

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(一)科

052303

多軌跡飛行模擬器

學校名稱：桃園育達學校財團法人桃園市育達高級中
等學校

作者： 高一 翁立恩 高一 魏嘉成 高一 吳任輝	指導老師： 林自明
---	------------------

關鍵詞：康達效應、飛行軌跡、馬格努斯效應

摘要

投出讓人打不到的變化球，是身為投手最大的夢想。但礙於個人身體素質。其實只有很少的人有辦法投出超過五種不同的變化球。而瓶蓋棒球幫我們達成了這個心願。為了精準控制瓶蓋的各種飛行軌跡。我們設計了一款可以多維度調整的多軌跡飛行模擬器。藉由不同的參數設定。可以討論各種參數對於瓶蓋飛行軌跡的影響。且本實驗所設計的軌跡模擬器，亦相當合適作為流體力學單元中觀念的展示。

壹、研究動機

高中男生總有用不完的精力，每到下課時，操場上、球場裡總是擠滿了臭男生。彼此拼鬥的除了球技，更是發洩生活中的不如意。總有同學愛模仿明星球員的動作，大多是畫虎不成反類犬。畢竟我們的身體素質不夠好，很多動作做不到位。

有次假日去圖書館念書時，遇到了國中下課一起打球的學長。聊著彼此的近況，順道虧一下當年的糗事。突然間，學長像是想起了甚麼祕密般的竊笑問我說：學弟，最近還有在打棒球嗎？想當初我可是國中的超強王牌。我自信的回答說：當然有阿！那不然來挑一下。同學不甘示弱地回答我。

於是，我們兩個傻瓜，就在圖書館外的停車場，丟起了瓶蓋。ㄟ，當年他可是我的手下敗將。怎麼才一年多，就進步這麼多？我沒好氣地問他說：快說，你怎麼偷練的？畢竟是國中的好兄弟，他從口袋掏出了手機，賊賊的笑說：來，我給你看好東西！經過他的介紹我才知道，原來世界各地都有不同的人和我們一樣，喜歡拿瓶蓋來丟。京都大學的大學生們，竟然還為了這遊戲成立了一個社團。拍了許多比賽的影片及介紹。

恰好此時物理課老師提到了力學有一個領域叫做流體力學。我便把這個故事跟老師分享。老師鼓勵我們可以用物理的方式，來分析這個行為。也許可以讓我的投球更厲害。於是我就邀了我的好兄弟及學長，一起投入這個又能玩又能學到東西的研究。

貳、研究目的

在跟同學 PK 的過程中，我們已經初步歸納出幾種飛行的軌跡。但就如同現實生活中的四縫線棒球一樣。同樣投直球，就可分成快速直球與慢速直球。瓶蓋棒球因為質量小，更容易可以做出曲球、滑球、伸卡球…等變化球。但用人手丟瓶蓋，每次施力的大小無法量化，每次投球的角度無法固定。因此我們設計了一個軌跡模擬器，希望能用定量的概念，來模擬出各種球路，希望實驗結束後，能對以下三點作出解釋。

- 一、施力位置及大小與飛行軌跡的關係
- 二、瓶蓋旋轉角度與飛行軌跡的關係
- 三、軌跡模擬器仰角角度與飛行軌跡的關係

參、研究設備及器材

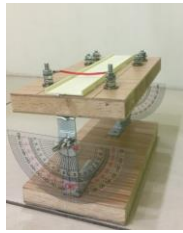
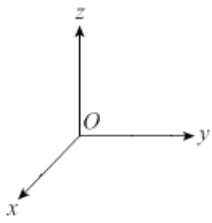
一、材料總表

編號	項目	規格	用途
1	軌跡模擬器	25cm x 10cm x 8cm	以定量的方式發射瓶蓋
2	水管蓋	直徑約 2.4cm、2.9cm、3.7cm	作為瓶蓋基準物
3	市售瓶蓋	直徑約 3.1cm	作為觀察物體
4	橡皮筋	#14、#18	作為軌跡模擬器的施力提供者
5	手機	Iphone6	1、慢動作攝影 2、紀錄實驗過程
6	彈簧秤	250g、500g 各兩支	測量施力大小
7	電子秤	100g 以內，精度 0.01g	測量瓶蓋重量



二、輔助設備

編號	項目	用途
1	Tracker	用來分析瓶蓋飛行軌跡。
2	Sony R10 III	用來協助錄製更清晰的瓶蓋飛行軌跡。(4k 每秒 960P)
3	PROVA 風速計	用來確認實驗環境的風速影響。
4	12W LED 崁燈	補光用，讓錄影影像不會閃爍。

三、軌跡模擬器



x 軸：瓶蓋發射方向
y 軸：軌跡模擬器左右傾斜的方向
z 軸：軌跡模擬器高度方向

模擬器代數	圖示	功能
第一代		優點：與手擲相比有較高的穩定性。 缺點：無法確認發射時的角度。
第二代		優點：(1)精準控制施力大小。 (2)控制發射時瓶蓋與 y 軸水平面的傾斜角度 缺點：無法控制瓶蓋與 x 軸水平面的夾角。
第三代		優點：包含一、二代的優點，並增加了與 x 軸水平面的仰角功能。

肆、研究原理與過程

一、研究原理

(一) 虎克定律

虎克定律 (Hooke's law)，是力學彈性理論中的一條基本定律，固體材料受外力作用，在彈性限度內所受外力與單位變形量成線性關係。

(二) 康達效應

康達效應 (Coandă Effect)，亦稱附壁作用。流體會離開本來的流動方向，改為隨著凸出的物體表面流動，並使周圍流體流入此一噴流中。流速快的部分會有較低的壓力，因而造成物體運動方向的偏移。

(三) 馬格努斯效應

當一個旋轉物體的旋轉角速度向量與物體飛行速度向量不重合時，在與旋轉角速度向量和移動速度向量組成的平面相垂直的方向上將產生一個橫向力。在這個橫向力的作用下物體飛行軌跡發生偏轉的現象稱作馬格努斯效應。

二、實驗過程

(一)實驗相關說明：

1 實驗材料資訊：

編號	名稱	規格
1	小瓶蓋	直徑 2.4cm，高度 1.2cm，重量 1.45gw
2	中瓶蓋	直徑 2.9cm，高度 1.2cm，重量 2.03gw
3	大瓶蓋	直徑 3.7cm，高度 1.2cm，重量 3.23gw
4	瓶蓋 A	直徑 3.1cm，高度 1.2cm，重量 1.76gw
5	瓶蓋 B	直徑 3.1cm，高度 1.2cm，重量 1.91gw
6	瓶蓋 C	直徑 3.1cm，高度 1.2cm，重量 2.02gw
7	橡皮筋#14	直徑約 2.5cm，線徑約 1.5mm
8	橡皮筋#18	直徑約 4.5cm，線徑約 1.5mm

2 實驗數據處理方式：

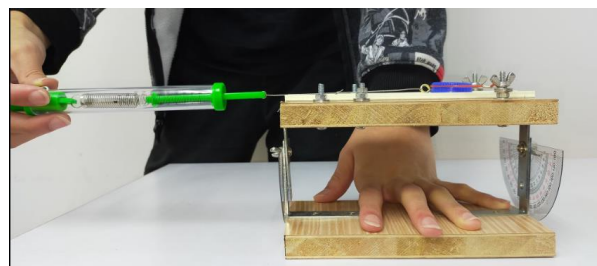
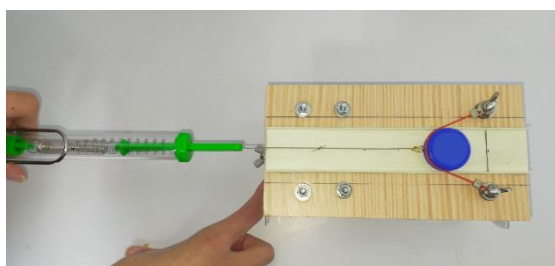
每個實驗主題中的小實驗，皆實驗 12 次。扣除差異較大的兩筆資料後，剩餘十筆資料計算該實驗的數據平均值，用四捨五入法取到小數第二位。

本實驗室內部分風速條件以蒲福風級表定義皆為 0~1 級(0~1.5m/s)。室外實驗，在蒲福風級表 2 級尚可維持穩定狀態，3 級以上，肥料飛行軌跡會受到風力影響，故不建議在 3 級風力狀態下，使用本作品施肥。

