

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生活與應用科學科

## 第二名

080815

快打旋風-快打好手培育旋風計畫

學校名稱：臺北市萬華區私立光仁國民小學

作者：	指導老師：
小四 張竣翔	陳韋宇
小五 黃羿寧	甘雅嵐
小五 鄭乃嘉	
小四 洪瑄徽	
小四 江杰倫	
小四 夏睿謙	

關鍵詞：自動發球機、白努力定律、打擊練習

# ~ 快打旋風-快打好手培育旋風計畫 ~

## 摘要

本研究在於研發一個自動發球機，不但能夠發球，並發出各式的旋球，並可以隨時調整發球的速度，我們希望可以實際的運用在棒球還有桌球的練習上，讓大家有一台最棒的打擊練習機器。在製成了初代的發球機後，同學們想要讓發球機具備更完善的功能，於是經過不斷的討論與試驗，運用了許多生活上可以取得的材料，克服了手動才能發球的問題。

## 壹、研究動機

台灣之光王建民因為『伸卡球』揚名國際棒壇，引起了我們想要研究『伸卡球』的興趣，什麼是『伸卡球』？『伸卡球』為什麼會突然往下墜？是什麼原理造成棒球會轉彎？要如何控制棒球的轉向呢？投手要怎麼投才能投出伸卡球？也許經過我們這次的研究，將來在台灣的棒壇就可以培養出更多個像王建民一樣優秀的投手，在世界各地為台灣爭光。

## 貳、研究目的

- 一、藉由探討變化球的原理來理解物理原理『白努力定律』。
- 二、製作發球機，驗證『白努力定律』，球的旋轉方向是否真的會影響球軌跡的行進方向。
- 三、可否能改良初代發球機，擁有更完備的功能？
- 四、在棒球與桌球練習效果如何？

相關教學單元：空氣與風(三上)、通電玩具(四下)、簡單機械(六下)

## 參、研究設備器材

研究設備及器材：

一、製作發球機所需材料：

					
木塊	鋸子	熱融槍(膠)	電池座	厚紙板	電動起子
					
輪胎	魔鬼氈	馬達	螺絲	慢速齒輪組	電池

二、作竹架所需材料

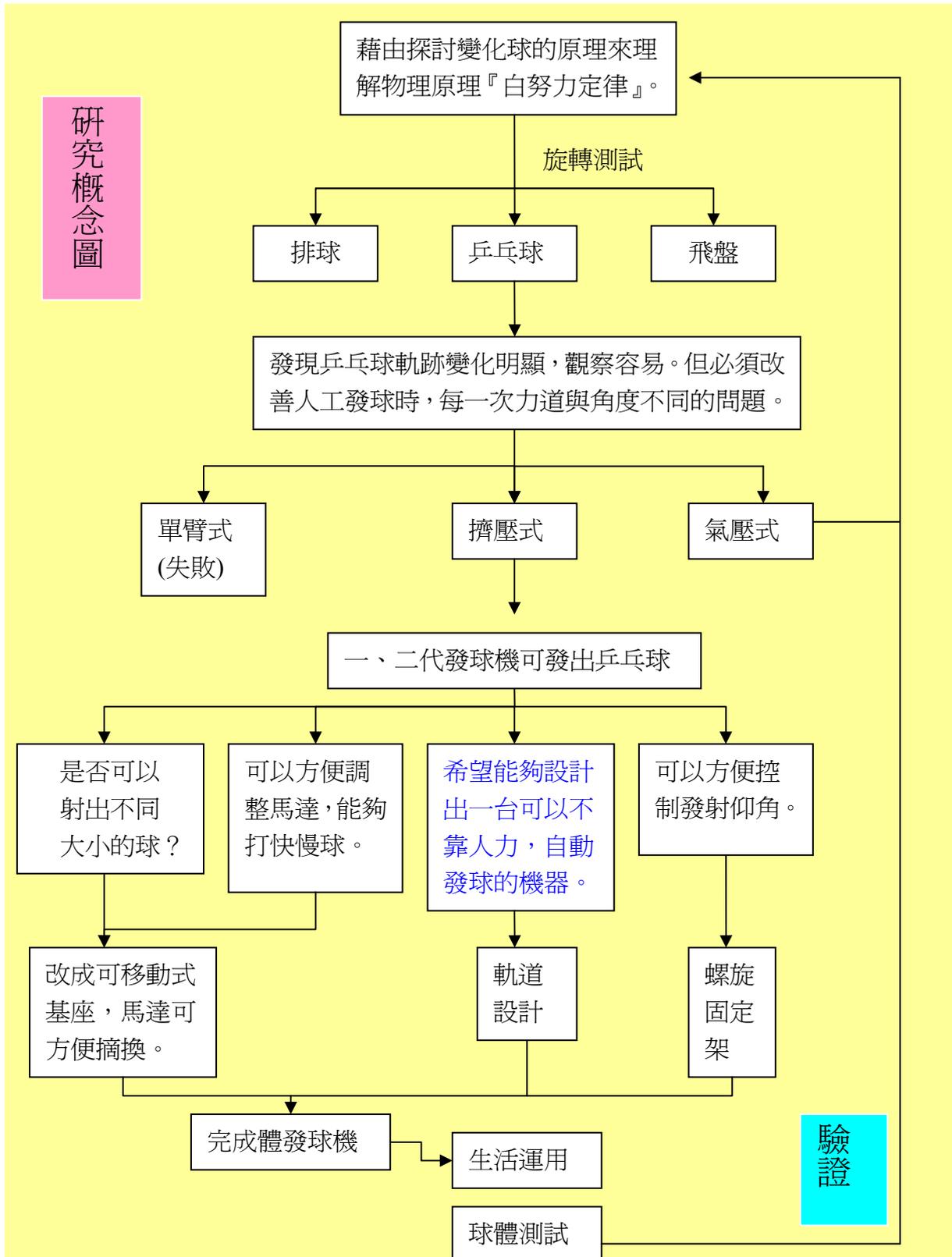
三、調整發球機仰角所需器材

					
竹筷	橡皮筋	紙捲	量角器	木板	螺旋固定架

四、測試發球機所需材料

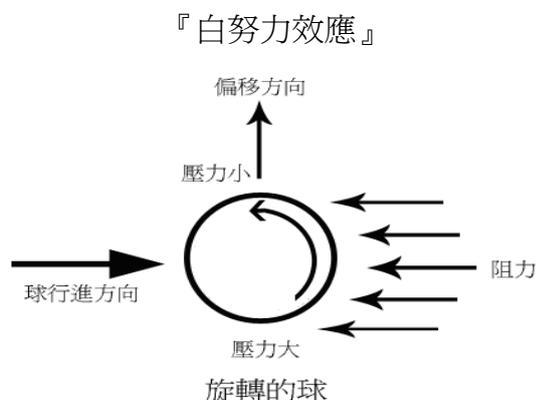
			五、統整科展資料所需器材
捲尺	標地物	乒乓球	相機、攝影機、個人電腦

## 肆、研究歷程



## 實驗一、藉由探討變化球的原理來理解物理原理『白努力定律』。

在蒐集變化球資料的同時，我們學習到變化球主要是受『白努力效應』的影響，也就是球體轉速快的方向，氣流速度會加快，而氣流速度快的時候空氣壓力就變小，壓力大的方向就會往壓力小的方向推擠，因此球軌跡會出現偏移的現象。



於是我們了解『白努力定律』之後，想驗證球的旋轉方向是否真的會影響球軌跡的行進。

### 實驗主體的選定

一開始我們使用硬式棒球來做測試及軌跡觀察，投了幾球後發現幾個問題：

1. 棒球重量太重，我們投出去的球力道不強，看不出球的軌跡變化。
2. 我們不會投變化球，不知道如何控球。
3. 要看到棒球的軌跡變化，需要發球機或棒球投手來投球，租借條件難度高。

因此我們決定另選棒球以外的球類來做為實驗主體，以求達到研究的目的與提高實驗的正確性。

### 方法與步驟說明

1. 在籃球場上用白色膠帶在地面上分出 A、B(左右)兩區
2. 發球者站在中間的地方發球，每一種球類左旋(逆時針方向)與右旋(順時針方向)各發 5 次。
3. 體驗發球的難易度並觀察球軌跡的變化與轉向。

