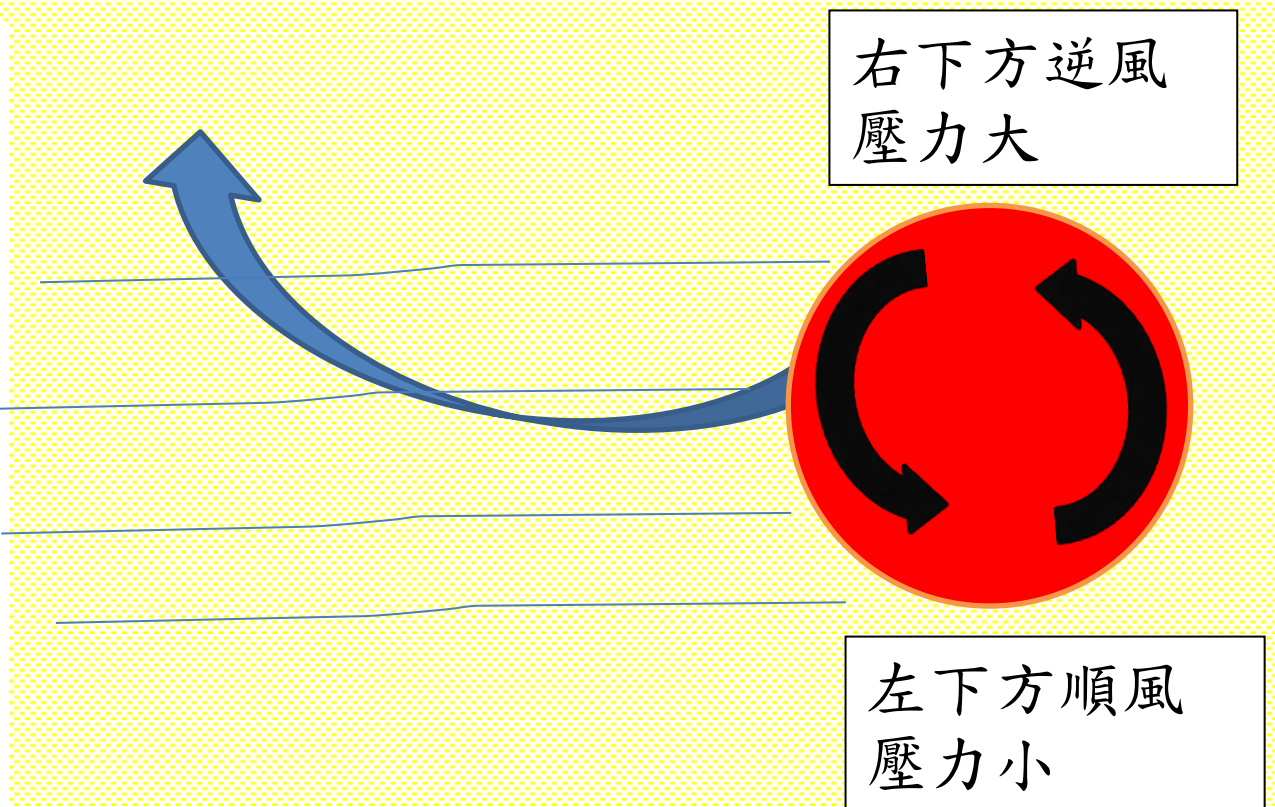


角度	平射		5度		10度		15度	
	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右
小瓶蓋正面	4	1	0	5	0	5	0	5
中瓶蓋正面	2	3	0	5	0	5	1	4
大瓶蓋正面	0	5	0	5	0	5	0	5