3 前置實驗：

[前置實驗 1]：橡皮筋拉力測試

橡皮筋原長設定為 5cm。使用壓線端子固定兩端，依照下圖方式施力。固定施力大小(200gw、300gw、400gw)，紀錄固定施力大小時瓶蓋位置。每種施力大小皆紀 50 次。



[前置實驗 2]：軌跡模擬器穩定度測試

3-1：瓶蓋不旋轉，測試施力大小與落點距離的關係

由此實驗我們得知，當瓶蓋不旋轉時，由於空氣阻力太大，會造成瓶蓋飛行不穩定。每次的實驗結果都不相同。因此施力大小與落點關係的數據，沒有參考價值。

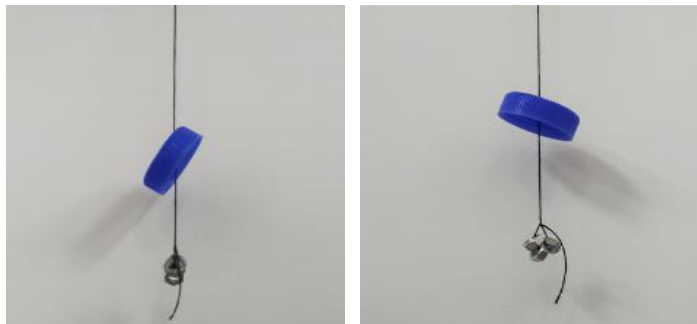
3-2：瓶蓋旋轉，測試施力大小與落點距離的關係 (單位：cm)

	300gw		350gw		400gw	
	逆	順	逆	順	逆	順
10 度	117.32	118.25	162.42	161.87	214.39	214.42
20 度	142.51	143.12	196.24	196.35	243.12	244.47
30 度	173.14	173.68	224.15	223.87	275.65	275.82

[前置實驗 3]：飛行物質心測試

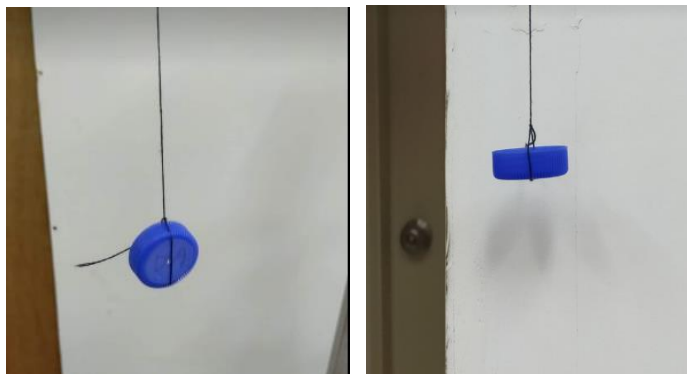
4-1：打洞法

此方法很快速地就能算出質心，但因為打洞了，所以會改變質量的分布，跟老師討論過後，發現此方法是錯誤的。



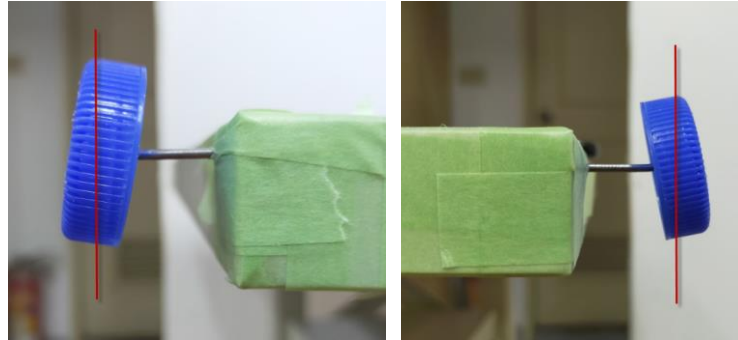
4-2：綁線法

這個方法是課本上推薦的方法，但當真實實驗時，綁線的位置，打結的位置，都沒有一個正規的流程可以參考，雖然我們有做出結果，但總覺得不安心。也讓我們體會到理論跟實務上的落差。



4-3：鐵釘法

這個方法是跟我們比賽時的評審請教的。藉由此方法，既可以不用破壞瓶蓋，也不用擔心綁線造成的摩擦力，又可以快速的畫出兩條線，進而求出質心。快又簡單。以此瓶蓋為例，質心位在瓶蓋中心點往下 3mm 處。



[前置實驗 4]：光滑面+無螺紋飛行物

5-1：瓶蓋不旋轉，測試施力大小與落點距離的關係
同前置實驗 3-1。此數據沒有參考價值。

5-2：瓶蓋旋轉，測試施力大小與落點距離的關係(單位：cm)

	300gw		350gw		400gw	
	逆	順	逆	順	逆	順
10 度	77.15	78.23	120.45	121.07	154.21	153.85
20 度	92.52	93.63	146.28	145.85	183.62	183.04
30 度	112.52	113.41	154.25	151.74	195.22	195.65

(二)實驗過程

[實驗 1]：施力位置與大小對瓶蓋軌跡的影響

質心=距頂部 3mm
中部點=距頂部 6mm
底部點=距底部 3mm



[實驗 1-1]：施力點不同，瓶蓋的飛行距離

仰角	傾角	旋轉	施力	高度
0 度	0 度	順 10 度	200gw	8cm

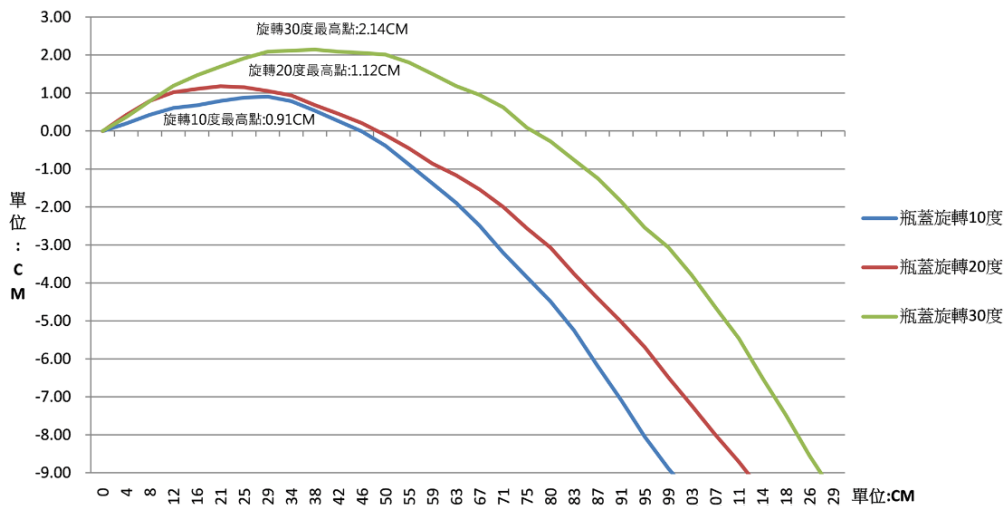
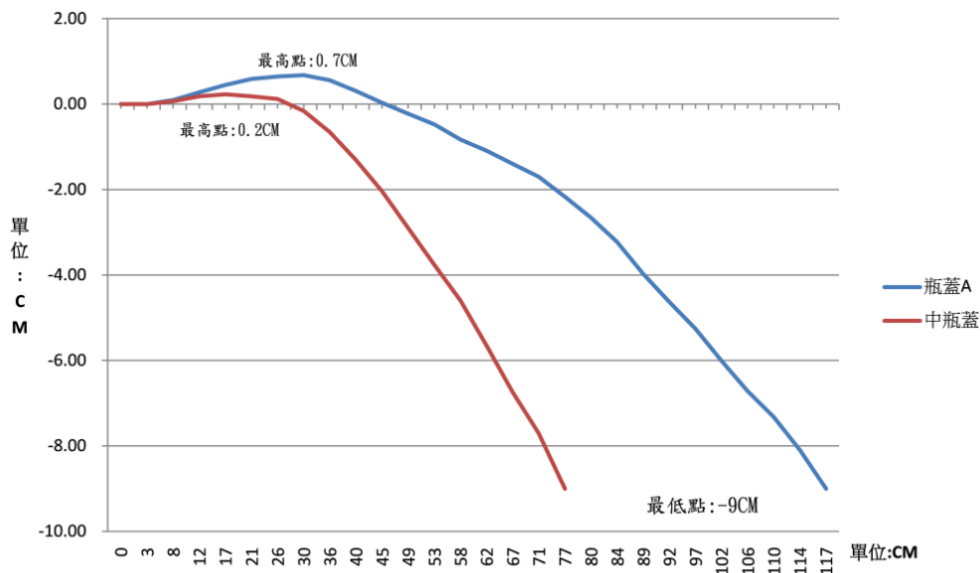
	瓶蓋 A	瓶蓋 B	瓶蓋 C
頂部點	76.24cm	78.00cm	76.25cm
中部點	52.41cm	54.15cm	53.72cm
底部點	X	X	X