### 實驗主體球類篩選的測試

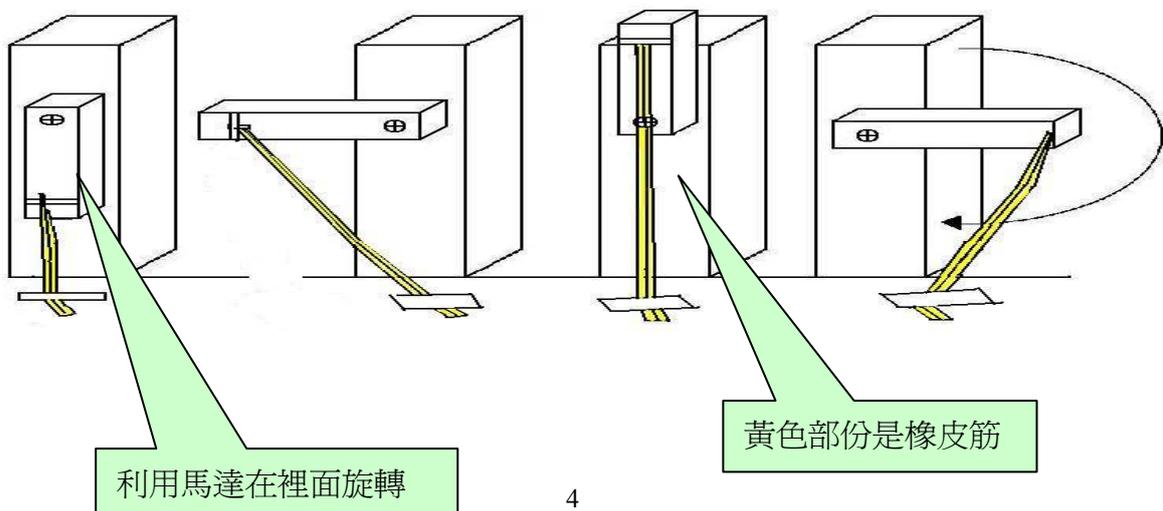
類別	優缺點	難易度	實驗照片
A. 排球	優點: 重量比棒球輕、體積大。  缺點: 人工發球失敗率高，軌跡變化不明顯。	▲	

B.乒乓球	<p>優點: 體積小、重量輕，容易控制旋轉方向，軌跡變化明顯，觀察容易。</p> <p>缺點: 重量輕容易受風的影響，需在室內實驗。</p>	○	
C. 飛盤	<p>優點: 重量輕，容易控制旋轉方向，軌跡變化明顯，觀察容易。</p> <p>缺點: 只能左右旋轉，不能上下旋轉。 人工發球容易失敗，非球類形狀。</p>	▲	
測試結果	<p>發現乒乓球是最容易控制其旋轉方向，球的軌跡轉向也最明顯，因此決定選乒乓球作為實驗主體的球類。但是必須改善人工發球時，每一次力道與角度不同的問題，於是我們想到是否可以自己製造一台發球機，利用機械動作發球，來提高實驗結果的正確性。</p>		

實驗二、製作發球機，驗證『白努力定律』，球的旋轉方向是否真的會影響球軌跡的行進方向。蒐集發球機的資訊，了解其構造與原理。我們從網頁上搜尋到幾個種類的發球機，主要分成『單臂式』與『雙輪式』兩大類。

### 單臂式發球機構想：

我們發現單臂式的投球機，在把球射出的同時，會有一個很強的加速產生，但是我們沒有找到相關原理的資料，曾去詢問棒球打擊場，也沒有辦法得到一個完整的答案，後來經過討論，如何在發球的同時產生一個加速度，我們想出了一個構想，利用橡皮筋的拉力來把球給打出去。



實驗結果：

一般的小馬達根本拉不動橡皮筋，所以我們特別去找了遙控飛機的馬達來拉我們的橡皮筋，我們把馬達的頭裝上一個大齒輪，並黏一根竹筷，再把一條橡皮筋黏上去，但是若橡皮筋太短，則拉不起來；太長則一下子就纏繞了好幾圈，主要原因是因為馬達轉速實在太快，目前還未研究成功。

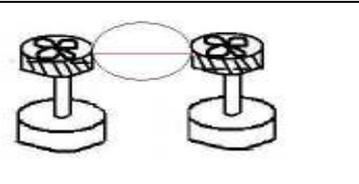
雙輪式發球機構想：

動機：

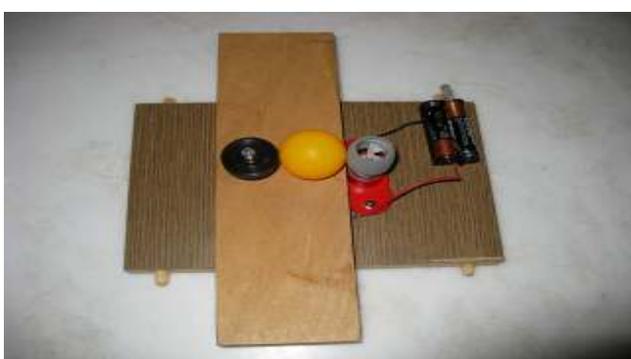
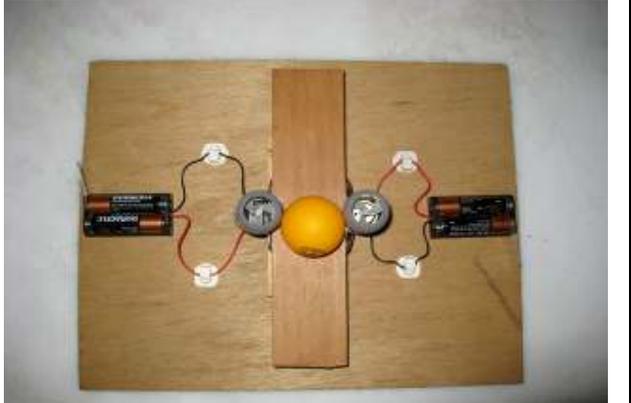
在網路上看到的許多雙輪式發球機，是讓兩個大輪胎旋轉擠壓球讓它飛出去；我們試試看把大的輪胎改成玩具車的小輪胎，再利用老師上課讓我們使用過的小馬達，看看是否可以把乒乓球給射出去，結果發現真的可以把球給發射出去耶！緊接著我們就把我們構想給做出來了。

需要器材:動力馬達、玩具車輪胎、電池盒、發射平台木板

在射球的過程中，我們發現馬達和輪胎需擠壓到球心，球才能夠射的遠。  
於是我們決定在馬達和輪胎中間加上木板來克服這個問題，如下圖：



自製發球機

<p>第一代發球機:單輪式(一個輪胎)</p>	<p>優缺點</p>
	<p>測試結果:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 馬達只能轉一個方向，無法滿足所有實驗項目。</li> <li>2. 發球力道不足，無法讓球黏在紙上。</li> <li>3. 待改善點:A.增加馬達轉向 B.增加夾球摩擦力(增強射出力量)</li> </ol> <p>接著我們把輪胎換掉，再加裝一個馬達</p>
<p>第二代發球機:雙輪式(兩個輪胎)</p>	<p>優缺點</p>
	<p>測試結果:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.發球力道從第一代的 50cm 進步到 150cm</li> <li>2.增加一顆馬達後，可發出不同旋轉方向             <ol style="list-style-type: none"> <li>A.球沒旋轉(兩個馬達都開)</li> <li>B.右旋球(只開左側馬達)</li> <li>C.左旋球(只開右側馬達)</li> <li>D.下旋球(將發球機立起來與桌面垂直)</li> <li>E.上旋球(將發球機立起來與桌面垂直)</li> </ol> </li> </ol>

實驗三、可否能改良初代發球機，擁有更完備的功能。

(1)設計如何射出不同大小的球？可否輕易更換馬達？

動機：

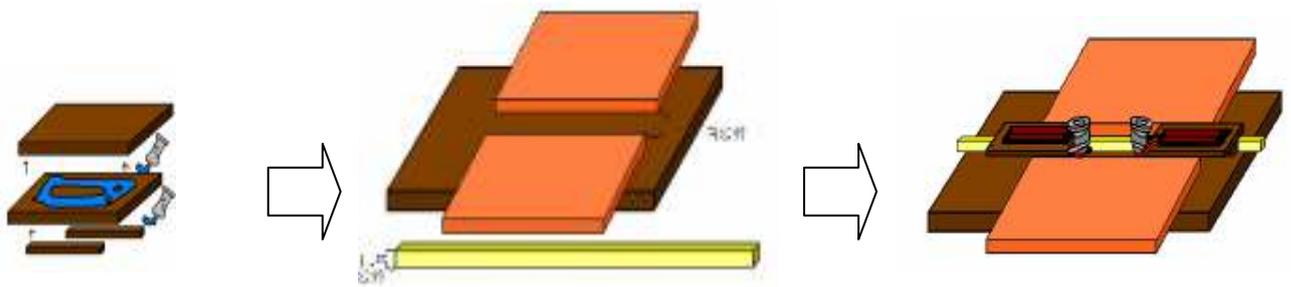
我們想要改良我們的發球機，使它擁有更多的功能，例如可以發出不同大小的球，或是方便可以換馬達。

我們第一代及第二代發球機，馬達和馬達之間的距離是固定不能動的，但是我們也想要試試看除了乒乓球外還可以發出別的球嗎？可以任意調整馬達之間的距離，馬達變成是要可以移動的，但也不能讓它騰空，並需要穩固，於是我們想到做出一個可以任意移動的基座。

