中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　理化科

佳作

最佳團隊合作獎

031615

Sinker 的秘密

學校名稱：臺北縣立蘆洲國民中學

作者：	指導老師：
國二 李唯銓 國二 呂宜燕 國二 張文馨 國二 林致加	郭春華 蔡怡德

關鍵詞： 伸卡球、白努利、偏向力

摘要

我們因被伸卡球吸引著，而開始這次的研究，它的偏向原理，可由翰林版自然與生活科技第五冊 9-1 節的白努利原理解釋，首先我們從影片中分析王建民的投球動作、風格及各種球路的特性，我們也量出球體的偏向距離，並估算出偏向力的大小，接著進行了下列三個研究。一是球體旋轉方向和飛行偏向的關係，我們將球體和小馬達結合，並固定在彈簧上，讓旋轉球體在有風流動的風洞中，即可看出球體的偏向。二是簡易發球器的製作，我們利用波蜜果菜汁鐵罐、強力馬達及轉盤，讓快速旋轉的轉盤摩擦保麗龍球體的邊緣，球體可以快速飛行並旋轉著，改變旋轉方向的角度，即可模擬各種球路。三是偏向力的測量，我們利用風洞、電子秤、棒球和強力馬達結合及鐵架，可以找到偏向力的大小和風速及球體旋轉速度有關，最後用得到的數據進行伸卡球進壘位置的分析。

壹、研究動機

最近在學校各個角落，都能聽到大家討論起「台灣之光——王建民」。看著電視上王建民的風采，使很多同學不禁對他產生許多的好奇，某一次的體育課，因下雨我們改到視聽教室看體育影片，正好是播放王建民的球賽。在我們爲王建民喝采的同時，他的伸卡球也深深的吸引著我們，下課後大家討論起影片內容：「爲什麼他的球不是直直的飛過去，而似乎好像有一股神祕的力量牽引著使它偏向。」「對啊！對啊！我還有看到球在本壘板前會快速下墜，而且還會偏向打擊者。」「我也注意到打擊者打到的球也幾乎都是滾地球。」「真想知道其中到底是什麼原因，好想知道唷。」因爲同學間的討論，使我們心中浮現越來越多的問號，爲了幫同學解開伸卡球的奧秘，於是我們在自然老師的帶領下展開了這次的研究。

貳、研究目的

一、藉由觀測王建民比賽時的影片，測得各項數據，以便分析與研究。
二、設計風洞及球體偏向觀測器，以了解球體旋轉方向和偏向之關係。
三、製作簡易發球器模擬各種變化球。
四、利用風洞探討風速及球體旋轉速度，對球體偏向力大小的影響。
五、伸卡球進壘位置的分析。

参、研究設備與器材

洋基(王建民主投)對小熊隊影片 DVD 一片、電腦、直尺、自製風洞、風扇、球體偏向觀測器、數位相機、數位攝影機、簡易發球器、直徑 7 公分保麗龍球、棒球、強力馬達、電子秤。

肆、 研究過程、方法與結果

研究一、藉由觀測王建民比賽時的影片，測得各項數據，以便分析與研究。

(一) 說明

1. 爲了研究王建民投球的風格及觀測各種變化球，因此我們找來王建民比賽時的影片，藉由電腦以 1/70 秒格放以便我們進行測量，取得我們需要的數據。再使用直尺，測得水平及垂直偏向距離，並以本壘板的長度爲比例尺換算實際偏向距離。
2. 偏向力的計算：利用影片格放紀錄球體從投出至本壘板的時間及偏向距離代入 $S = 1/2at^2$

可以算出加速度的大小，再代入F ＝ma可以算出偏向力的大小。

(二) 實驗步驟

1. 在電腦上播放洋基隊與小熊隊的比賽，詳細紀錄整場王建民所投出之共 88 球的球速、球路、打擊的結果、球體從投出至本壘板的時間、橫向及縱向偏離的距離等資料，並利用所得到的數據算出偏向力的大小，結果整理如附件(一)，並將經典部分敘述如結果 1。
2. 利用附件(一)的結果分析在不同球速之下，各種球路的數目，結果如表(一)及統計各種球路的好壞球數目，結果如表(三)。
3. 利用附件(一)的結果，分析各種球路在不同球速下偏向力結果如表(四)
4. 以慢動作播放，比較王建民投出各種球路時投球姿勢的差異性。

(三) 實驗結果

1.精采轉播

(1)8 局、88 球、5 安打、5 三振、1 四壞、2 雙殺

(2)被安打：5 次(其中一支全壘打)