[實驗 1-2]：外力大小不同，施力點皆在頂部點，瓶蓋的飛行距離

仰角	傾角	旋轉	高度
0 度	0 度	順 10 度	8cm

	瓶蓋 A	瓶蓋 B	瓶蓋 C
200gw	76.24cm	78.00cm	76.25cm
300gw	117.52cm	118.52cm	118.14cm
400gw	214.15cm	214.42cm	214.82cm

[實驗 2]：瓶蓋發射速度與升力的關係



[實驗 3]：X 軸角度對瓶蓋軌跡的影響

施力	仰角	旋轉	高度
300gw	0 度	順 10 度	8cm

X 軸夾角	瓶蓋 A	瓶蓋 B	瓶蓋 C
10 度	192.25cm	192.82cm	191.97cm
30 度	361.71cm	362.04cm	362.25cm
45 度	542.23cm	542.92cm	542.81cm

伍、討論與結論

【討論一】： 在本實驗實驗條件範圍內，橡皮筋是否遵守虎克定律

根據[前置實驗 1]結論可知，我們所使用的兩款橡皮筋在單次外力最大 400g，重複使用 50 次的狀況下，可以視為彈性體，是遵守虎克定律的。因此，橡皮筋可以視為一個穩定的外力來源，幫助我們能夠確定，實驗數據是可靠且穩定的。

【討論二】： 施力大小與位置對瓶蓋軌跡的影響

(1)施力位置對瓶蓋軌跡的影響

根據實驗一結論可知，施力位置直接影響到，瓶蓋的飛行狀態。當施力越接近質心時，瓶蓋的穩定度越好，飛行距離越遠。

(2)施力大小對瓶蓋軌跡的影響

若瓶蓋不旋轉，且直接施力在質心上，瓶蓋會直線運動，但因為空氣阻力關係，飛行的距離並不穩定。當瓶蓋固定旋轉 10 度時，施力的大小與瓶蓋飛行距離呈正相關。

【討論三】： 瓶蓋發射速度與升力的關係

由實驗結果得知，瓶蓋旋轉速度越快，空氣對瓶蓋造成的升力就越大。瓶蓋外型光滑反而升力較小。這就如同乒乓球及高爾夫球一樣。乒乓球的表面光滑，但反而無法飛的穩定。反之，高爾夫球表面有許多小坑洞，卻能幫助球體穩定飛行。

【討論四】： X 軸角度對瓶蓋軌跡的影響

當軌跡模擬器平台與 y 軸夾角為零時，此軌跡模擬器可以作為高二物理課『水平拋射』及『斜向拋體』課程的演示教具。當軌跡模擬器的 x 軸正方向夾角(θ)變大($0 \leq \theta \leq 45^\circ$)時，瓶蓋在 X 軸方向的位移也隨之增大。當 y 軸夾角開始變化時，馬格努斯效應在軌跡尾端所造成的橫向偏移(y 軸方向)就越明顯。

陸、應用及未來展望

由本研究之結論，目前已經實現下列四種應用：

【第一種】取代現有孩童的玩具槍

由於瓶蓋旋轉前進的緣故。雖然在視覺上有速度感及滿足感。但當瓶蓋撞擊到身體的瞬間，因為體積較大，壓力較小，加上旋轉的方向與一般子彈不同。對孩童的傷害，可以降到最低。加上簡易版軌跡模擬器的製作極為容易，除了玩遊戲又可以做科學的觀察及探究教具，可說一舉數得。

【第二種】物理老師的課堂演示教具

高中的物理力學拋體單元，除了計算還是計算，就算老師用軟體分析演示，總覺得少了些甚麼。雖然我們老師也嘗試過在教室中丟小球，讓我們來觀察小球在空中的飛行軌跡。但畢竟老師不是運動選手，沒辦法準確的控制每次的力量大小及角度。但用我們的軌跡模擬器就沒有這個問題。只要依照底部的記號，就可以控制橡皮筋力量的大小。還可以藉由底部的圖示，控制瓶蓋的旋轉角度。不論是水平拋體、斜向拋體，都能簡單又穩定的演示，這會是讓學生了解物理原理，愛上物理的最好幫手。

【第三種】簡易發球機

從動手做開始愛上科學。自從我們開始這個研究，班上同學下課時最常做的事情就是到教室後面或是走廊上『打棒球』。但我們畢竟不是運動選手，常會因為施力不當，將瓶蓋彈射到玻璃甚至打擊的同學身上，更不用說當我們用盡全力投了一節下課後，上課時間很容易不知不覺地去跟周公下棋。隨著研究的進展，我們發現了我們的作品，除了可以發出快速直球外，上飄球、滑球及伸卡球也都不是問題，我們將繼續研究，讓軌跡模擬器除了發射瓶蓋，也能發射球或子彈。

【第四種】平價版施肥機

今年過年回鄉下的外婆家，那時正值休耕。研究也進入了一個瓶頸。我就自己坐在田邊亂射瓶蓋。突然看到舅舅在翻土的時候，會將像瓶蓋的東西埋入土中。舅舅說那是肥料，要種東西前，要先養土。我很興奮地打電話給兩位同伴，邀請他們來我外婆家做實驗。根據我們的實驗結論，我們可以將此作品應用在田間施肥。目前我們做到的成果是，在 12m 的田埂中，我們可以做到每隔 50 公分施一個肥料錠，肥料錠的大小約為直徑 3cm，高度也約為 3cm。以外婆家前面那塊約一分大小的田地來說，舅舅原本的施肥方式約需要至少一小時。但用軌跡模擬器協助，大約只需十分鐘即可完成。更重要的是，不用不停地彎腰。可以節省農夫的體力及避免腰部的傷害。更因為可以在田邊施作，可以避免走進田中時，踩進爛泥土或者是踩壞植物。原本舅舅打算要買一台無人機來協助噴灑農藥及施肥。但詢價過後就退縮了，因為一台主機加上周邊配件，總金額約需 60 萬。而我們這個作品的造價僅 500 元，就能達到精準投放肥料的功能。

未來我們將持續研發，希望能將發射方式做修正，從單發改成連發；從手動控制，改成電動發射，朝向自動裝填、並藉由 arduino 控制板達成程式輔助投放的目標。甚至可以用來作為簡易的飛彈或子彈的飛行軌跡模擬器。

柒、參考資料

- (01) プラスチック最強決定戦【卓球 vs キャップ投げ】
<https://www.youtube.com/watch?v=IY7OMNdT9YE>
- (02) 康達效應
<http://zh.wikipedia.org/wiki/康達效應>
- (03) 馬格努斯效應
<https://zh.wikipedia.org/wiki/馬格努斯效應>
- (04) 張以侑、張袞德、吳依庭(2018) 如何飛向他的心-撲克牌之飛行軌跡研究。取自第58屆中小學科展報告。
- (05) Merle C. Potter. Mechanics of FLUIDS. second edition

【評語】 052303

1. 本作品從生活中觀察到投擲物品的現象開始探討，設計了一款可以多維度調整的多軌跡飛行模擬器。藉由不同的參數設定，實驗瞭解各種參數對於瓶蓋飛行軌跡的影響。
2. 建議釐清作品目標是開發好的射擊器或是模擬器，若是前者，作品應該針對射擊器射擊條件多作探討（如針對多遠多高的目標如何打到）；若是後者，應該導入學理並討論飛行動態，理解各種條件對射擊結果的影響。
3. 實驗觀察可較深入詳細了解瓶蓋飛行軌跡的量測結果與學理之關聯性，如與康達效應以及馬格努斯效應的關聯。研究有規劃使用 Sony R10 III 用來協助紀錄實驗過程，但未見相關結果。軌跡模擬器的設計及製作過程可再更詳細說明。
4. 不同代的模擬器應該延續前代的優點和減少前代的缺點，逐步往理想的方式前行，第四代應該盡可能達到僅具有小缺點。
5. 可考慮使用寬度寬一點的橡皮筋，或在接觸瓶蓋處加上一個支撐座，可減少發射過程中需要將橡皮筋對正瓶蓋質心的苦工，增加發射的穩定性。
6. 捲線器如何取代彈簧作為動力源的說明不甚清楚。