<p>基座固定</p> <p>1 木板 2 馬達 3 電池 4 電池座 5 螺絲 6 鋸等 7 膠紙(有黏膠)</p> <p>問題：沒有強力馬達</p>	<p>小馬達 電池座</p>	<p>這是我們一開始的構想草圖，我們想要做出一個可以移動的基座，並把我們的馬達放在上面，而基座可以在木板的溝槽中移動。</p>
		<p>爲了讓基座更穩固，我們原想在兩旁打洞，利用鎖螺絲的方法來固定，但後來覺得調整時挺耗費時間的，所以沒有使用這個想法。</p>

<p>電池</p> <p>馬達</p>	<p>基座設計：</p> <p>如圖左；原本在第一、二代發球機的時候，電池是固定在大片木板上，但若是我們做成可以移動式的，電線也要跟著拉長縮短，就顯的十分不方便，於是乾脆把電池座黏在基座上，便解決了這個問題。馬達原本要裝在基座上方的，但是會擋到接電線的接口，於是我們把馬達接在側邊。</p>
	<p>這是凸出的木條當作滑軌</p>

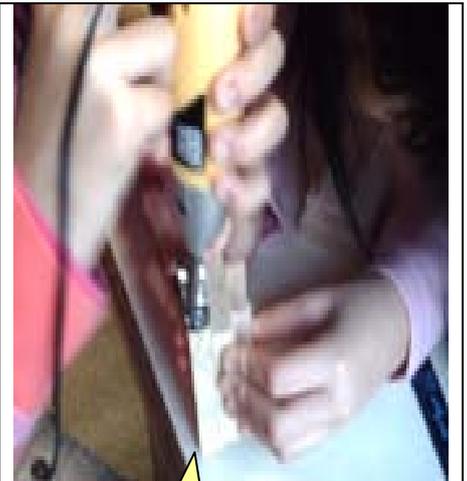
我們想出了以下的設計：



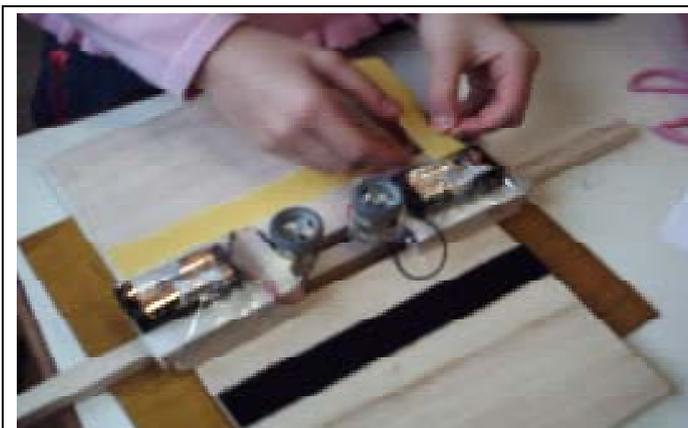
以木條大小為準，兩旁黏上薄片木板當作滑軌。



兩個基座上的馬達需對準才能鎖上。



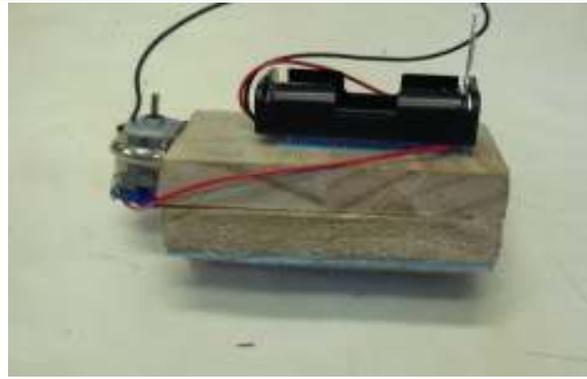
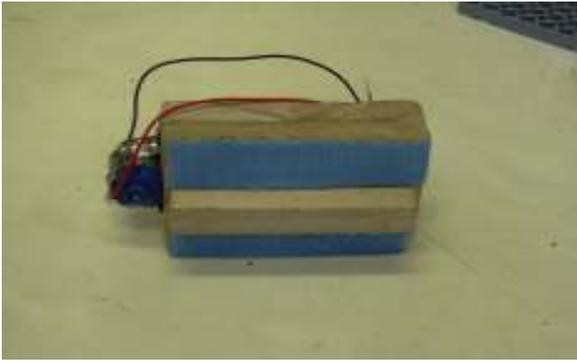
鑽螺絲於木板時，螺絲和木板一定要保持垂直才行呢！



我們想到利用魔鬼氈來替代鎖螺絲的方法，於是在軌道兩旁黏了魔鬼氈，再從基座上黏上另外一條去氈黏。

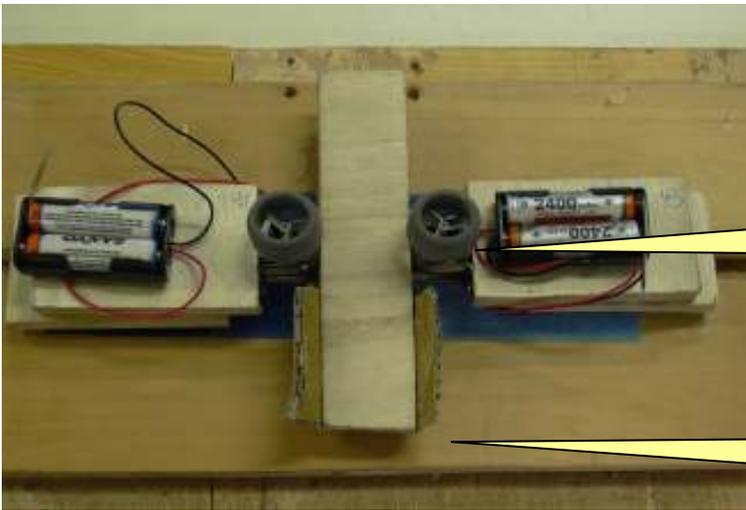
優點：已經可以方便拆換馬達，並可以射三個種類的球。

缺點：基座並不是很穩固，於是我們改在基座下黏魔鬼氈。



於底座下方黏上魔鬼氈，而我們也把滑軌從凹式的改為凸式的。

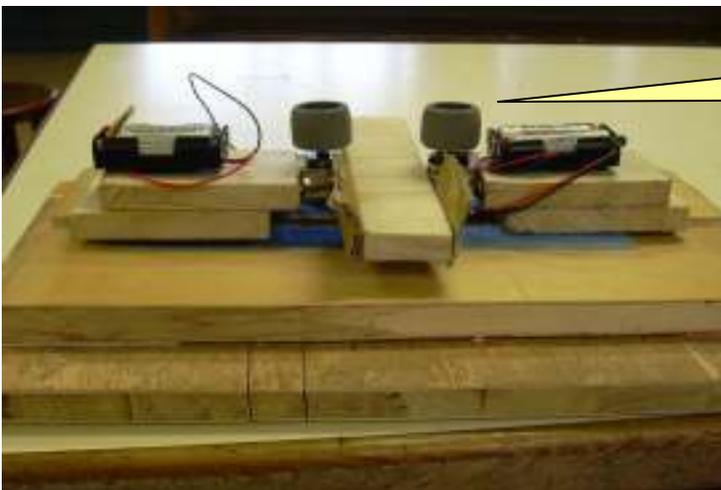
上方的電池座不再用膠帶固定，改為魔鬼氈。我們的每一個小馬達都預先做好一個基座，當想要換馬達時，只要拆換基座就可以了。



可以射不同大小並可拆換馬達的發球機完成了！

兩個基座上的馬達需水平對齊。

兩旁的紙板可以幫助球穩定的前進。



兩個基座上的馬達需等高。

輪胎選擇：

我們也收集了各式的輪胎，如下圖



研究結果：

1. 硬的胎皮無法達到擠壓馬達效果。
  2. 輪胎半徑影響球的飛行距離，半徑越大輪胎飛行越遠。
- 左一、左二輪胎效果差異不大，輪胎寬度並無顯著影響，之後我們選定左一為實驗輪胎。

輪胎樣式	胎皮軟硬	半徑 (cm)	平行發射距離	效果
右一綠色	硬	1.2	28cm	劣
右二彩色	軟	1.1	380cm	次優
中間橘色	硬	1.1	18cm	劣
左二灰色	軟	1.4	465cm	優
左一灰色 (較寬)	軟	1.4	470cm	優