①球次第十一顆球爲伸卡球，右打者打擊，結果爲內野滾地安打。

②球次第三十六顆球爲伸卡球，右打者打擊，結果爲左外野滾地安打在三壘手與游擊手之間穿過，此球縱向偏離較低。

③球次第四十一顆球爲指叉球，右打者打擊，結果爲右外野飛球落在無人守備地帶。

④球次第五十三顆球爲直球，右打者打擊，結果爲左外野全壘打，此球投在好球帶中間稍微偏外側一點。

⑤球次第七十三顆球爲變速球，左打者打擊，結果爲右外野飛球的 2 壘安打，此球投在好球帶中間。

(3)四壞球：1 次

①球次第四十九顆球爲直球，右打者打擊，1 好 3 壞 2 出局，此球投出時偏低。

(4)三振：5 次

①球次第十四顆球爲伸卡球，左打者打擊，2 好 0 壞 2 出局，打者無揮棒。

②球次第三十一顆球爲變速球，左打者打擊，2 好 1 壞 0 出局，此球偏內角，打者揮棒落空。

③球次第五十二顆球爲直球，左打者打擊，2 好 0 壞 2 出局，打者揮棒落空。

④球次第六十二顆球爲變速球，右打者打擊，2 好 2 壞 2 出局，此球內角偏低，打者揮棒落空。

⑤球次第八十二顆球爲變速球，右打者打擊，2 好 1 壞 2 出局，此球偏低，打者揮棒落空。

(5)雙殺：2 次

①球次第三十九顆球爲伸卡球，左打者打擊，0 好 2 壞 1 出局。

②球次第四十四顆球爲伸卡球，左打者打擊，1 好 1 壞 0 出局。

2. 下表(一)爲不同球速之下各種球路的數目。

球速(mph)	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	無提供	總數(所佔比例)
直球	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	5	1	2	15 (17.4%)
伸卡	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	10	11	7	1	0	7	39 (45.3%)
指叉球	0	0	0	1	0	0	0	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	2	10 (11.6%)
滑球	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7 (8.1%)
變速球	1	1	0	1	5	5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15 (17.4%)
總個數	1	1	0	5	6	5	1	3	4	1	2	1	10	11	14	6	1	14	86 (100%)

表(一）

由表(一)可看出王建民的球路以伸卡球所佔比例最大，滑球的數目最少，可見他對伸卡球比較有信心。

3. 下表(二)爲不同球路之下的球速(mph)。

直球	伸卡球	指叉球	滑球	變速球
球速：94-96	球速：90-95	球速：83-89	球速：83-84	球速：80-87

表(二)

由表(二)王建民的球路以快速直球的速度最快，其次是伸卡球，最慢的是變速球。

4.下表(三)爲各種球路的好壞球數目。

球數／比例 結果＼球種	直球	伸卡球	指叉球	滑球	變速球	總計
好球	10(66.7%)	29(74.4%)	1(10%)	3(42.9%)	13(86.7%)	56(65%)
壞球	5(33.3%)	10(25.6%)	9(90%)	4(57.1%)	2(13.3%)	30(35%)
總球數	15(100%)	39(100%)	10(100%)	7(100%)	15(100%)	86(100%)
安打	1(6.7%)	2(5.1%)	1(10%)	0(0%)	1(6.7%)	5(5.8 %)

表(三）

(1)由表(三)可以看出變速球及伸卡球的好球率最高，而壞球率最高的是指叉球，這應該是王建民對伸卡球深具信心的原因。

(2)王建民只被打出五支安打，是一場優質先發，也順利拿到當年的第二場勝投。

5.下表(四)爲不同球速之下各種球路的偏向力(gw)。

球速 (mph)	**80**	**81**	**82**	**83**	**84**	**85**	**86**	**87**	**88**	**89**	**90**	**91**	**92**	**93**	**94**	**95**	**96**
伸卡	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**17.3**	**13.2**	**11.8**	**11**	**9.4**	**6.5**	**0**
指叉	**0**	**0**	**0**	**1.5**	**0**	**0**	**0**	**1.2**	**3.2**	**2.9**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
滑球	**0**	**0**	**0**	**13.8**	**23.8**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
變速球	**11.8**	**10.2**	**0**	**9.0**	**7.1**	**7.2**	**6.6**	**7.1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**

表(四）

(1)由表(四)可以看出伸卡球及滑球的橫向偏向力最大，而指叉球最小。

(2)由表(四)可看出伸卡球及變速球的球速越快，橫向偏向力越小

6.王建民投球風格的描述。

王建民個性冷靜、沉著，有獨特的投球姿勢：先將左腳往後退一步，再把手套與球擺到頭後方，爲的是可以確實調整身體的姿勢，減少失投的機率，王建民投球時扭腰回轉了一百度左右，手套移到肩膀附近，再順著重心向前投出去。王建民總是不慌不忙的投出每一球，所以每一球球質都相當沉重。他是屬於滾地球型的投手，尤其是他的伸卡球，一般的伸卡球通常是用直球的握法，投出時食指往下扣，會往右打者的內角鑽，一般投手高壓投法所投出的伸卡球投出時會稍微往上飄，但王建民的四分之三的投法，讓伸卡球有別於一般投手，投出時會稍微往右下方掉，讓打者難以掌握。一位好的投手，厲害的是能以幾乎同樣的姿勢，投出各式各樣的變化球，王建民就是這樣的人。我們在投手腰部到頭部間做一個直角，伸卡球等速度較快的球，放手點較高，約在 45 度到 90 度左右，但偏離較小，滑球、指叉球等速度較慢的球，放手點較低，約在 0 度到 45 度左右，但偏離較多。