摘要

投出讓人打不到的變化球，是身為投手最大的夢想。但礙於個人身體素質。其實只有很少的人有辦法投出超過五種不同的變化球。而瓶蓋棒球幫我們達成了這個心願。為了精準控制瓶蓋的各種飛行軌跡。我們設計了一款可以多維度調整的多軌跡飛行模擬器。藉由不同的參數設定。可以討論各種參數對於瓶蓋飛行軌跡的影響。且本實驗所設計的軌跡模擬器，亦相當合適作為流體力學單元中觀念的展示。

壹、研究動機與目的

高中男生總有用不完的精力，每到下課時，操場上、球場裡總是擠滿了臭男生。彼此拼鬥的除了球技，更是發洩生活中的不如意。總有同學愛模仿明星球員的動作，大多是畫虎不成反類犬。畢竟我們的身體素質不夠好，很多動作做不到位。

有次假日去圖書館念書時，遇到了國中下課一起打球的學長。聊著彼此的近況，順道虧一下當年的糗事。突然間，學長像是想起了甚麼祕密般的竊笑問我說：學弟，最近還有在打棒球嗎？想當初我可是國中的超強王牌。我自信的回答說：當然有阿!那不然來挑一下。同學不甘示弱地回答我。

於是，我們兩個傻瓜，就在圖書館外的停車場，丟起了瓶蓋。ㄟ，當年他可是我的手下敗將。怎麼才一年多，就進步這麼多?我沒好氣地問他說：快說，你怎麼偷練的？畢竟是國中的好兄弟，他從口袋掏出了手機，賊賊的笑說：來，我給你看好東西!

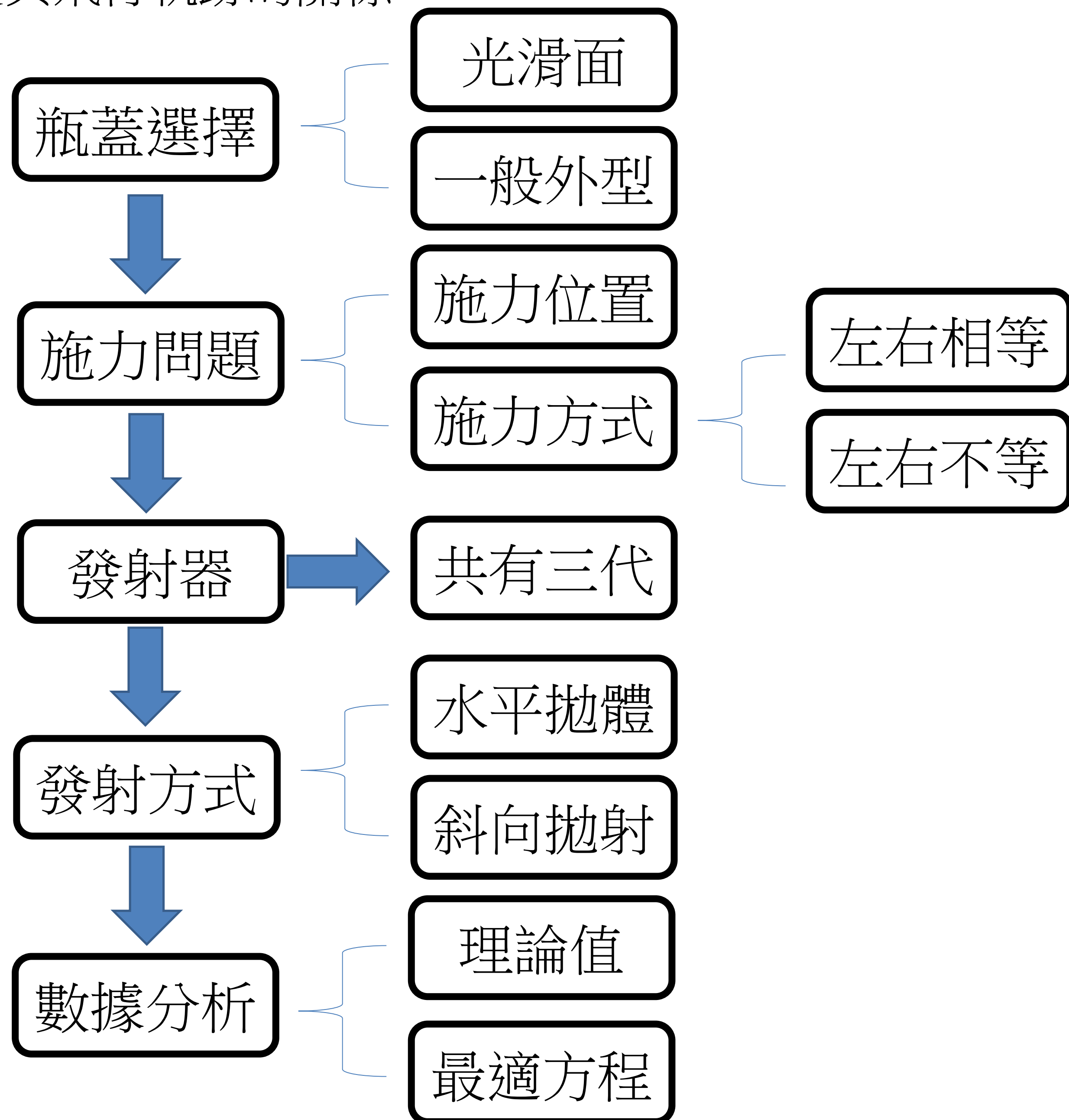
經過他的介紹我才知道，原來世界各地都有不同的人和我們一樣，喜歡拿瓶蓋來丟。京都大學的大學生們，竟然還為了這遊戲成立了一個社團。拍了許多比賽的影片及介紹。

恰好此時物理課老師提到了力學有一個領域叫做流體力學。我便把這個故事跟老師分享。老師鼓勵我們可以用物理的方式，來分析這個行為。也許可以讓我的投球更厲害。於是我就邀了我的好兄弟及學長，一起投入這個又能玩又能學到東西的研究。

貳、研究目的

在跟同學PK的過程中，我們已經初步歸納出幾種飛行的軌跡。但就如同現實生活中的四縫線棒球一樣。同樣投直球，就可分成快速直球與慢速直球。瓶蓋棒球因為質量小，更容易可以做出曲球、滑球、伸卡球...等變化球。但用人手丟瓶蓋，每次施力的大小無法量化，每次投球的角度無法固定。因此我們設計了一個軌跡模擬器，希望能用定量的概念，來模擬出各種球路，希望實驗結束後，能對以下三點作出解釋。

- 一、施力位置及大小與飛行軌跡的關係
- 二、瓶蓋旋轉角度與飛行軌跡的關係
- 三、軌跡模擬器仰角角度與飛行軌跡的關係



參、研究設備與器材

一、材料總表

編號	項目	規格	用途
1	軌跡模擬器	25cm x 10cm x 8cm	以定量的方式發射瓶蓋
2	水管蓋	直徑約2.4cm、2.9cm、3.7cm	作為瓶蓋基準物
3	市售瓶蓋	直徑約3.1cm	作為觀察物體
4	橡皮筋	#14、#18	軌跡模擬器的施力提供者
5	手機	Iphone6	1、慢動作攝影 2、紀錄實驗過程
6	彈簧秤	250g、500g各兩支	測量施力大小
7	電子秤	100g以內，精度0.01g	測量瓶蓋重量