(以上為五次平均)  
四捨五入到整數位

球類選擇



球類樣式	直徑 (cm)	平行發射距離
右	3.7	468cm
中	4.9	450cm
左	6	160cm

(發射距離為五次平均)  
四捨五入到整數位

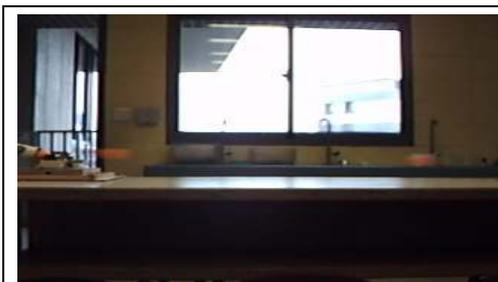
研究結果：

越大的球所射出距離越近，且馬達的力量不足以帶動較重的球，但比乒乓球直徑大 1.2cm 的塑膠球射程效果只比乒乓球差一點，算是效果不錯。

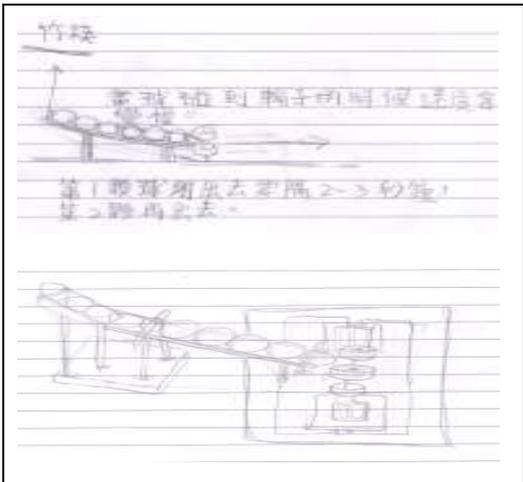
(2)軌道設計：

動機：

我們做軌道的用意是想要讓我們的機器可以自己發射球出來，而不用靠人力去操控，而且我們面臨的第一個問題是該如何讓我們的球可以相隔一小段時間來發射，這樣我們在打球的同時才能有充裕的時間去準備打下一顆球。

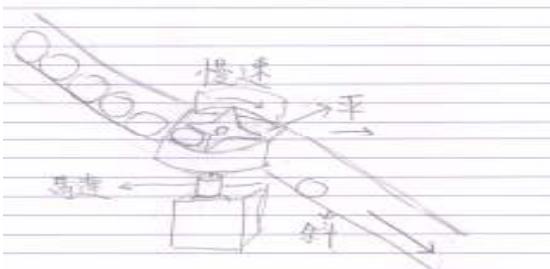
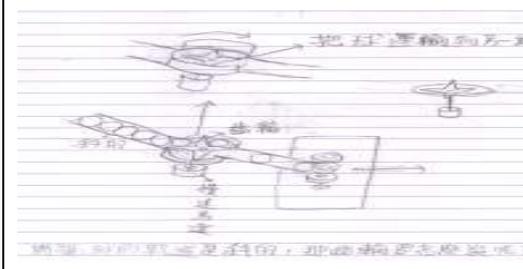


若是直接做一個球道接到發射口，讓裡面的球自然滾下來，會連續的發射。不能讓擊球的人有充分時間準備。



這是我們討論的原始構想圖，希望可以讓球依序的跑到我們的出球孔，但是還沒有辦法讓出球時間有一個間隔出現。

於是我們想到了，要在軌道間有一個地方是可以幫助我們把球給暫時停住的。



若是在軌道上裝一個慢速馬達，可不可以暫時幫我們把球給擋住呢？而這個馬達若是斜斜的插在軌道上是很難固定的。

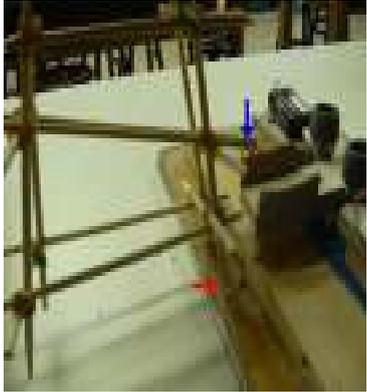
我們決定做一個圓盤，把慢速馬達接在圓盤內，再把馬達固定在一个箱子上，看看球有沒有辦法被有間隔的隔開。



試驗結果：

若一顆顆放球可以利用原盤來改變球掉落的間距，但是若是讓軌道的球自己連續掉落，則沒有辦法將球和球分開。

我們當中有一位愛逛玩具店的同學提議，有種類似電動樓梯的玩具，似乎可以把球有間隔的分開，於是我們就買來試驗，再加上我們的構想把它們結合在一起，成果如下：

	<p>藍色箭頭處 測量高度可以讓竹筷軌道接到發球道。</p> <p>紅色箭頭處 打洞讓竹筷插立在發球機上，可方便拆裝。</p>		<p>圖為竹筷軌道連接樓梯玩具</p>
<p>圖一</p>		<p>圖二</p>	
	<p>做出一個竹架可以把紙桶裝入，並在紙筒內裝滿球，連接玩具樓梯。</p>		<p>我們有把玩具給拆開來看過，裡面是利用小馬達帶動一個凸軸去拉動彈簧，再利用它的恢復力敲擊乒乓球。</p>
<p>圖三</p>		<p>圖四</p>	
	<p>乒乓球可以利用重力自己滑進竹筷軌道。</p>		<p>球可以順利的滾進發球道並射出。</p>
<p>圖五</p>		<p>圖六</p>	
<p>這是我們初步的成功，球和球之間的時間為一秒左右，但還是總覺得不太完美，我們不停的找方法來試驗，終於又找到另一個方法。我們被這個玩具啟發了一個概念，如下：讓紙捲的球落下時位於利用四根短竹筷做出的井字形位置，左右被下顆球和木頭卡住，再利用我們的慢速馬達敲擊球滾入竹筷軌道跑入發球位置；紙筒內的下顆球又可以自然落下到同樣位置，等待被敲擊。</p>			
	<p>當球離開固定位置後，下一顆球可以補到上一顆球的位置。</p>		<p>利用慢速齒輪組來敲擊固定位置的球。</p>
<p>圖一</p>		<p>圖二</p>	

	<p>紙筒用竹架固定</p> <p>一顆顆球有間隔的進入發球區。</p>		<p>成功發射了！</p> <p>我們的第三代發球機完成。</p>
<p>圖三</p>		<p>圖四</p>	

研究結果：

終於可以自動發球，不用利用人力控制，我們的自動發球機成功了！真是高興萬分，另外控制發球時間間隔的這個困擾我們許久的問題也得到答案，只要我們把敲擊的力臂加長，時間間隔就可以增加。



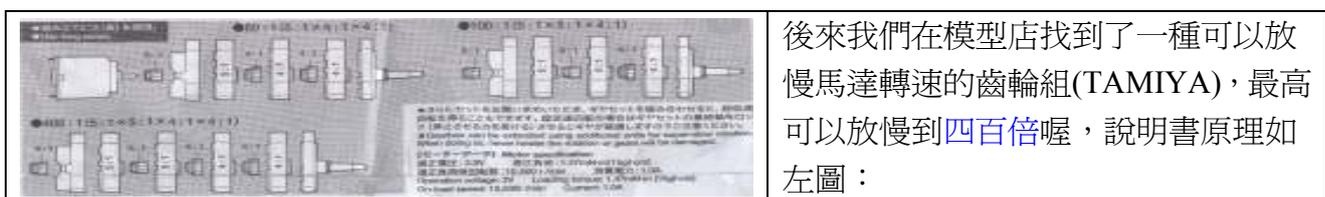
(3) 測量馬達轉速：

動機：

我們想要找出適合當發球機的馬達，所以想要知道我們的小馬達彼此之間的轉速關係如何？而我們的發球機有可能要投出較快或較慢的球，所以我們想先判斷我們的馬達哪些是轉速快？哪些又較慢？是不是轉速快的馬達，擠壓後的射程也較遠呢？又或是找出轉速最快的馬達，再加以調整馬達轉速。

我們在康軒六下的簡單機械單元裡有學過，齒輪是可以改變轉動圈數的，若大齒輪的齒輪數是小齒輪的兩倍，那麼小齒輪轉兩圈等於大齒輪轉一圈，利用此原理可以使得馬達的轉速放慢，但是一般要用這種方法測量會需要很多齒輪數的齒輪才能變慢很多倍，十分的不方便。大齒輪的齒輪數是小齒輪的 5 倍，只能放慢 5 倍速度。

我們也收集資料，實驗了一些從歷屆科展得來的測驗馬達轉速方法如【原子筆劃線】、【電子計算機】的測速法，可以成功測出速度較慢的馬達，但對於速度快的馬達，並不是很適用。



緊接著我們組裝好這個齒輪組模型後，開始測試我們收集來的小馬達。



研究結果：

馬 達 圖 示												
說 明	(編號 1) 藍色圓形小馬達						(編號 2) 普通方形(康軒教具)					
實 驗 次 序	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平均	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平均
測得 1 分鐘所轉圈數。	39	40	40	40	39	39.6	28	29	29	30	29	29

馬 達 圖 示												
說 明	(編號 3) 藍色方形小馬達						(編號 4) 四驅車馬達底部綠色(包裝標示 19900 轉/分)					
實 驗 次 序	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平均	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平均
測得 1 分鐘所轉圈數。	23	24	24	24	24	23.8	45	46	45	45	45	45.8