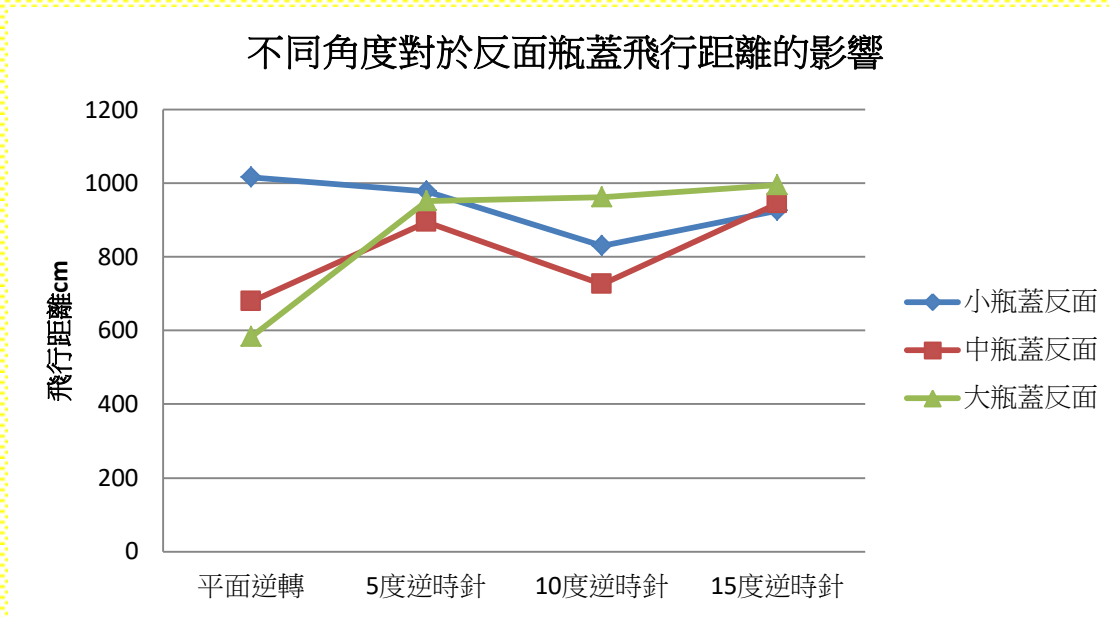
討論

- 比較不同角度逆時針旋轉發射的瓶蓋飛行距離，發現小瓶蓋與中瓶蓋都在10度時有最遠的飛行距離。而大瓶蓋則是在5度有最遠的飛行距離，但後續角度抬高對於大瓶蓋影響較小。
- 觀察逆時針旋轉發射的飛行狀況與落地偏向也發現，右緊左鬆彈射出去產生瓶蓋逆時針旋轉，容易在有仰角時產生右傾斜飛行，最後落地偏右方。

我們推測右邊較長的橡皮筋可能影響時間較久，拉動瓶蓋右傾斜。仰角發射出去時，瓶蓋右後方與空氣逆向撞擊造成壓力增加，向右方偏轉落地。



二、比較不同角度逆時針旋轉反面發射瓶蓋造成的飛行影響

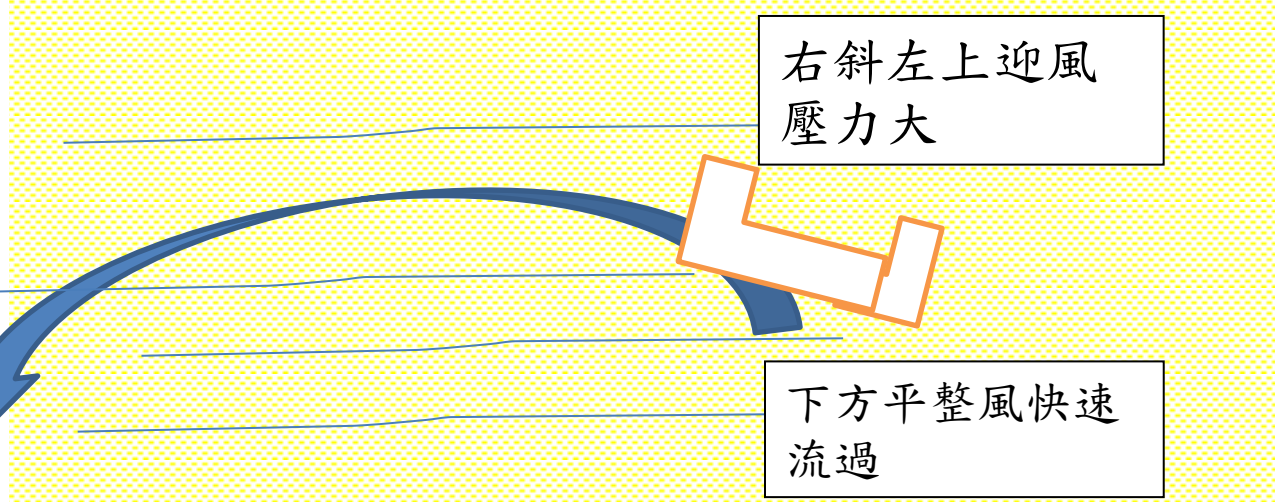


角度	平射		5度		10度		15度	
	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右
小瓶蓋反面	1	4	0	5	0	5	4	1
中瓶蓋反面	3	2	3	2	4	1	5	0
大瓶蓋反面	5	0	5	0	3	2	4	1