二、輔助設備

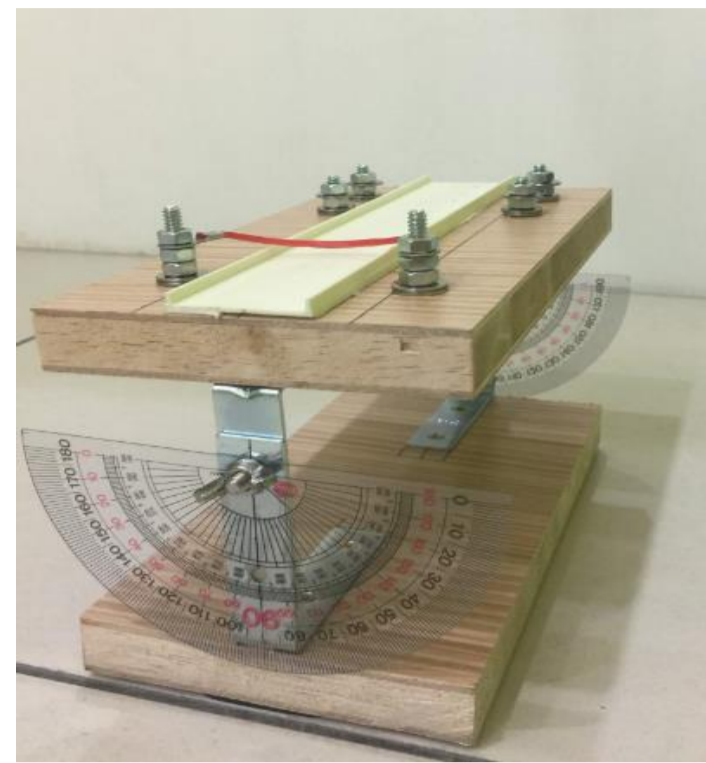
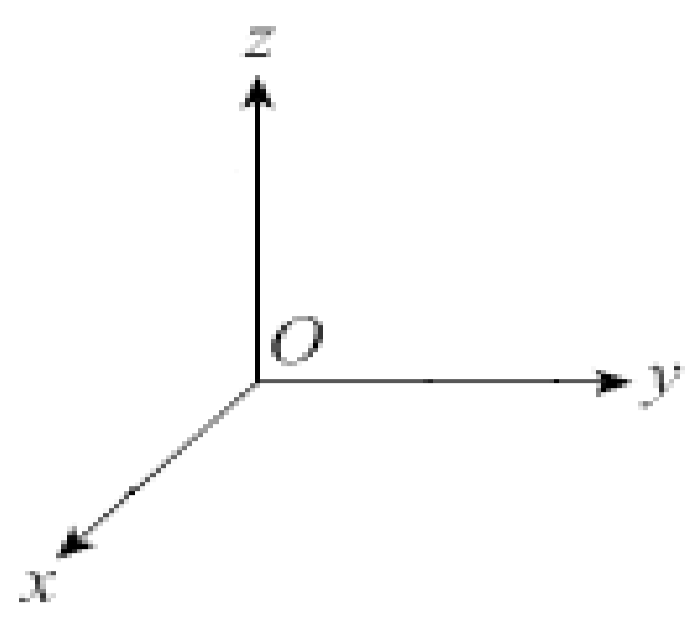
編號	項目	用途
1	Tracker	用來分析瓶蓋飛行軌跡。
2	Sony R10 III	用來協助錄製更清晰的瓶蓋飛行軌跡 (4k 每秒960P)
3	PROVA風速計	用來確認實驗環境的風速影響。
4	12W LED坎燈	補光用，讓錄影影像不會閃爍。

三、軌跡模擬器

x軸：瓶蓋發射方向

y軸：軌跡模擬器左右傾斜的方向

z軸：軌跡模擬器高度方向



	圖示	優點	缺點
一代紙製		與手擲相比有較高穩定性	無法確認發射時的角度
二代木製		1.精準控制施力大小 2.控制發射時瓶蓋與y軸水平面的傾斜角度	無法控制瓶蓋與x軸水平面的夾角
三代壓克力		可以調整傾斜角度及瓶蓋旋轉角度且摩擦力較小	橡皮筋存在著彈性疲乏的問題，需定期更換
四代壓克力		誤差減少且穩定性提高	瓶蓋旋轉角度無法調整

肆、研究原理與過程

一、研究原理

(一) 虎克定律

虎克定律 (Hooke's law)，是力學彈性理論中的一條基本定律，固體材料受外力作用，在彈性限度內所受外力與單位變形量成線性關係。

(二) 康達效應

康達效應 (Coandă Effect)，亦稱附壁作用。流體會離開本來的流動方向，改為隨著凸出的物體表面流動，並使周圍流體流入此一噴流中。流速快的部分會有較低的壓力，而造成物體運動方向的偏移。

(三) 馬格努斯效應

當一個旋轉物體的旋轉角速度向量與物體飛行速度向量不重合時，在與旋轉角速度向量和移動速度向量組成的平面相垂直的方向上將產生一個橫向力。在這個橫向力的作用下物體飛行軌跡發生偏轉的現象稱作馬格努斯效應。

二、實驗過程

(一) 實驗相關說明：

1 實驗材料資訊：

編號	名稱	規格
1	光滑小瓶蓋	直徑2.4cm，高度1.2cm，重量1.45gw
2	光滑中瓶蓋	直徑2.9cm，高度1.2cm，重量2.03gw
3	光滑大瓶蓋	直徑3.7cm，高度1.2cm，重量3.23gw
4	瓶蓋A	直徑3.1cm，高度1.2cm，重量1.76gw
5	瓶蓋B	直徑3.1cm，高度1.2cm，重量1.91gw
6	瓶蓋C	直徑3.1cm，高度1.2cm，重量2.02gw
7	橡皮筋#14	直徑約2.5cm，線徑約1.5mm
8	橡皮筋#18	直徑約4.5cm，線徑約1.5mm

2 實驗數據處理方式：

每個實驗主題中的小實驗，皆實驗12次。扣除差異較大的兩筆資料後，剩餘十筆資料計算該實驗的數據平均值，用四捨五入法取到小數第二位。本實驗室內部分以風速條件以蒲福風級表定義皆為0~1級(0~1.5m/s)。室外實驗，在蒲福風級表2級尚可維持穩定狀態，3級以上，肥料飛行軌跡會受風力影響，故不建議在3級風力狀態下，使用本作品施肥。

3 前置實驗：

[前置實驗1]：橡皮筋拉力測試

[前置實驗2]：軌跡模擬器穩定度測試

2-1：瓶蓋不旋轉，測試施力大小與落點距離的關係

由此實驗我們得知，當瓶蓋不旋轉時，由於空氣阻力太大，會造成瓶蓋飛行不穩定。每次的實驗結果都不相同。因此施力大小與落點關係的數據，沒有參考價值。

2-2：瓶蓋旋轉，測試施力大小與落點距離的關係

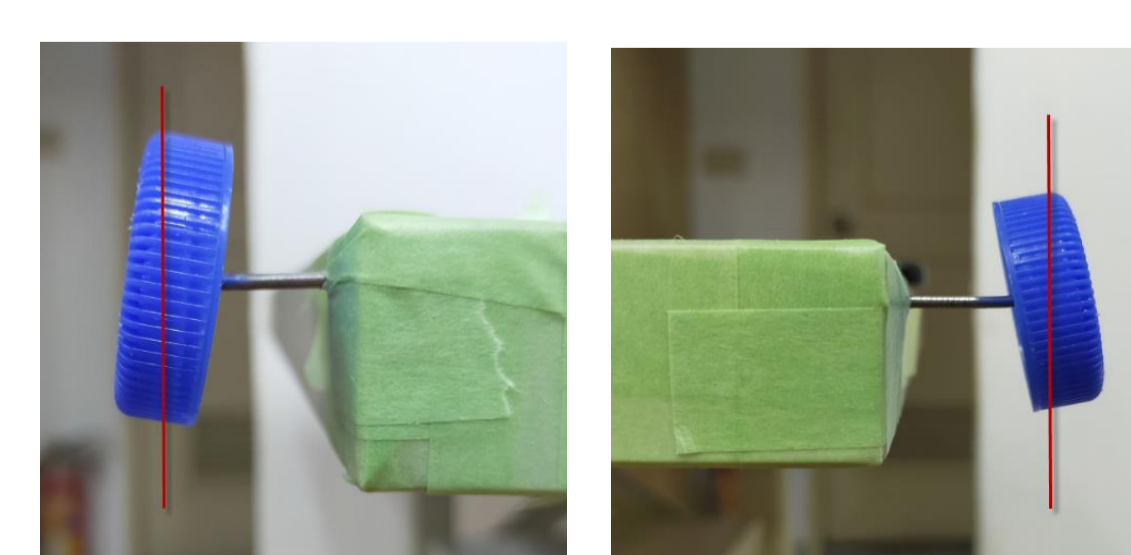
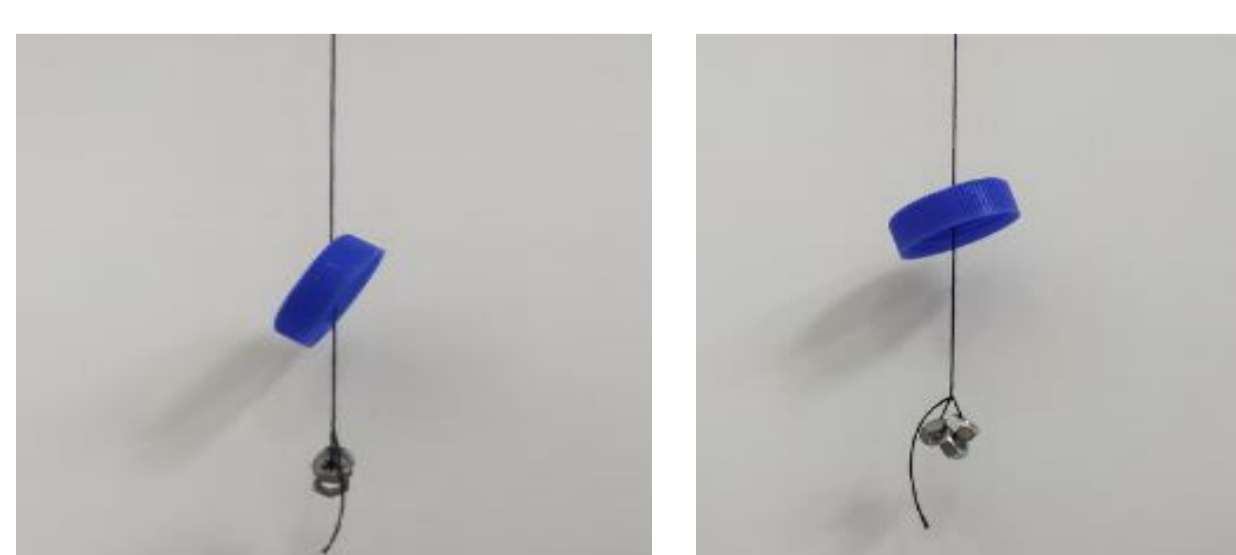
(單位：cm)