馬 達 圖 示												
說 明	(編號 5) 四驅車馬達底部灰色(包裝標示 13700 轉/分)						(編號 6) 四驅車馬達全黑(包裝標示 25000 轉/分)					
實 驗 次 序	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平均	第一 次	第二 次	第三 次	第四 次	第五 次	平均
測得 1 分鐘所轉圈數。	32	32	33	32	33	32.4	57	56	56	56	56	56.2

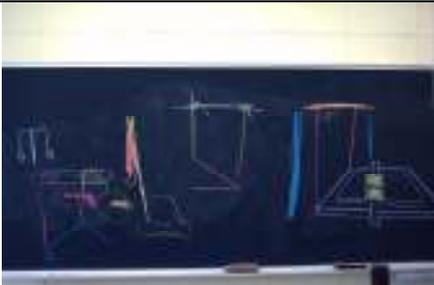
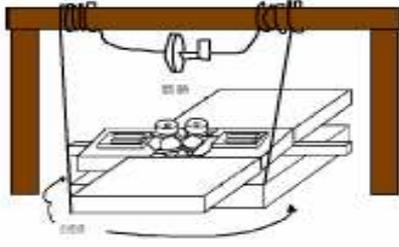
#### (4)球速測定：

##### 動機：

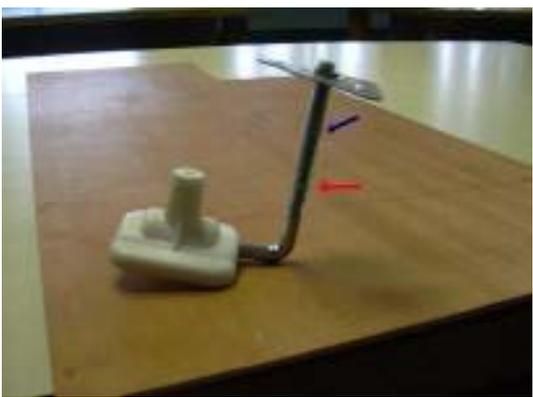
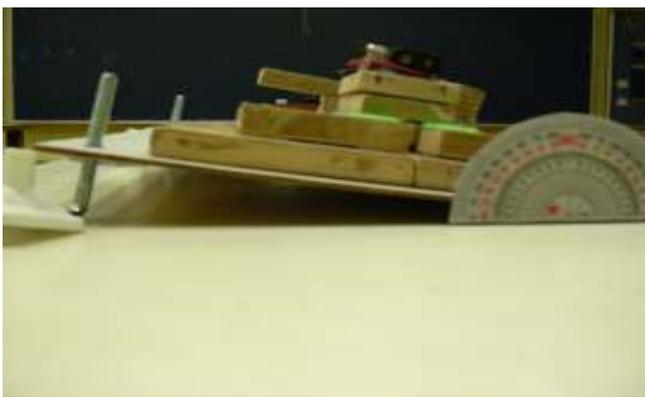
我們想要知道發球機所發出的球有多快？老師告訴了我們一個好用的軟體 VirtualDubMod，它可以幫我們把數位相機所攝影的影片分析成一張張間隔 0.011 秒的照片，如下五張圖是我們最快的馬達所發球的分解圖片：

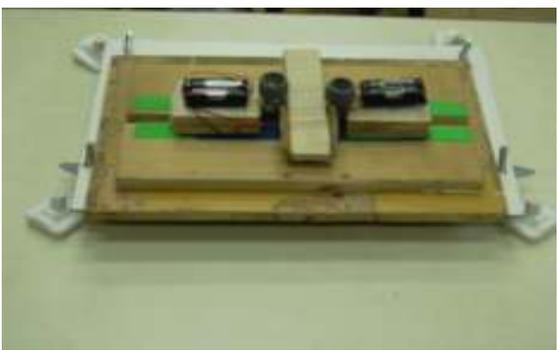
 (一)	0 秒	這六張圖片是球在上升階段的圖片，而第六張圖的球距離發球機為 180cm 左右，依據公式
 (二)	0.011 秒	距離=速度×時間 $1.8(\text{m})=\text{速度}\times(0.011\times 5)(\text{秒})$
 (三)	0.022 秒	速度=32.72(公尺/秒) $=32.72(60\times 60/1000)(\text{公里}/\text{小時})$ $=117.82(\text{公里}/\text{小時})$ (四捨五入到小數點第二位)
 (四)	0.033 秒	前半段的平均速度為 117.82(公里/小時)
 (五)	0.044 秒	利用同樣方法測得後半段平均速度為 98.62(公里/小時)
 (六)	0.055 秒	註解： 黃色部份為乒乓球，第六張圖的球已到達最高點。

(5)希望可以方便控制發射仰角：

		
		<p>這是我們想到的改變發射仰角的辦法，利用輪軸來改變角度，但後來覺得架子佔空間和體積，並不易攜帶。</p>

後來我們使用螺旋固定架

	
<p>藍色箭頭處為十五度，用立可白做記號，紅色箭頭為十度。</p>	<p>我們發現在螺旋固定架上做記號的方法是可行的。當把鐵片轉到十度標記時，測量結果無誤。</p>

	<p>螺旋固定架也可以幫助我們把發球機升高或下降，這在調整桌球發球時很有用。</p>
---	--

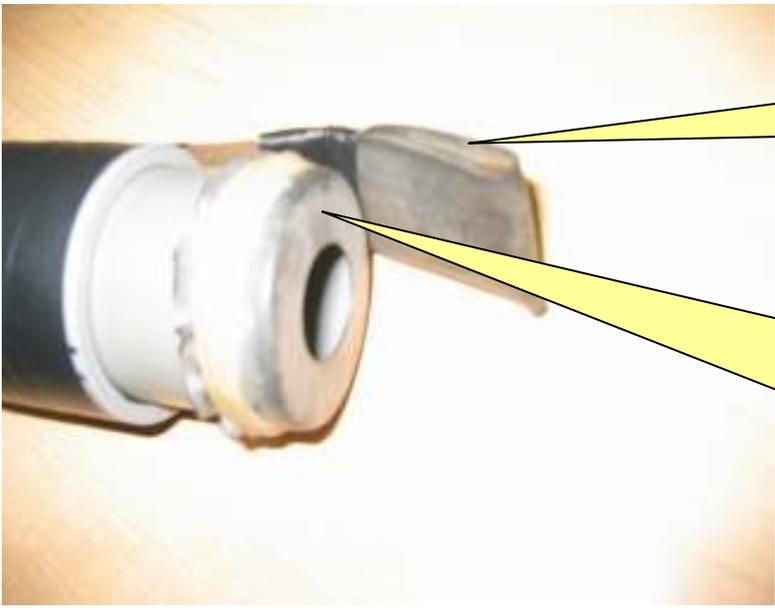
射程研究：

馬達圖示	藍色方形小馬達						四驅車馬達底部綠色(包裝標示 19900 轉/分)					
實驗次序	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
利用 <b>400:1</b> 放慢齒輪組測得 <b>1</b> 分鐘所轉圈數。	23	24	24	24	24	23.8	45	46	45	45	45	45.8
投球機 水平發射距離 (cm)	114	125	125	128	130	124.4	476	493	518	524	529	508
10 度角發射距離(cm)	217	213	233	210	228	220.2	613	624	628	639	681	637
15 度角發射距離(cm)	227	248	249	248	251	244.6	668	670	678	682	680	675.6
20 度角發射距離(cm)	269	273	283	284	288	279.4	690	693	693	700	698	694.8
25 度角發射距離(cm)	285	292	293	298	298	293.2	683	678	682	686	688	683.4
30 度角發射距離(cm)	256	282	291	304	314	289.4	713	706	708	710	712	709.8
35 度角發射距離(cm)	241	261	261	270	263	259.2	714	715	718	714	720	716.2
40 度角發射距離(cm)	222	230	228	227	228	227	610	608	612	606	605	608.2
45 度角發射距離(cm)	216	218	220	214	210	215.6	605	608	610	600	602	605
50 度角發射距離(cm)	196	190	196	192	193	193.4	560	568	562	558	562	562
馬達圖示	四驅車馬達底部灰色(包裝標示 13700 轉/分)						四驅車馬達全黑(包裝標示 25000 轉/分)					
實驗次序	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
利用 <b>400:1</b> 放慢齒輪組測得 <b>1</b> 分鐘所轉圈數。	32	32	33	32	33	32.4	57	56	56	56	56	56.2
投球機 水平發射距離 (cm)	128	130	133	135	135	132.2	702	706	704	692	702	699.6
10 度角發射距離(cm)	179	184	181	181	182	181.4	804	803	800	796	794	799.4
15 度角發射距離(cm)	229	220	230	235	226	228	832	835	829	827	832	831
20 度角發射距離(cm)	301	313	308	310	312	308.8	850	846	846	843	840	845
25 度角發射距離(cm)	318	323	323	328	326	323.6	852	850	854	852	846	850.8
30 度角發射距離(cm)	368	360	364	364	360	363.2	840	842	844	842	840	841.6
35 度角發射距離(cm)	402	403	406	409	400	404	815	813	812	813	808	812.2
40 度角發射距離(cm)	396	390	399	390	400	395	765	762	767	769	767	766
45 度角發射距離(cm)	378	376	374	379	370	375.4	606	614	610	612	608	610
50 度角發射距離(cm)	300	302	296	294	303	299	560	540	548	556	550	550.8