討論

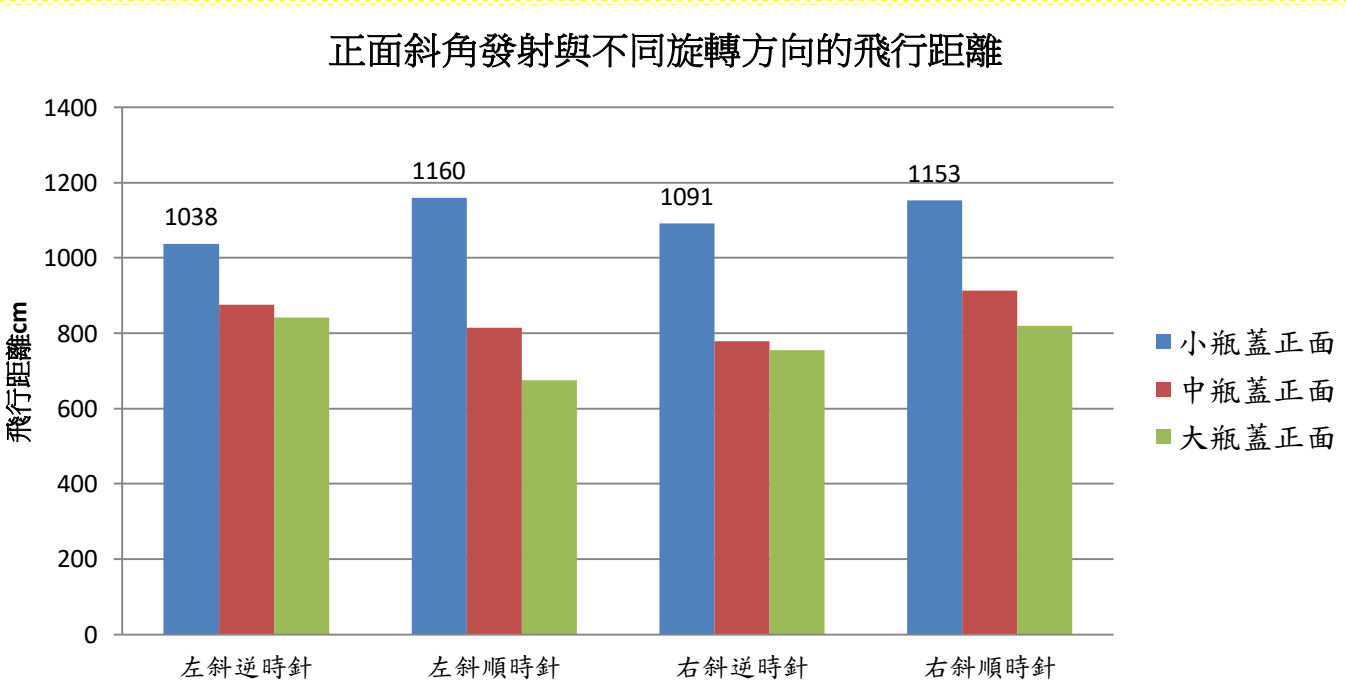
- 反面逆時針旋轉發射瓶蓋，小瓶蓋在平射時飛的最遠，中大瓶蓋仰角增加並沒有太大的改變。而且飛行速度快有下沉的狀況。可能是因為反面瓶蓋有仰角時是下方平整面迎風，反而減少了跟空氣的摩擦力。
- 反面發射瓶蓋飛行狀況在角度小時多是平飛或稍微右斜，小瓶蓋會右偏。中大瓶蓋則比較不會受影響。而且中大瓶蓋反而會有落地偏左的情形。

我們推測反面發射在下墜時，因為右斜，反而是左上方受風力較大，造成壓力增大而向左偏。



三、觀察發射台斜角發射，比較逆時針與順時針旋轉正面發射瓶蓋造成的飛行影響

發射台與旋轉方向	左斜逆時針		左斜順時針		右斜逆時針		右斜順時針	
	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右
小瓶蓋正面	4	1	3	2	0	5	0	5
中瓶蓋正面	3	2	5	0	0	5	0	5
大瓶蓋正面	3	2	5	0	0	5	0	5