[前置實驗3]：飛行物質心測試

3-1：打洞法

3-2：綁線法

3-3：鐵釘法

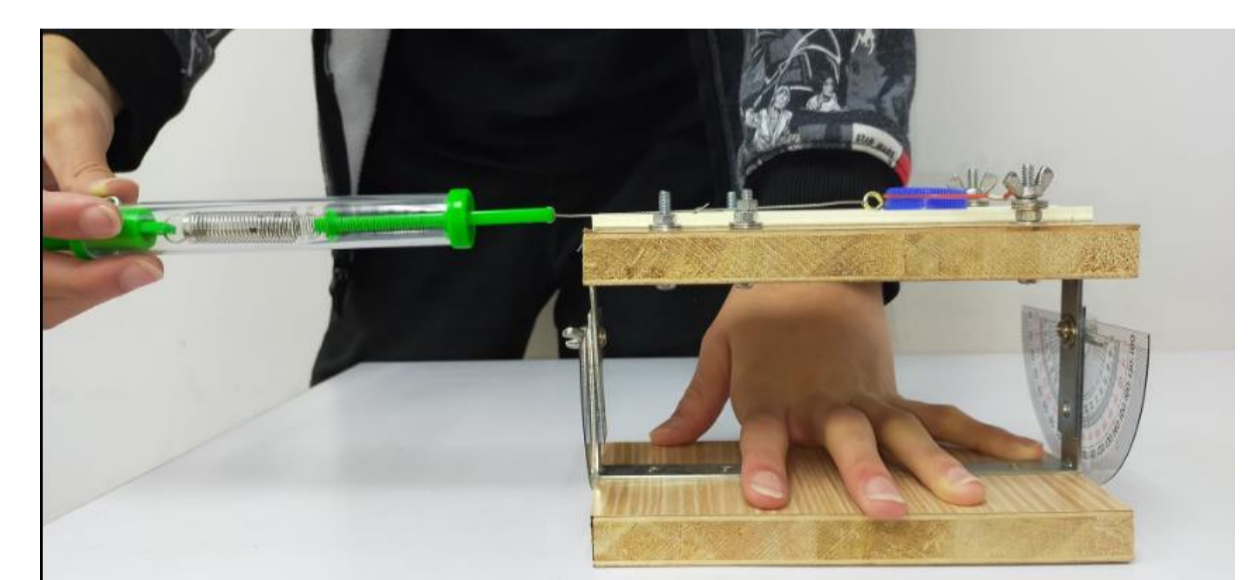
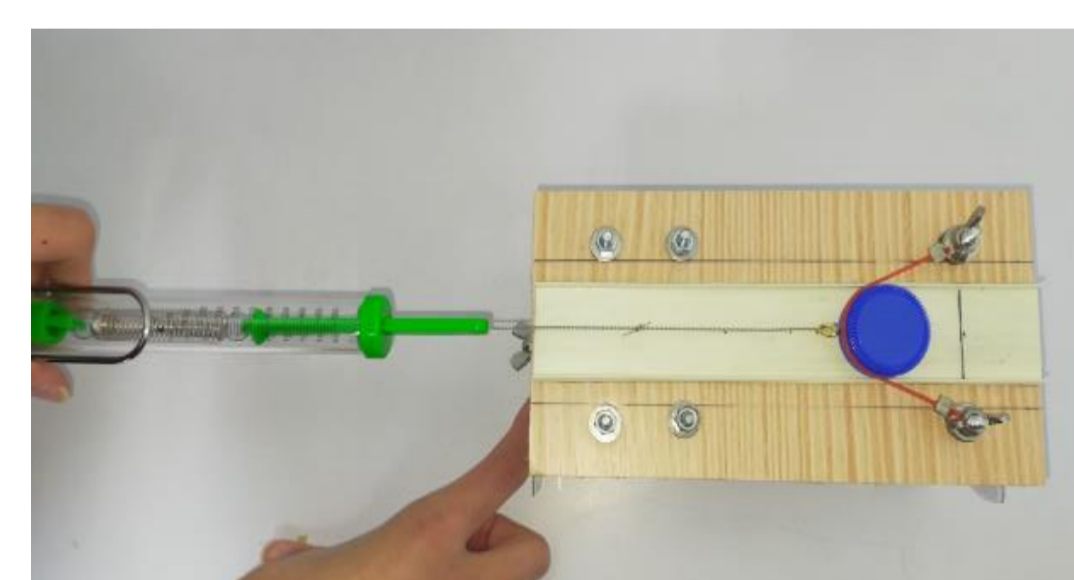


3-1圖形

3-2圖形

3-3圖形

[前置實驗4]：光滑面+無螺紋飛行物



	300gw		350gw		400gw	
	逆	順	逆	順	逆	順
10度	117.32	118.25	162.42	161.87	214.39	214.42
20度	142.51	143.12	196.24	196.35	243.12	244.47
30度	173.14	173.68	224.15	223.87	275.65	275.82