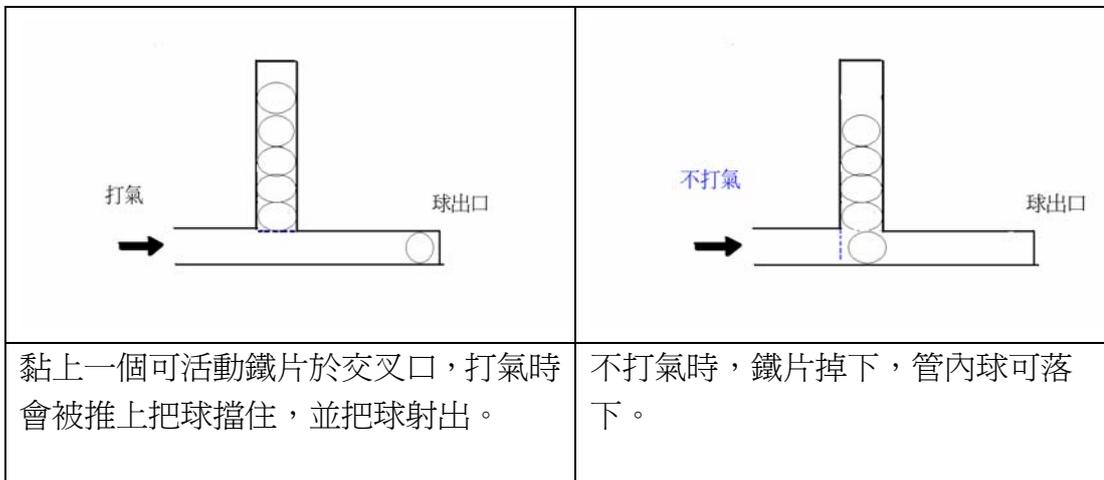
紅色部分代表射程最遠

氣壓式發球機：

我們有在自然課製作過空氣槍，擠壓空氣可以使子彈飛出去，水火箭也可以飛的又高又遠，空氣壓力應該也是一種很好的發球動力，於是我們嘗試把球裝在水管內，並在後面接上打氣筒，球果然也可以飛出呢！既然如此，我們便想到利用機車店幫我們機車打氣的電動打氣機 - compressor來打氣。

	<p>可移動式銅片，當球射出時撞擊它，可以產生旋轉。</p>
	<p>用橡皮套塞住管口，切割一個比乒乓球直徑小 2mm 的圓形，當充氣時球會塞住洞口，等到管內氣壓過大時便會將球射出。</p>
	<p>管後接上可接 compressor 的開關。</p>

但可惜的是它不是自動的，我們好想也要把它改成自動發球機，後來也請問過一些電機方面的專家，討論出一個構想，





實驗器材

我們利用各式的塑膠管，做出上圖的構想，若是能夠自動控制 compressor 開關，就可以造成打氣能停止後再啟動的構想，使球有間隔的發出，於是我們想到利用輪盤上的凸軸轉動來帶動開關，可是旋轉開關的力量要夠大才行。



將遙控汽車的馬達拆下當作動力來源。



圖為遙控汽車的馬達及後輪動力軸



利用皮帶將小圓盤接上大圓盤，使轉速慢四倍。



把大輪盤接在水管上，利用大輪盤的凸軸敲擊開關。

真的很感謝這位電機專家的協助，幫我們用車床製做了大小的輪盤，使的大家討論的構想能夠成功！

利用氣壓式發球機觀察球的旋轉：



觀察結果：球發出時撞擊到左邊銅片，造成逆時鐘旋轉，球路軌跡明顯偏左，符合白努力定律。

#### 實驗四、在棒球與桌球練習效果如何？

##### (1) 棒球打擊：



(圖一) 準備好打擊姿勢，球來了！！



(圖二) 奮力一擊，打中了



(圖三) 哇！全壘打！全壘打！

##### 棒球練習：

若機器在正常情況下，球路能保持穩定，可以當作打擊練習；雖然只能發射塑膠球，但可以練習打變化球，也十分有趣。

PS：圖二、圖三中，球被擊中往上飛。

(2) 桌球打擊：



(圖一)

(圖二)



(圖三)

(圖四)

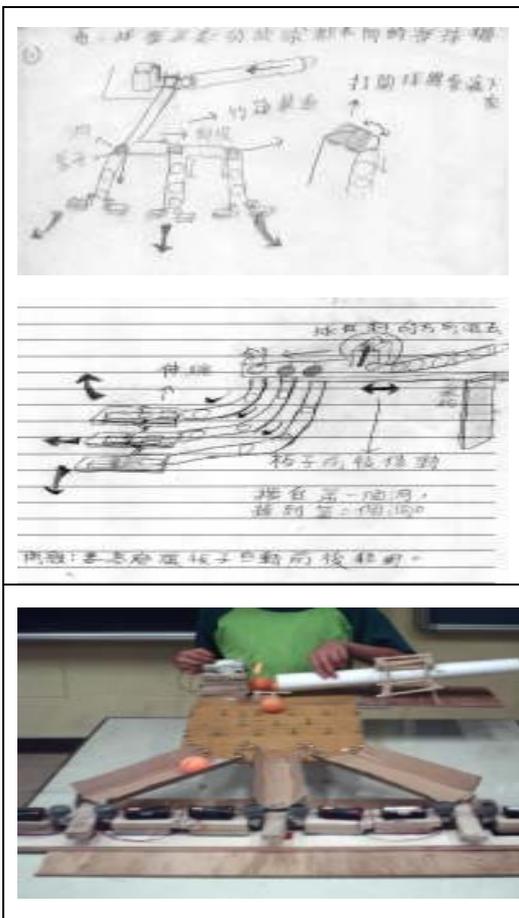
我們的發球機可以發出球貼近網子上緣的強力球，也可以發出快速旋球來磨練自己的球技。當旋球經過桌面彈起時，會有更大的偏移，可不容易回擊呢！

研究發出旋球方法：

方法	出現結果	原因探究
只開單邊馬達	可發出旋球，但是射程很近。	只有一顆馬達力量有限，雖會增加旋轉，但前進力量不足。
兩邊馬達不同，一邊為強力馬達，一邊則較弱。	可發出旋球，並可過網。	兩邊馬達施予的力量不同，造成旋轉。
兩邊馬達相同，但兩邊輪胎不同，一邊較寬，一邊較窄。	可過網，產生旋球效果最理想。	真是幸運，這是我們無意之間試出來的，原因在於兩邊輪胎擠壓時的施力面積不同，產生施力效果不同。

**延伸實驗：(快打旋風進階高手版)**

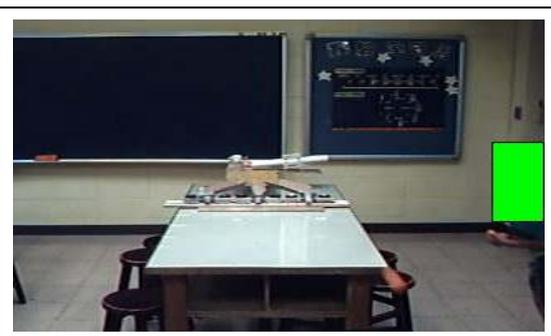
在參加全國科展比賽前，我們先參加了市展比賽，而上次比賽中有一位評審提議說：「我們的發球機若是在打擊時可以不用調整，便能同時打不同球路的球，似乎效果會更好」。於是大家又繼續的研究與構思，結果如下：



這是我們討論的原始構想圖，希望可以讓球跑到我們三個發球位置，但要怎麼樣讓球可以隨機的跑入是我們的一個很大問題。

我們想要做一個可以隨機改變球滾動位置的裝置，我們想利用可以移動的板子來擋住掉落的球，但是讓板子自由移動的方法目前還未有好的構想。

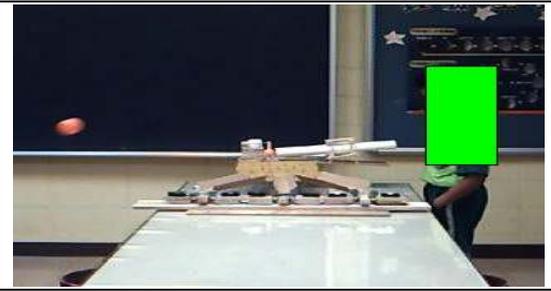
經過大家不斷的討論，我們終於想到了一個可行的辦法。決定做了這個彈珠台軌道。球可以依據不同的路線而到達不同的發球位置，便可以隨機發射三種不同球路的球。