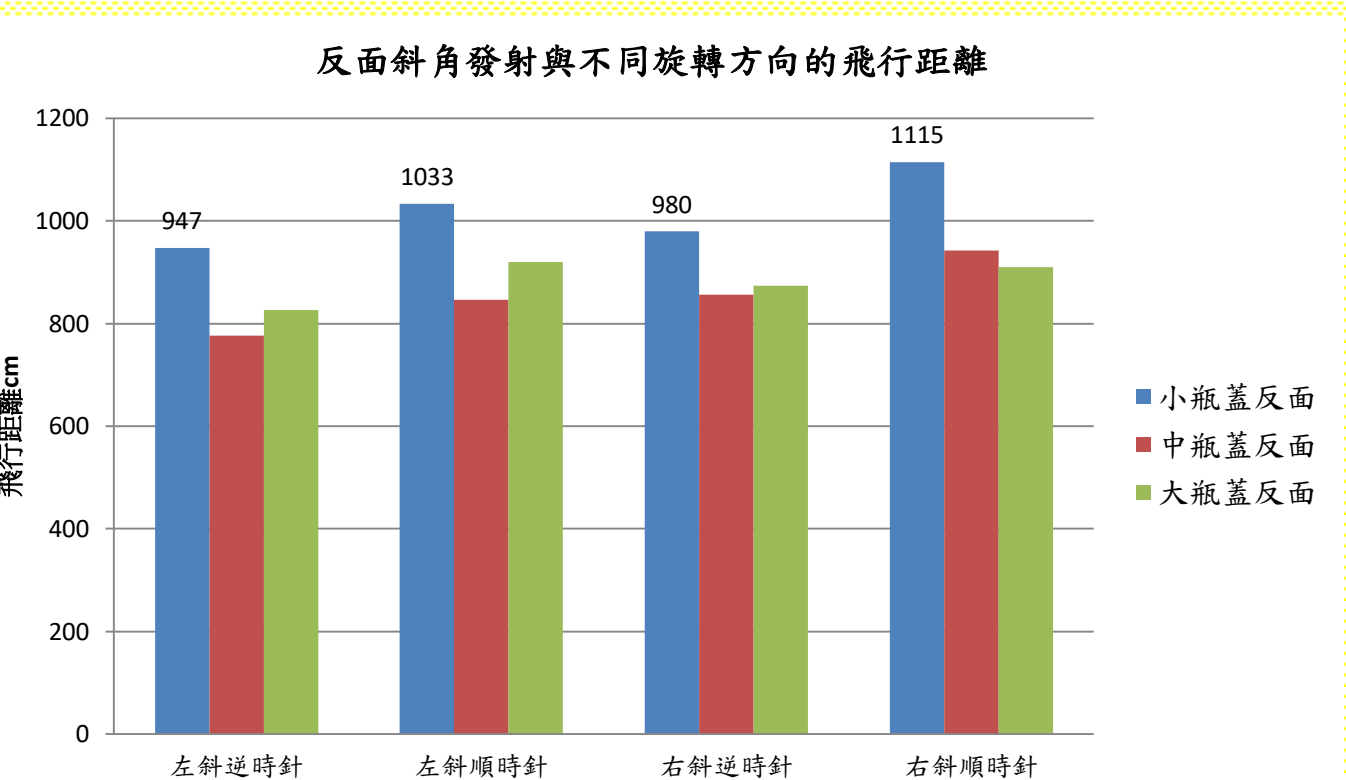
我們從實驗中發現逆時針旋轉的瓶蓋會飛行時會右傾斜，順時針旋轉的瓶蓋會往左傾斜，可以用改變發射斜角來進行修正，影響飛行軌道

- 小瓶蓋飛行距離都在10公尺以上，比較不受旋轉方向與盤面左右傾斜的影響，不過盤面左斜與右斜時，都是順時針方向有最遠的距離。
- 中大瓶蓋在盤面左斜，逆時針旋轉右傾與盤面右斜，順時針旋轉左傾，修正飛行狀況的效果就出現了!都有飛行距離比較遠的狀況，可見重量與大小還是影響飛行的主要因素，特別是在大瓶蓋上，有修正後幾乎可以跟少了一克重的中瓶蓋達到接近的飛行距離。
- 正面斜角發射瓶蓋時，落地的偏向容易受台面傾斜方向影響，只有第一組的左斜角與逆時針造成的右傾有修正方向，落點接近中線。而且小瓶蓋是比較不受影響的，中大瓶蓋都很容易受發射時的斜角影響，產生落地偏向。