肆、研究原理與過程

(二) 實驗過程

[實驗1]：施力位置與大小對瓶蓋軌跡的影響

[實驗1-1]：施力點不同，瓶蓋的飛行距離

仰角	傾角	旋轉	施力	高度
0度	0度	順10度	200gw	8cm

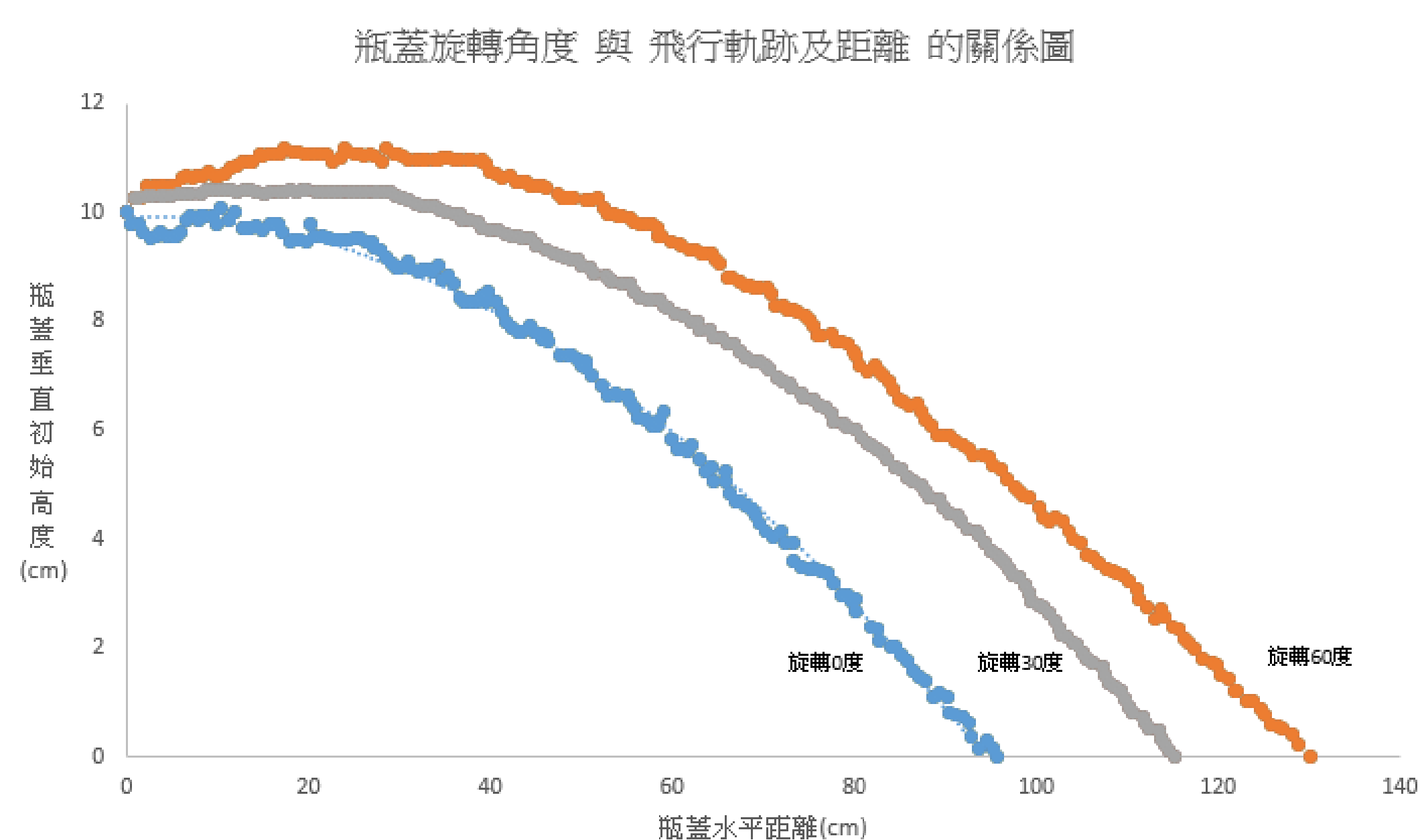
頂部點=距頂部 3mm
中部點=距頂部 6mm
底部點=距底部 3mm



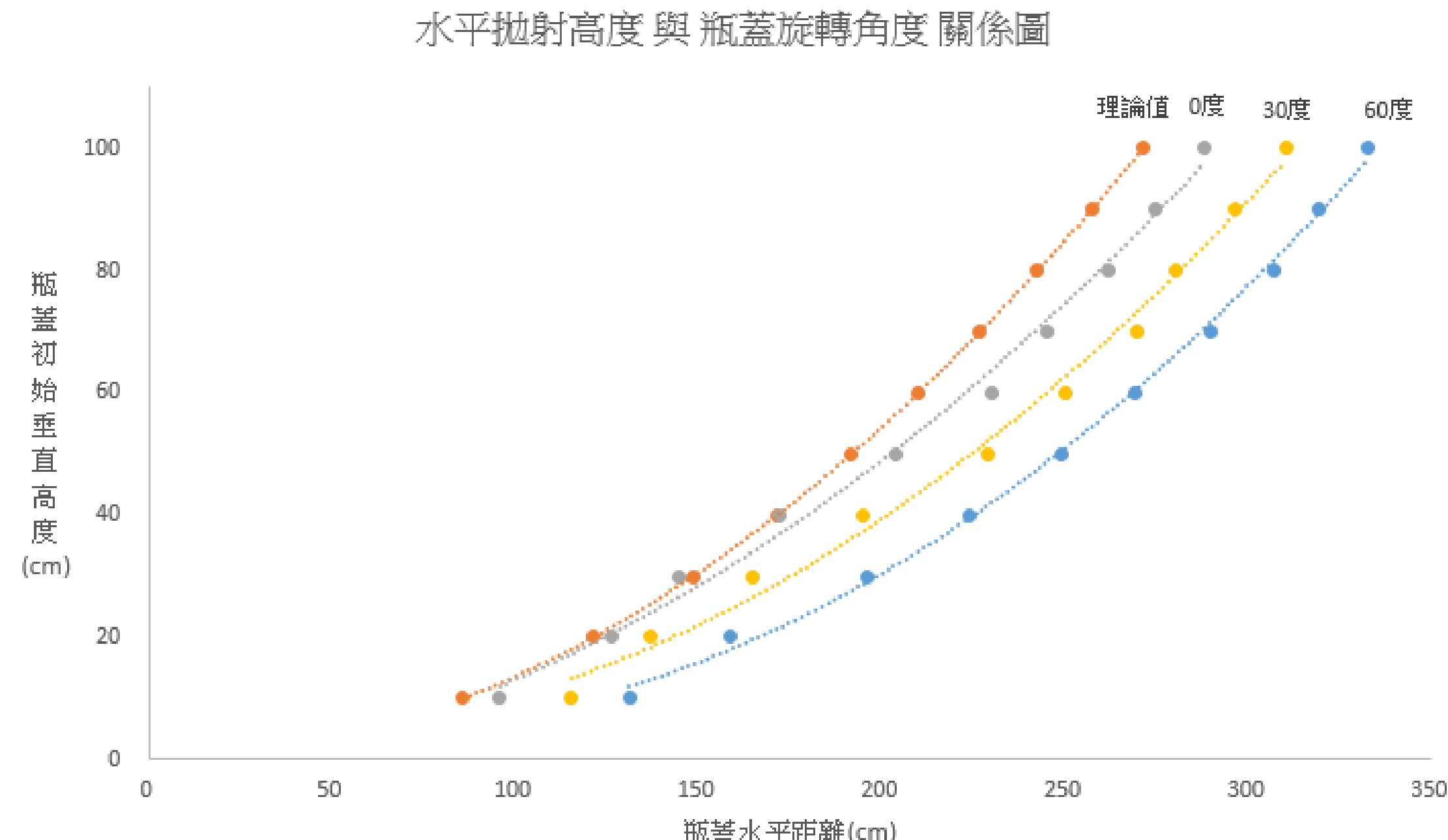
	瓶蓋A	瓶蓋B	瓶蓋C
頂部點	76.24cm	78.00cm	76.25cm
中部點	52.41cm	54.15cm	53.72cm
底部點	X	X	X