(四)由上面的測量及分析我們產生幾個疑問，所以我們繼續底下的研究。

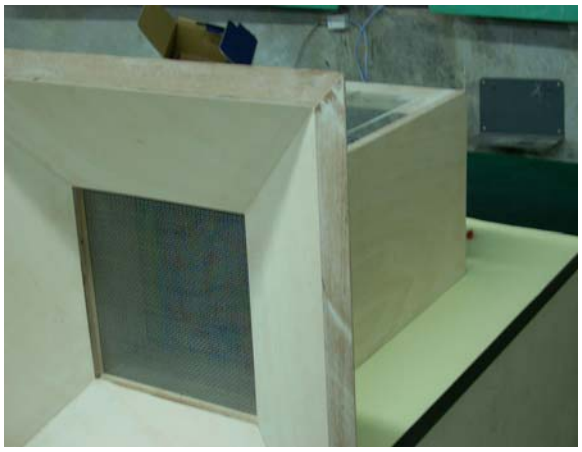
研究二、設計球體偏向觀測器，以了解球體旋轉方向和偏向之關係。

(一)說明

1. 疑惑：王建民如何控制使球向左、向右、向上或向下偏向？由影片播放時可以看出，投出去的球會快速旋轉著，但因旋轉速度及球速太快且電腦螢幕的解析度又不夠好，看起來就像是一顆模糊的白球，很難判斷旋轉的方向。
2. 原理：設計簡易球體偏向裝置，可讓同學輕易看到球體旋轉方向和偏向的關係，它的設計原理是：使空氣流過旋轉球體的兩側，會因爲球體旋轉效應的影響，使球體兩側空氣流動速度不同，由白努利定律可知，球體兩側的作用力會不同，因此球體就會產生偏向的作用。

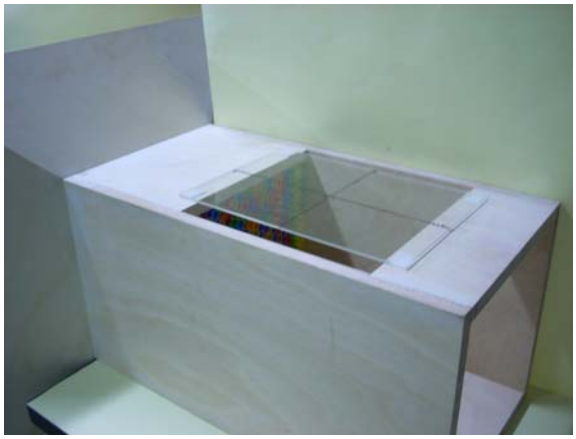
(二)實驗步驟

1. 利用自製風洞如圖(一)、圖(二)提供穩定流動的氣流，風洞上裝有定位用的座標板裝置如圖(三)。
2. 將塑膠球體和小馬達結合，然後將馬達固定在彈簧的一端，彈簧的另外一端則固定在塑膠板上，並在球的頂端正中心接上指針，以方便偏向幅度的觀測，並用數位相機拍下如圖(四)。
3. 將圖(四)的裝置放入風洞中，將球的指針指在壓克力上的原點後，並用數位相機拍下如圖(五)，將馬達開啓之後使球順時鐘方向旋轉，將風洞的風扇打開，記錄指針指在壓克力板上的座標，並用數位相機拍下如圖(六)。
4. 重複步驟 2、3、4 使球逆時鐘方向旋轉，並用數位相機拍下如圖(七)、(八)。
5. 重複數次實驗，確保實驗的可重複性。