我們發現多數正面傾斜發射時，左斜偏左飛、右斜偏右飛。如果旋轉方向產生的偏向與發射面相反時，會有抵銷修正飛行方向直線的效果。

四、觀察發射台斜角發射，比較逆時針與順時針旋轉反面發射瓶蓋造成的飛行影響

發射台與旋轉方向	左斜逆時針		左斜順時針		右斜逆時針		右斜順時針	
	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右	偏左	偏右
小瓶蓋反面	5	0	2	3	0	5	1	4
中瓶蓋反面	5	0	3	2	3	2	1	4
大瓶蓋反面	5	0	0	5	0	5	1	4



我們在前面仰角發射實驗發現反面發射，比較會偏向左方，而且較不受發射角度的影響，是否在斜角發射也有這種情形呢?

- 反面斜角發射時，小瓶蓋與正面有類似的趨勢，修正與否不會影響飛行距離，不過反面發射普遍飛行速度快，落地快，所以飛行距離比正面發射短。
- 反面發射大瓶蓋有三種發射方式飛行距離超過中瓶蓋，可能是盤面大迎風面大具有支撐的效果，讓他可以飛得遠一點。其中左斜順時針與右斜逆時針都是旋轉傾斜與盤面傾斜方向一致，而飛的最遠的右斜順時針(左傾)則是有修正飛行狀況的效果。

我們發現落地偏向多數狀況還是與正面發射一致，受到盤面偏向影響較大。左斜逆時針與右斜順時針都是屬於盤面與傾斜方向相反的，最後還是會順著傾斜方向飛行，多屬於平飛。特別是在大瓶蓋時最明顯。

柒、結論：

一、如何玩瓶蓋棒球：

瓶蓋棒球是一個有趣安全的活動，下課找塊小地方就可以玩。用中指及大拇指夾住瓶蓋，食指可以壓住瓶蓋面，用力彈出造成旋轉就可以讓瓶蓋穩定飛行，加上手臂的力量與改變彈射的角度，可以讓瓶蓋變化出不同的球路。

二、飛行方向怎麼變：

我們從遊戲中發現右撇子彈射出去的多是逆時針旋轉右偏弧線，左撇子彈射出去的多是順時針旋轉的左偏弧線。利用長短不同的橡皮筋來模擬左右手彈射所造成的不同旋轉，可以控制瓶蓋的偏向。

瓶蓋棒球在飛行時受到兩種力量的作用，一個是往前的彈力，一個是旋轉造成的偏轉。可是偏轉的力量又分為瓶蓋下方旋轉造成的氣流速度不同與外部跟空氣摩擦產生的不同壓力差。所以逆時針旋轉正面大多右偏，反面大多左偏。

三、快速直球怎麼彈：

我們從實驗中發現反面瓶蓋逆時針旋轉彈射比較不會受到氣流的影響，速度快而且會稍微下沉，所以可以用反面瓶蓋5度的角度彈出快速直球。再加上可以稍微的右傾斜來修正飛行的軌道。

四、上飄球怎麼彈：

我們發現正面瓶蓋會有上浮的效果，利用小瓶蓋以10度仰角的方式彈出可以有飄浮的效果，而且會出現右偏弧線，所以可以在發射時稍微向左方修正，讓最後瓶蓋可以落到中間才算好球。

五、弧線曲球怎麼彈：

我們從仰角實驗中發現15度的仰角雖然飛得高但是落地距離近，飛行狀況有明顯右傾斜與偏右。所以如果要投出弧線下沉的曲球，可以用比較大的仰角，向左方發射會切出比較大的弧線。

六、平飛變成彎曲球怎麼彈：

我們從實驗八九中發現，發射台面的傾斜方向會影響瓶蓋的飛行方向，如果要向右偏轉大一點，那就是用台面右斜逆時針旋轉發射，會拉出很大的右彎弧線。如果是要投出先直後彎那要用台面左斜逆時針旋轉，發射時會修正飛行成平飛，但是最後還是會右偏。相反操作如果是左撇子彈出順時針旋轉，那左斜會拉出比較大曲線，右斜則是先直後左彎。