[實驗1-2]：外力大小不同，施力點皆在頂部點，瓶蓋的飛行距離

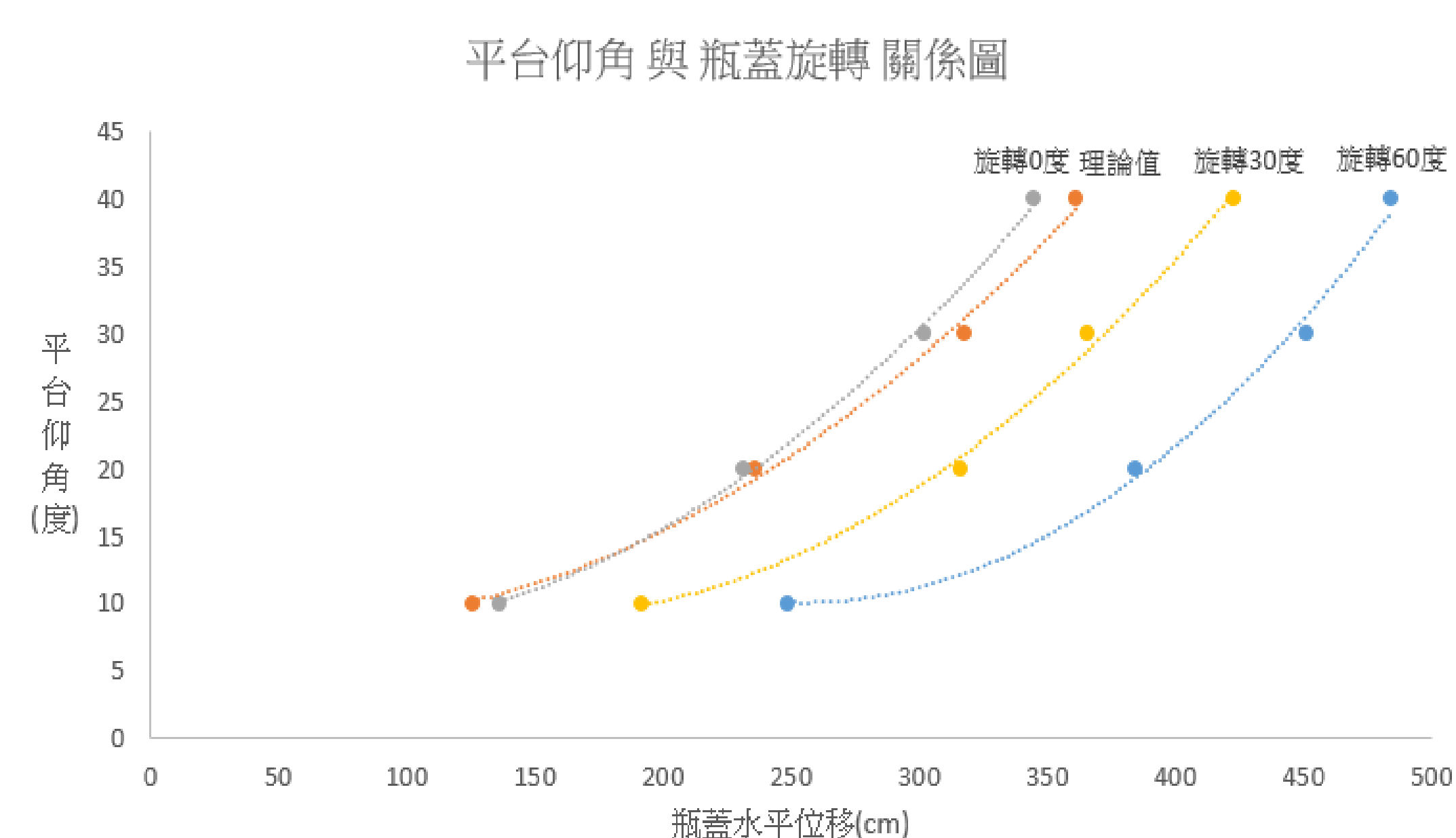
[實驗2]：瓶蓋發射速度與升力的關係



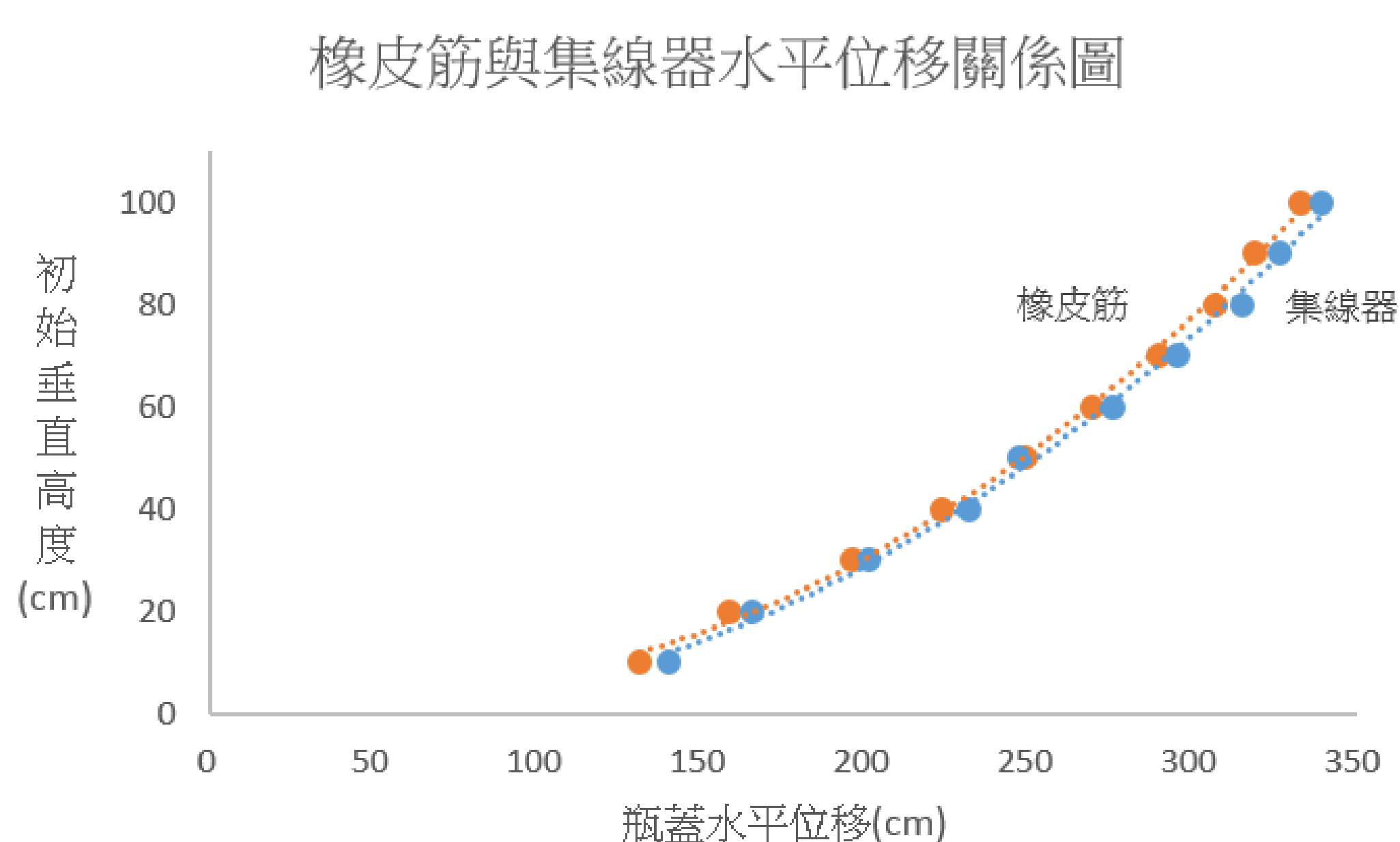
[實驗3]：初始高度及水平位移的關係



[實驗4]：仰角角度對瓶蓋軌跡的影響



[實驗5]：集線器與橡皮筋的關係



伍、討論與結論

- 【討論一】：施力大小與位置對瓶蓋軌跡的影響
- 【討論二】：施力方式對瓶蓋軌跡的影響
- 【討論三】：瓶蓋初始轉速對瓶蓋軌跡的影響
- 【討論四】：模擬器平台仰角對瓶蓋軌跡的影響
- 【討論五】：不同外力來源對瓶蓋軌跡的影響

柒、應用及未來展望

【跨領域】

本研究的内容，結合了以下幾個領域的知識。並藉由各領域的專長。達成了精準且有趣的應用。

	數學	物理	機械	電機電子	資訊	多媒體攝影	分析軟體
用途	數據分析	理論分析	模擬器機構	模擬器角度調整	控制 伺服馬達	實驗影片錄製	影片分析數據分析

【創新性】

藉由常見的寶特瓶蓋，作為被觀察者，並藉由簡易的壓克力材料作為模擬器機構，並以高中生容易接觸到的arduino UNO+伺服馬達，作為控制器。讓模擬器平台達成自動調整的目標。以極為低廉的成本，以及日常隨手可得的瓶蓋，卻能精準地物體飛行軌跡的模擬，可以做為物理課程演示的教具，創新性極高。

【應用】

由本研究之結論，目前已經實現下列五種應用：

- 『第一種』：取代現有孩童的玩具槍
- 『第二種』：物理老師的課堂演示教具
- 『第三種』：簡易發球機
- 『第四種』：平價版施肥機
- 『第五種』：驅鳥機

【未來展望】

未來我們將持續研發，希望能將發射方式做修正，改用集線器作為施力來源，可以更加精準控制施力的大小及穩定度。從單發改成連發；從手動控制，改成電動發射，朝向自動裝填、並藉由arduino控制板達成程式輔助投放的目標。甚至可以用來作為簡易的飛彈或子彈的飛行軌跡模擬器。

柒、參考資料

- (01) プラスチック最強決定戦 <https://reurl.cc/Qdbj75>
- (02) 康達效應 <https://reurl.cc/NjRpXm>
- (03) 馬格努斯效應 <https://reurl.cc/pdMWgd>
- (04) 張以侑、張袞德、吳依庭(2018) 如何飛向他的心-撲克牌之飛行軌跡研究。取自第58屆中小學科展報告。
- (05) Merle C. Potter. Mechanics of FLUIDS. second edition