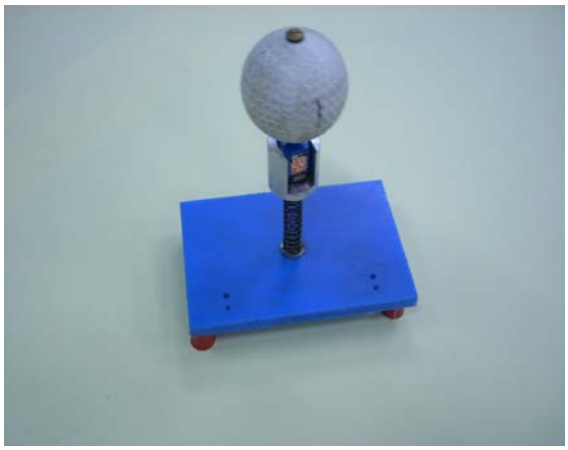


圖(一)風洞-細目鋼網

圖(二)風洞-導流管

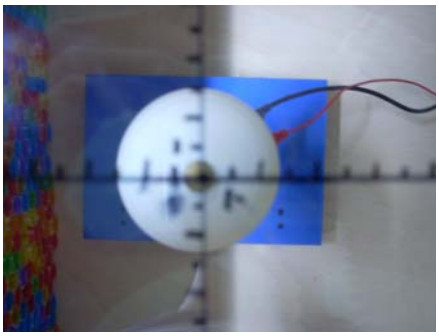


圖(三)風洞上的座標

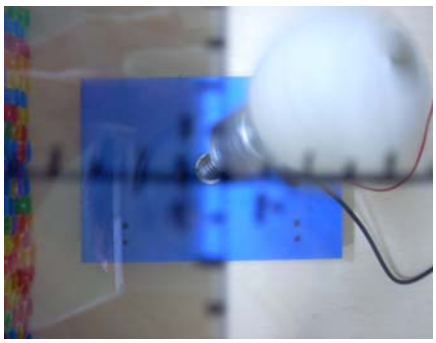


圖(四)球體偏向觀測器

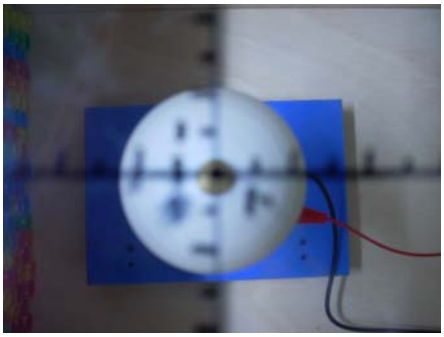
(三)實驗結果



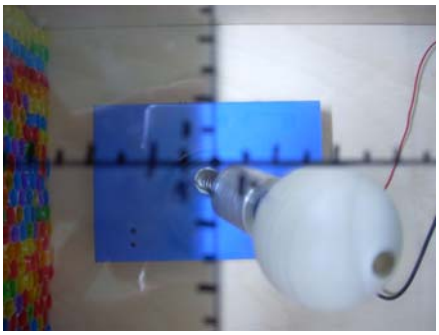
圖(五)順時針歸零



圖(六)向右偏向



圖(七)逆時針歸零



圖(八)向左偏向

1. 由圖(六)可看出，當球體以順時鐘方向旋轉時，球體會受到向右的偏向力，因此會向右偏向。
2. 由圖(八)可看出，當球體以逆時鐘方向旋轉時，球體會受到向左的偏向力，因此會向左偏向。

研究三、製作簡易發球器模擬各種變化球

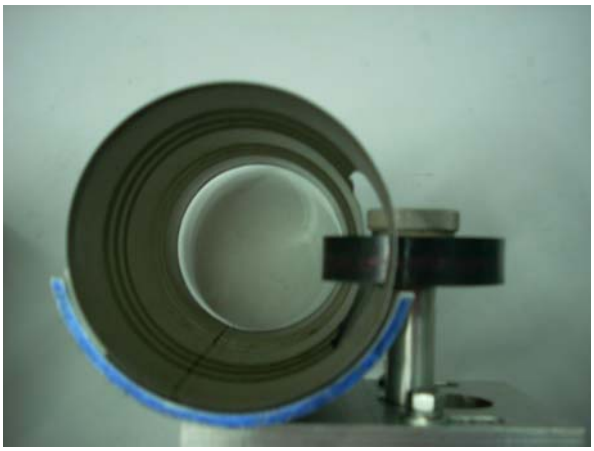
（一） 說明

1. 疑惑：由影片放映可以看出，王建民的伸卡球或滑球，同時有橫向及縱向偏離，尤其是伸卡球在雙重偏向作用之下，使得打擊者抓不住擊球的甜蜜點，而會有大量滾地球產生。為什麼會有如此特殊的偏向？此種偏向和旋轉方向的角度有關嗎？
2. 理想：設計簡易發球器，希望它有下列特點：(1)操作容易(2)球體偏向明顯(3)可調整球體旋轉方向的不同角度(4)材料取得容易(5)組裝方便。這是本次研究最希望完成的目標。

（二）實驗步驟

1. 將直徑 8.3cm 的空鐵罐前後兩端的封閉口切除，並能使直徑 7cm 的保麗龍球順利通過，在一端的側邊距管口 1cm 處挖開直徑 6cm 的洞口如圖(九)。
2. 將轉盤和強力馬達結合，然後將鐵罐及馬達固定在鋁板上，調整轉盤的邊緣，恰可跟在鐵罐洞口處的保麗龍球邊緣微微接觸如圖(十)，將馬達開啓並將保麗龍球推至轉盤處，在磨擦力的帶動之下，球體向前飛出且旋轉。
3. 利用方格紙製作出 $1cm^2$方格的直角座標，置於發球器前方用以測量偏離的方向及距離。
4. 利用水平儀使發球器保持水平，並使用固定在鐵罐上的雷射筆以訂出方格紙上的原點。
5. 調整轉盤的轉速為 7200rpm 且使球體的旋轉方向為向正方後旋轉，將球體射出擊中發球器前方距離 3 公尺的座標板，此時記錄下球體偏離的方向及距離。
6. 同步驟 4，將球體的旋轉方向的角度分別調整為向右 30、60、90 度，向左 30、60、90 度記錄下球體偏離的方向及距離。
7. 同步驟 4、5 將球體的旋轉方向改為向正前方旋轉記錄下球體偏離的方向及距離。
8. 將實驗結果記錄為表(五)與圖(十一)。
9. 將球體旋轉方向分別調整為向正後方旋轉、向正前方旋轉、順時鐘旋轉及逆時鐘旋轉。數位相機錄下飛行軌跡，將錄下的飛行軌跡用電腦以威力導演軟體格放，並將球體影像複製在同一畫面上，如圖(十二) 、(十三)、(十四)、(十五)。

圖(九)簡易發球器(側邊的洞口)



圖(十)簡易發球器(正面)