(圖一)

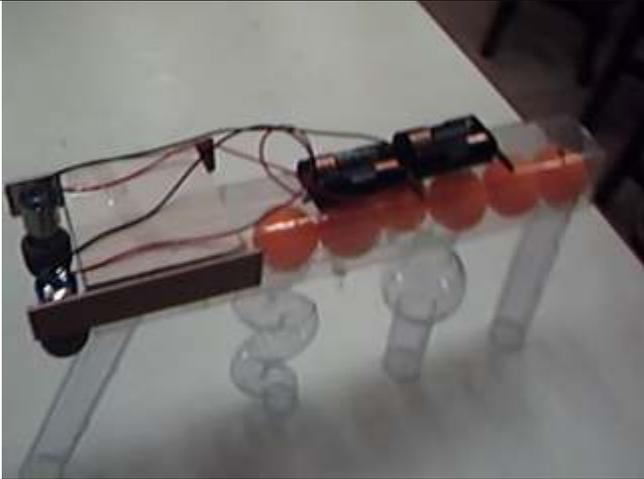


(圖二)



(圖三)

(圖一)：右側球道發出左旋球。  
 (圖二)：中間球道發出快速直球。  
 (圖三)：左側球道發出慢速高飛球。  
 讓輪胎擠壓球的中心偏下緣位置則會射出高飛球

	<p><b>終極武器：噴射槍</b></p> <p>這是我們的創意發明！！ 想看看它的威力嗎？</p>
	
<p>哇！連發攻擊</p>	<p>提高仰角使高度上升</p>

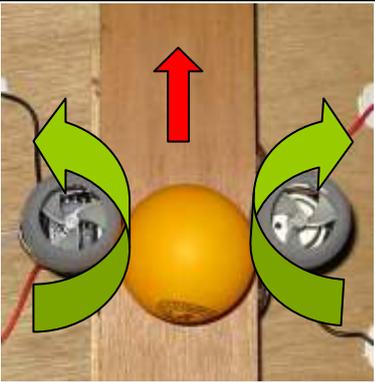
## 伍、研究結果

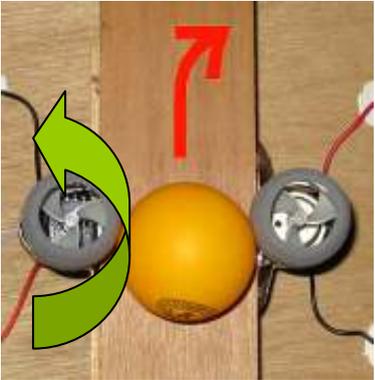
我們爲了觀察及驗證白努力定律，意外的往製作發球機的方向邁進，期間有許多的辛苦及成果，簡單呈現如下：

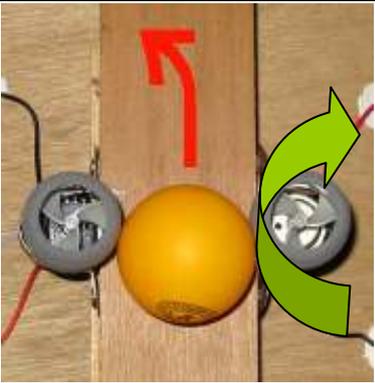
二代雙輪式發球機完成後，我們就著手進行球旋轉方向與軌跡變化的觀察實驗。

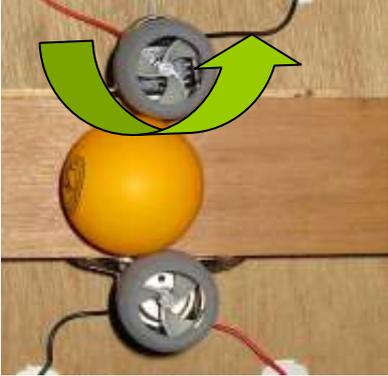
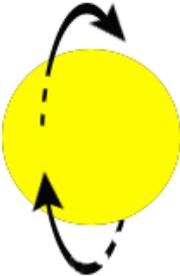
### (1) 球旋轉方向與行進軌跡變化實驗

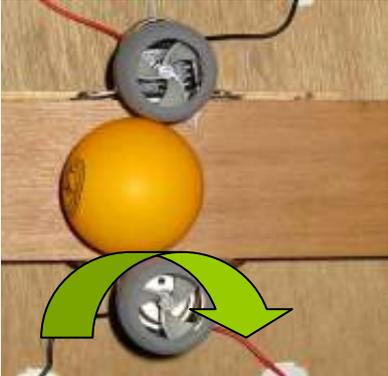
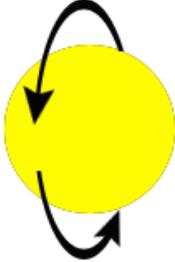
- 1.方法:藉由控制發球機馬達的轉向，來讓乒乓球產生旋轉，並觀察球旋轉方向的不同與球軌跡的偏移變化。
- 2.設置方法：在發球機的球射出起點距離 150cm 處，放置一木板，上面貼一張對開壁報紙，並在紙表面貼滿雙面膠。
- 3.步驟：發球機平放桌面：A 兩顆馬達都開、B 只開左側馬達、C 只開右側馬達  
發球機豎立與桌面垂直：D 只開上側馬達、E 只開下側馬達。
- 4.發射次數：每一種旋轉方式都發射 5 次，並紀錄落球點。

步驟 1---旋轉方式 A		
兩個馬達都開啓	球旋轉方向 球沒有旋轉	球軌跡行進方向 往前直線飛行沒有偏移
		

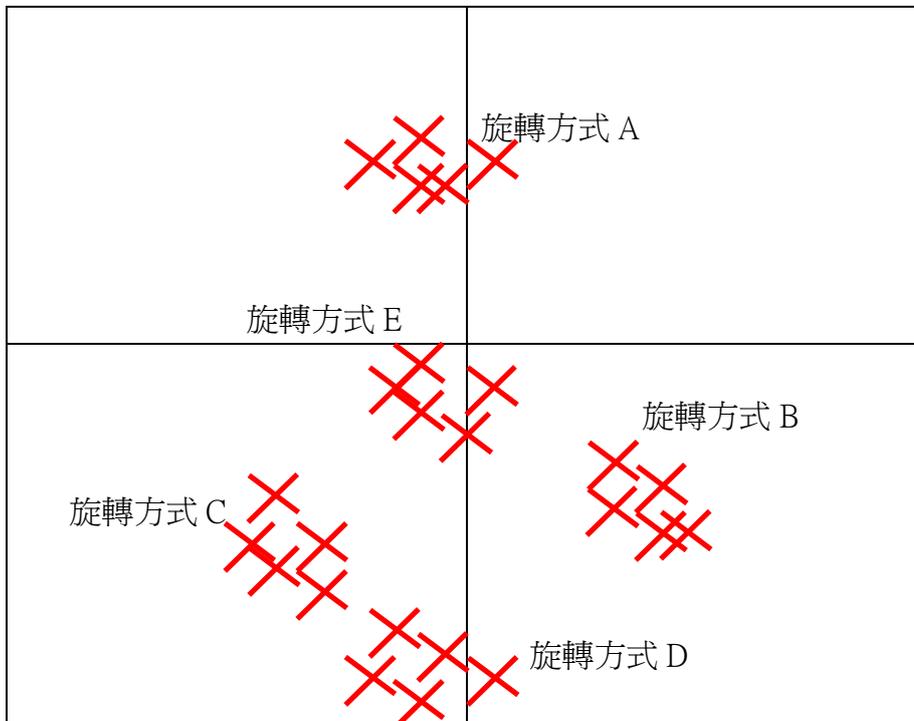
步驟 2---旋轉方式 B		
只開啓左側馬達	球旋轉方向 順時針方向旋轉	球軌跡行進方向 往右側偏移
		