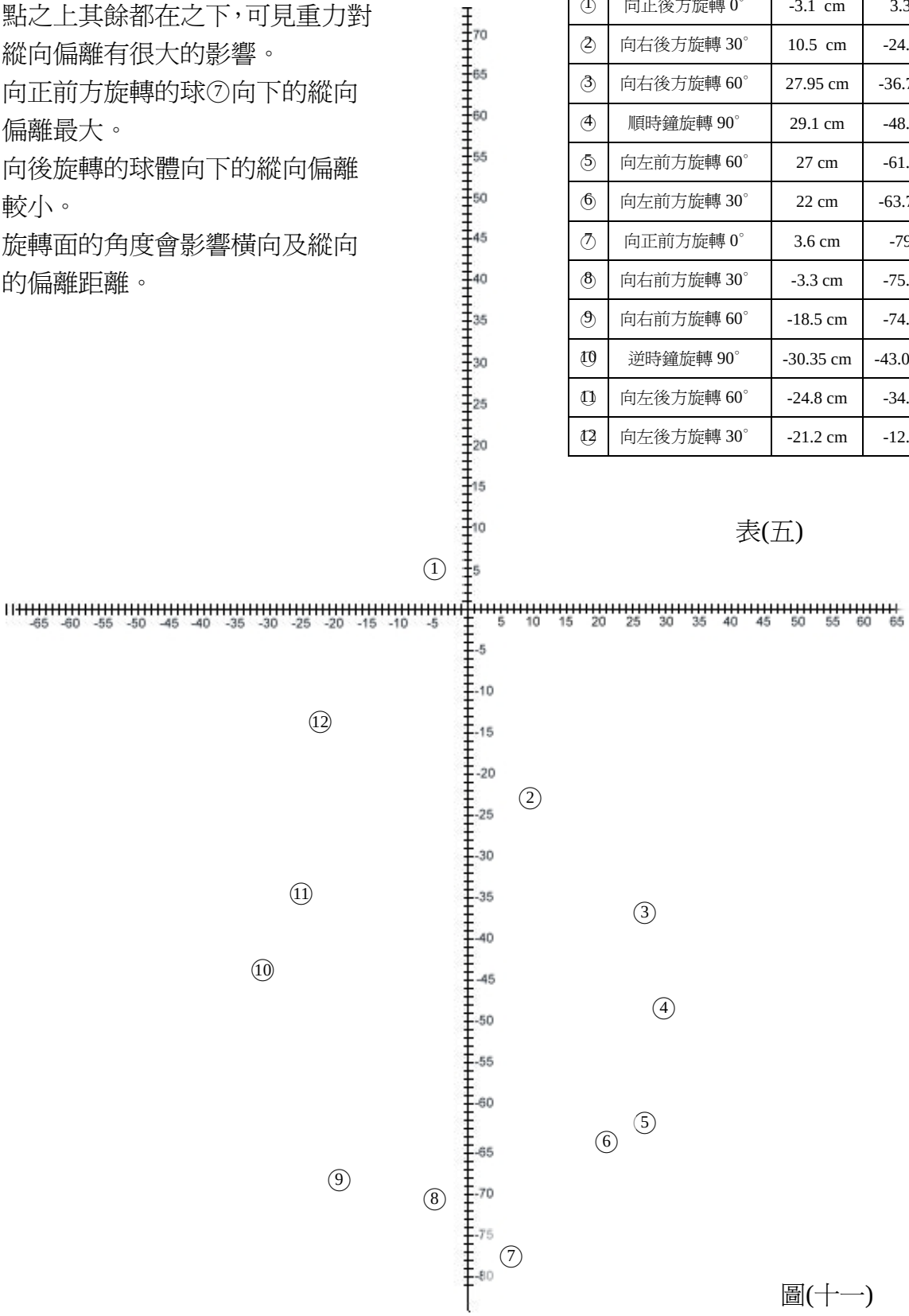
(三)實驗結果

由圖表可以看出：

1. 除了向正後方旋轉的球①在瞄準點之上其餘都在之下，可見重力對縱向偏離有很大的影響。
2. 向正前方旋轉的球⑦向下的縱向偏離最大。
3. 向後旋轉的球體向下的縱向偏離較小。
4. 旋轉面的角度會影響橫向及縱向的偏離距離。

距離爲 3m			
旋轉面的角度 (與鉛垂線的夾角)		橫向偏移	縱向偏移
①	向正後方旋轉 0°	-3.1 cm	3.3 cm
②	向右後方旋轉 30°	10.5 cm	-24.6 cm
③	向右後方旋轉 60°	27.95 cm	-36.75 cm
④	順時鐘旋轉 90°	29.1 cm	-48.7 cm
⑤	向左前方旋轉 60°	27 cm	-61.9 cm
⑥	向左前方旋轉 30°	22 cm	-63.75 cm
⑦	向正前方旋轉 0°	3.6 cm	-79 cm
⑧	向右前方旋轉 30°	-3.3 cm	-75.9 cm
⑨	向右前方旋轉 60°	-18.5 cm	-74.8 cm
⑩	逆時鐘旋轉 90°	-30.35 cm	-43.075 cm
⑪	向左後方旋轉 60°	-24.8 cm	-34.5 cm
⑫	向左後方旋轉 30°	-21.2 cm	-12.9 cm

表(五)



圖(十一)

圖(十二)向正後方旋轉

圖(十三)向正前方旋轉

圖(十四)逆時鐘旋轉

圖(十五)順時鐘旋轉

1.由圖(十二)可看出球向正後方旋轉時會有向上偏向力的作用。
2.由圖(十三)可看出球向正前方旋轉時會有向下偏向力的作用。
3.由圖(十四)可看出球逆時鐘旋轉時會有向左偏向力的作用。
4.由圖(十五)可看出球順時鐘旋轉時會有向右偏向力的作用。

研究四、設計風洞探討球速及旋轉速度，對球體偏向力的大小的影響。

(一)說明

1. 疑問：在之前的研究，我們知道球體會向左偏向或向右偏向和球體的旋轉方向有密切關係，而偏向力的大小和什麼因素有關，是我們所想知道的，因此我們進行此實驗。

(二)實驗步驟

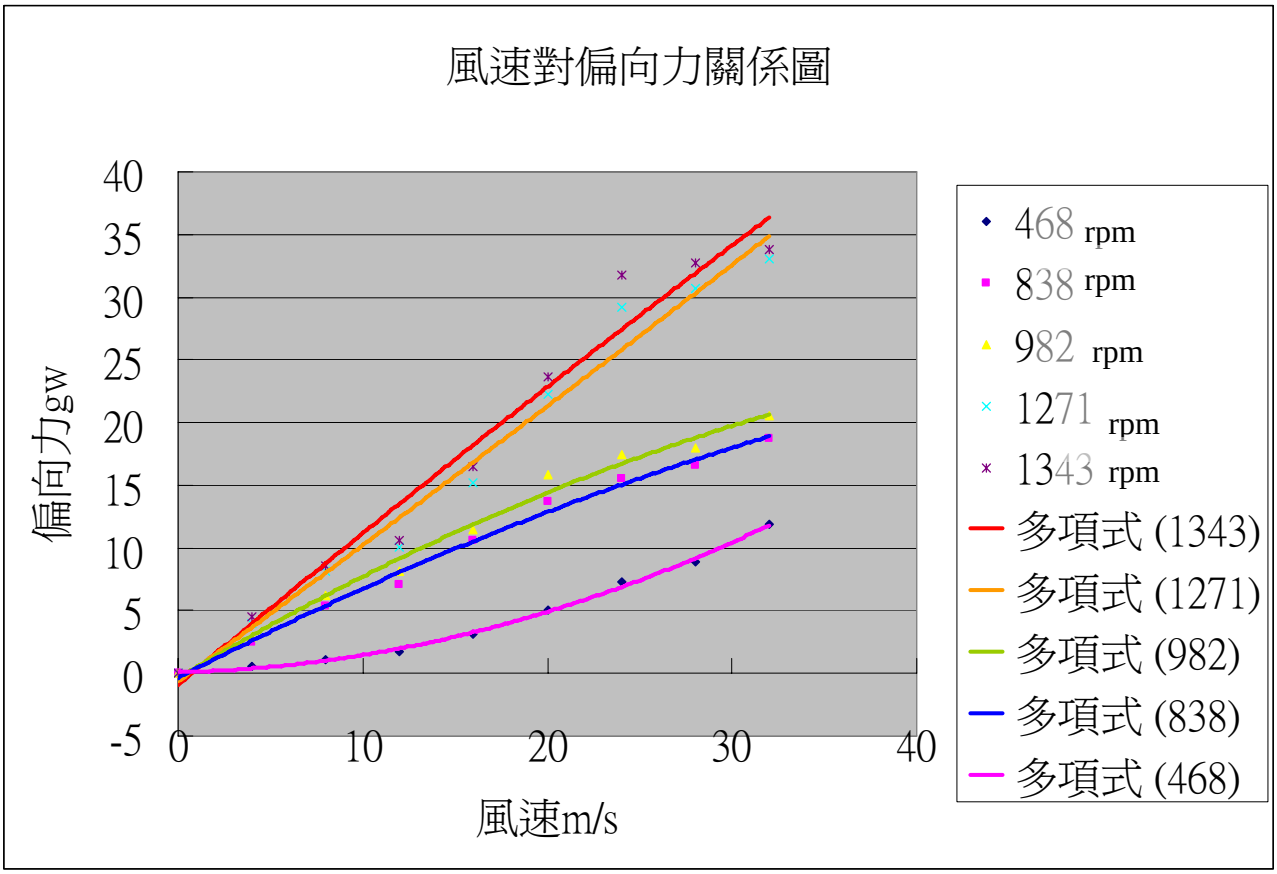
1.將棒球和強力馬達結合，並固定於鐵架上，將鐵架置於電子秤上。
2.以 U 型管測試空氣的流動的穩定度以標定層流及紊流的區域，將步驟 1 之裝置置於可供實驗的層流區域。
3.利用高速閃光燈的同步原理，調整棒球轉速為 468rpm，風速為 4m/s，測出偏向力的大小。
4.同步驟 2 固定棒球旋轉速度為 468rpm 將風速分別調整為 8m/s、12m/s、16m/s、20m/s、24m/s、28m/s、32m/s，測出偏向力的大小。
5.同步驟 3 將棒球轉速分別調整為 838rpm、982rpm、1271rpm、1343rpm 測出偏向力的大小，