步驟 3---旋轉方式 C		
只開啓右側馬達	球旋轉方向 逆時針方向旋轉	球軌跡行進方向 往左側偏移
		

步驟 4---旋轉方式 D		
只開啓上側馬達	球旋轉方向	球軌跡行進方向
	由上往前方旋轉 	往下方偏移 

步驟 5---旋轉方式 E		
只開啓下側馬達	球旋轉方向	球軌跡行進方向
	由下往前方旋轉 	往上方偏移 

實驗結果記錄



由以上實驗我們學習到，如果可以控制球的旋轉方向，那麼就可以控制球的軌跡轉向

了。也就是各種變化球的球路。

我們根據球的旋轉方向，整理了各種變化球的偏移方向如下表

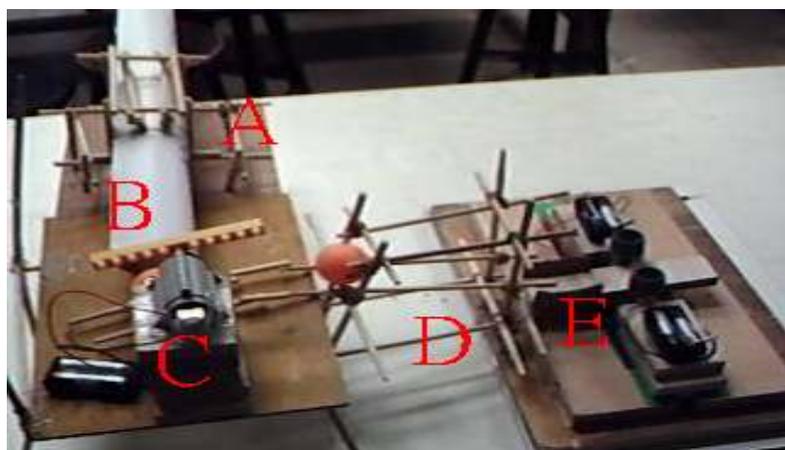
種類	球旋轉方式	球軌跡偏移方向	所屬變化球種類
A	不旋轉	往前直飛不偏移	蝴蝶球(雖球不旋轉，但在球場上會受空氣中的氣流影響，偏移方向不一定)
B	順時針方向旋轉	往右側偏移	內角變化球
C	逆時針方向旋轉	往左側偏移	外角變化球
D	由上往前方旋轉	往下側偏移	伸卡球，下墜球
E	由下往前方旋轉	往上側偏移	上飄球、快速球

※以上方位是以投手看出去的方向為基準，而且內外角是以右手打擊者而言的方位。

### (1) 雙輪擠壓式發球機研究歷程簡述

	目標	解決方法	所遇困難	目標達成
雙輪擠壓式	可發射不同大小的塑膠球。	做出一個可以移動的基座，並把我們的馬達放在上面，而基座可以在木板的溝槽中移動，配合球的大小調整基座距離。	在製作基座上面有一些的難度，首先我們要學會動手切割木頭，在鑽洞固定馬達時，兩邊馬達位置要對齊，常常一不注意就會做成失敗品，大家也是不斷的練習才能完成。	達成
	可以打快、慢球。	當想要換馬達時，只要拆換基座就可以。		
	可以不靠人力，自動發球的機器。	利用我們的慢速馬達敲擊球滾入竹筷軌道跑入發球位置；紙筒內的下顆球又可以自然落下到同樣位置，等待被敲擊。	我們嘗試了許多構想都無法成功，還好大家不放棄的研究下去，終於想到這個可行的辦法。	達成
	方便控制發射仰角	使用螺旋固定架可控制 10 度和 15 度位置。	螺旋長度不夠，找不到更長的。	部份達成
	可控制發球時間間隔	利用軌道和樓梯玩具。並改良製作一個可以讓球有間隔落下裝置。	在沒有得到這個構想前，均不斷嘗試。	達成

雙輪式擠壓式發球機第三代構造圖



- A：竹架；固定紙捲筒
- B；紙捲筒；桶內裝乒乓球
- C：慢速馬達；敲擊乒乓球
- D：竹筷軌道：  
讓球連接到發球機
- E：木板球道：  
可以讓球穩定入發球位置

(3)各式發球機比較：

發球機名稱	運用原理	研發出的功能	需要再研究改進處
單臂式	馬達帶動橡皮拉力	未成功，尚在研究中。	
雙輪式	馬達帶動輪胎擠壓	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇ 可發射不同大小的塑膠球。</li> <li>◇ 可以打快、慢球。</li> <li>◇ 可以不靠人力，自動發球的機器。</li> <li>◇ 可以方便控制發射仰角。</li> <li>◇ 可以發各式旋球，驗證並觀察到白努力定律。</li> <li>◇ 可控制發球時間間隔。</li> <li>◇ 可運用於桌球練習，學習打擊旋球。</li> <li>◇ 可用於小學生的模擬棒球遊戲。</li> </ul>	方便增加發射仰角的方法，只有十度及十五度兩種。
氣壓式	空氣壓力	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 可以不靠人力，自動發球的機器。</li> <li>➤ 可以發各式旋球，驗證並觀察到白努力定律。</li> <li>➤ 可運用於桌球練習，學習打擊旋球。</li> <li>➤ 可用於小學生的模擬棒球遊戲。</li> </ul>	需外接電動打氣機 compressor，不易攜帶，用人力打氣也可以做擊球練習，但就只能稱為人力發球機，較不方便。

#### (4)球速計算：

我們利用 VirtualDubMod 軟體幫我們把數位相機所攝影的影片分析成一張張間隔 0.011 秒的照片，測出我們速度最快的馬達為 117.82(公里/小時)。

#### (5)射程計算：

	慢速齒輪組一分 鐘所轉圈數	射程最遠約為多 少 cm？	射程最遠時的 角度？
普通方形(康軒教具)	29	551.2	40
藍色方形小馬達	23.8	293.2	25
四驅車馬達底部綠色	45.8	716.2	35
四驅車馬達底部灰色	32.4	404	35
四驅車馬達全黑	56.2	850.8	25

從實驗結果可以看出並不會在 45 度是最遠射程，原因在於我們實驗的是乒乓球，重量較輕的關係，受空氣阻力影響較大；而轉速快的馬達，擠壓後的射程也的確較遠。

#### (6)進階高手版設計：

固定好三組基座位置，利用彈珠檯軌道來連接 3 個發球道，讓落下的球可以隨機發射，便可以同時打擊三種不同球路的球。

## 陸、結論

- 一. 變化球是因為投手投出的棒球在旋轉，造成氣流速度不同而產生的偏向作用力，也就是「白努力效應」。我們因為自製了發球機，才能仔細觀察球體旋轉方向與球軌跡方向的相互關係，也驗證了「白努力原理」的物理效應。
- 二. 從實驗結果得知，只要能控制球的旋轉方向，就能控制球軌跡的轉向，理論上看起來簡單，用發球機投出變化球也不難，雙輪擠壓式發球機是利用兩邊施力大小不同產生旋轉，而氣壓式發球機則是運用發出時擦撞到旁邊的銅片所產生旋轉。
- 三. 我們自製的自動發球機，與市售數萬元以上的桌球發球機相比，經濟又實惠，功能有過之而無不及，這是讓大家感到最欣慰的地方。希望我們的發球機可以廣為推廣被大家所使用，因為不但有趣，且最快時速可以接近 120 里/小時，發球狀況穩定，可以球貼網而過，發出的快速旋球也很刁鑽，真是培育桌球天生好手的最佳夥伴，如果真的能夠提升到大家的球技，我們的辛苦研究也值得了。

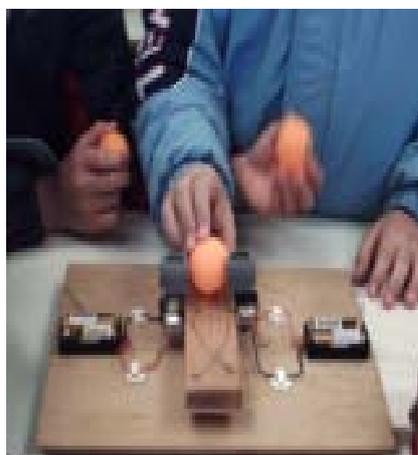
## 柒、參考資料

資料來源	書名	作者	章節、網址
書籍	自然科學百科/能量與物理(I)	倪簡白(審訂)	為什麼棒球會曲線飛行
網際網路	棒球的物理原理	不詳	<a href="http://tba99.com/pi/p4/phy.php">http://tba99.com/pi/p4/phy.php</a>
	各種變化球投法	邱光宗	<a href="http://twbaseball.info/index.php?func=blog&amp;article_id=297">http://twbaseball.info/index.php?func=blog&amp;article_id=297</a>
	看我的變化球---白努力定律	李卓翰老師	<a href="http://www2.hwsh.tc.edu.tw/~optic/pcnews4.htm">http://www2.hwsh.tc.edu.tw/~optic/pcnews4.htm</a>

作者心得分享：

我們從生活中的物品(如：空氣槍、彈珠台)獲得靈感，使用木板、竹筷、水管等唾手可得的材料，共同分工合作，著手進行構想中的藍圖，歷經許多次失敗之後，製作出許多不同的獨創發球機，這些從無到有的過程都是我們最珍貴的寶藏。我們學到面對困難就要想辦法克服，並且越挫越勇、再接再厲，以及團隊合作、互助學習的滋味，雖不盡然是輕鬆愉快的，卻是大家共同努力的成果。相信日後，我們會保持一顆敏銳的心，處處留意生活中的細節，發揮創意與想像，發現更多值得探索的事物。

照片分享：



**【評語】** 080815

1. 這是一個創意性佳，團隊合作默契十足，實作與構思均相當健全之作品。口頭報告與作品說明書也都十分詳實切題。
2. 本作品之實作模型偏多，足見團隊的腦力激盪相當充分，若能就最具成效的模型集中精力，想法改善，多在自動化及油氣壓之動力源上進一步深入探討，成果將更可觀。