將以上測得的結果記錄成表(六)、圖(十六)與圖(十七)。

(三)結果

偏向力 gw 轉速 rpm / 風速 m/s	468	838	982	1271	1343
0m/s	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4m/s	0.60	2.50	2.90	4.00	4.50
8m/s	1.10	5.35	6.25	8.20	8.55
12m/s	1.70	7.05	8.10	10.05	10.65
16m/s	3.15	10.60	11.45	15.15	16.45
20m/s	5.00	13.7	15.80	22.30	23.65
24m/s	7.30	15.55	17.45	29.25	31.80
28m/s	8.85	16.60	18.00	30.65	32.75
32m/s	11.85	18.75	20.55	33.00	33.75

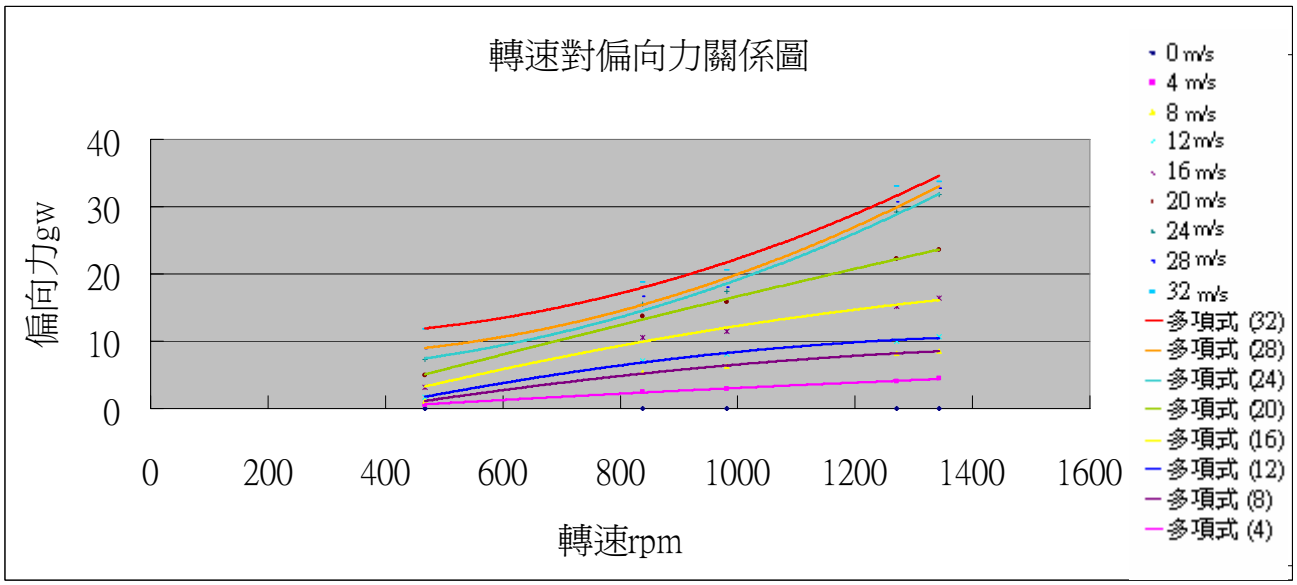
表(六)



圖(十六)

多項式 (1343)	$y = -0.002x^2 + 1.2266x - 0.9$ R2 = 0.9702
多項式 (1271)	$y = 0.0009x^2 + 1.0793x - 0.6564$ R2 = 0.9788
多項式 (982)	$y = -0.007x^2 + 0.88x - 0.3824$ R2 = 0.9892
多項式 (838)	$y = -0.005x^2 + 0.76x - 0.3521$ R2 = 0.9934
多項式 (468)	$y = 0.0104x^2 + 0.033x + 0.0918$ R2 = 0.9967

表(七)



圖(十七)

多項式(32)	$y = 2E\text{-}05x^2 - 0.0082x + 11.637$ R2 = 0.9874
多項式(28)	$y = 2E\text{-}05x^2 - 0.009x + 8.7932$ R2 = 0.9901
多項式(24)	$y = -2E\text{-}06x^2 + 0.0313x - 6.7828$ R2 = 0.9978
多項式(20)	$y = -2E\text{-}06x^2 + 0.0243x - 5.9265$ R2 = 0.9979
多項式(16)	$y = -7E\text{-}06x^2 + 0.0265x - 7.7145$ R2 = 0.9908
多項式(12)	$y = -7E\text{-}06x^2 + 0.0235x - 7.6203$ R2 = 0.9976
多項式(8)	$y = -5E\text{-}06x^2 + 0.0176x - 5.9992$ R2 = 0.9986
多項式(4)	$y = -8E\text{-}07x^2 + 0.0058x - 1.9083$ R2 = 0.9942

表(八)

1.由表(八)可知當球體轉速越快時偏向力會越大。
2.當風速越快時偏向力會越大。
3.利用 Excel 求出的趨勢線公式，可推測出偏向力。
4.由研究四與附錄(一)中我們所測量王建民伸卡球的橫向偏移距離可得知，王建民伸卡球的轉速約在 1000rpm~1200rpm 之間。

研究五、伸卡球進壘位置的分析。

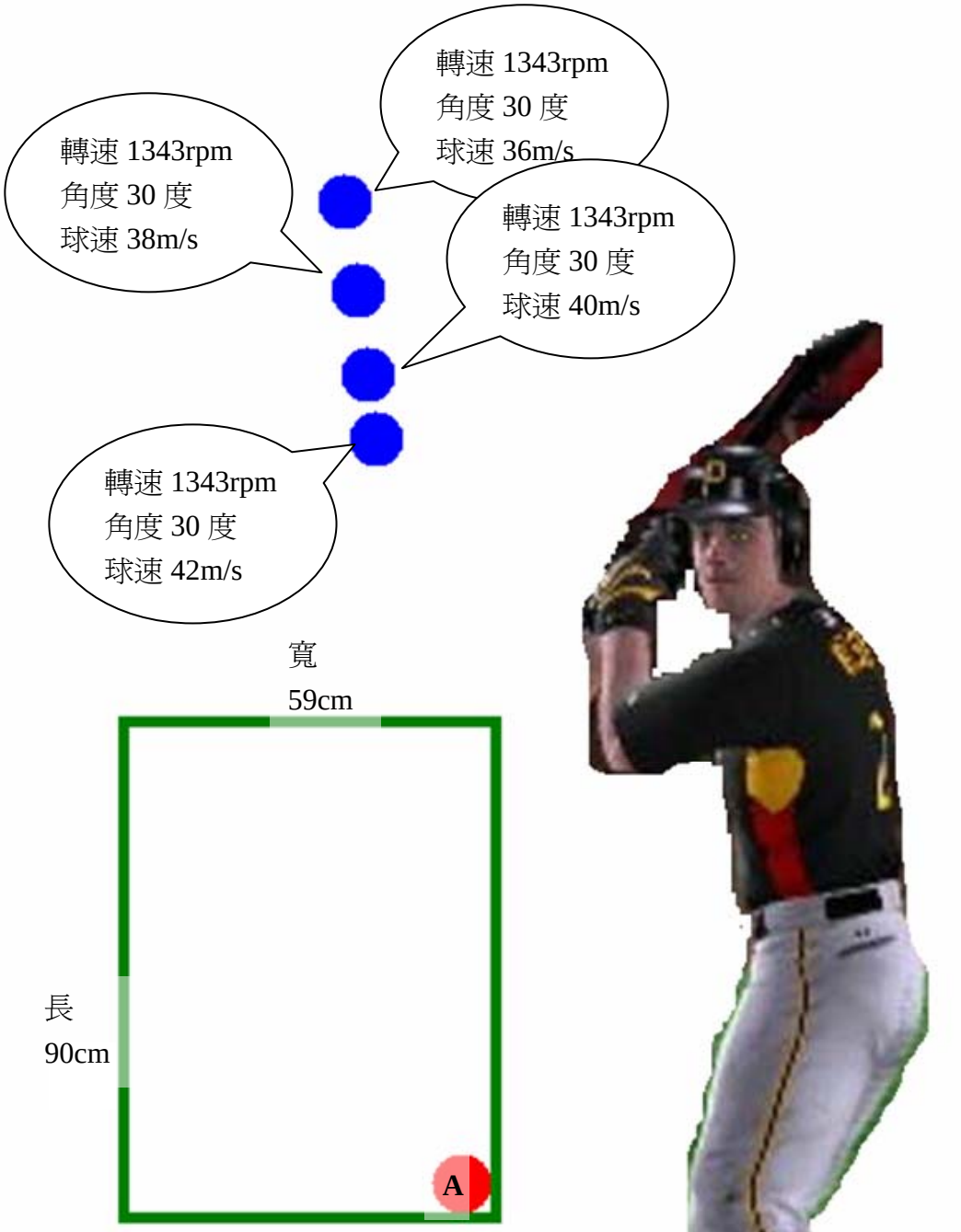
(一)說明

1.我們可以利用研究四的多項式推算出偏向力(F)的大小，設棒球的重量爲 145gw，旋轉方向的角度爲 φ ，我們可以分別算出水平偏向力Fx=Fsin φ 、垂直偏向力Fy=145+Fcos φ ，代入公式F=ma及$S=1/2at^2$，可以算出球從投手投出飛行至本壘板的橫向及縱向的偏向距離，以了解瞄準位置(在沒有重力、空氣阻力及偏向力作用之下的進壘位置)及真正進壘位置的差異性。
2.好球帶的範圍：橫向範圍爲本壘板兩側各向外延伸一個棒球直徑的距離，縱向的範圍爲打擊者的膝蓋至胸口的距離，本實驗是以身高 185cm 的打擊者所測量出的好球帶的範圍，其中伸卡球的最佳進壘位置爲 A 點。
3.設欲使伸卡球的進壘位置在 A 點，則在不同球速、旋轉速度及旋轉方向的角度之下，瞄準點的位置該在何處？我們會分別用四個數據說明比較。

(二)實驗步驟

1.固定轉速爲 1343rpm，旋轉面的角度爲向左 30 度，球速分別爲 36、38、40、42m/s 算出進壘位置在 A 點(原點)的瞄準位置的座標，結果如表(九)及圖(十八)。
2.固定轉速爲 1343rpm，球速爲 40m/s 旋轉面的角度分別爲 10、20、30、45 度，算出進壘位置在 A 點(原點)的瞄準位置的座標，結果如表(十) 及圖(十九)。
3.固定球速爲 32m/s，旋轉面角度爲向左 30 度，旋轉速度分別爲 400、600、800、1000、1200rpm，算出進壘位置在 A 點(原點)的瞄準位置的座標，結果如表(十一) 及圖(二十)。

(三)結果

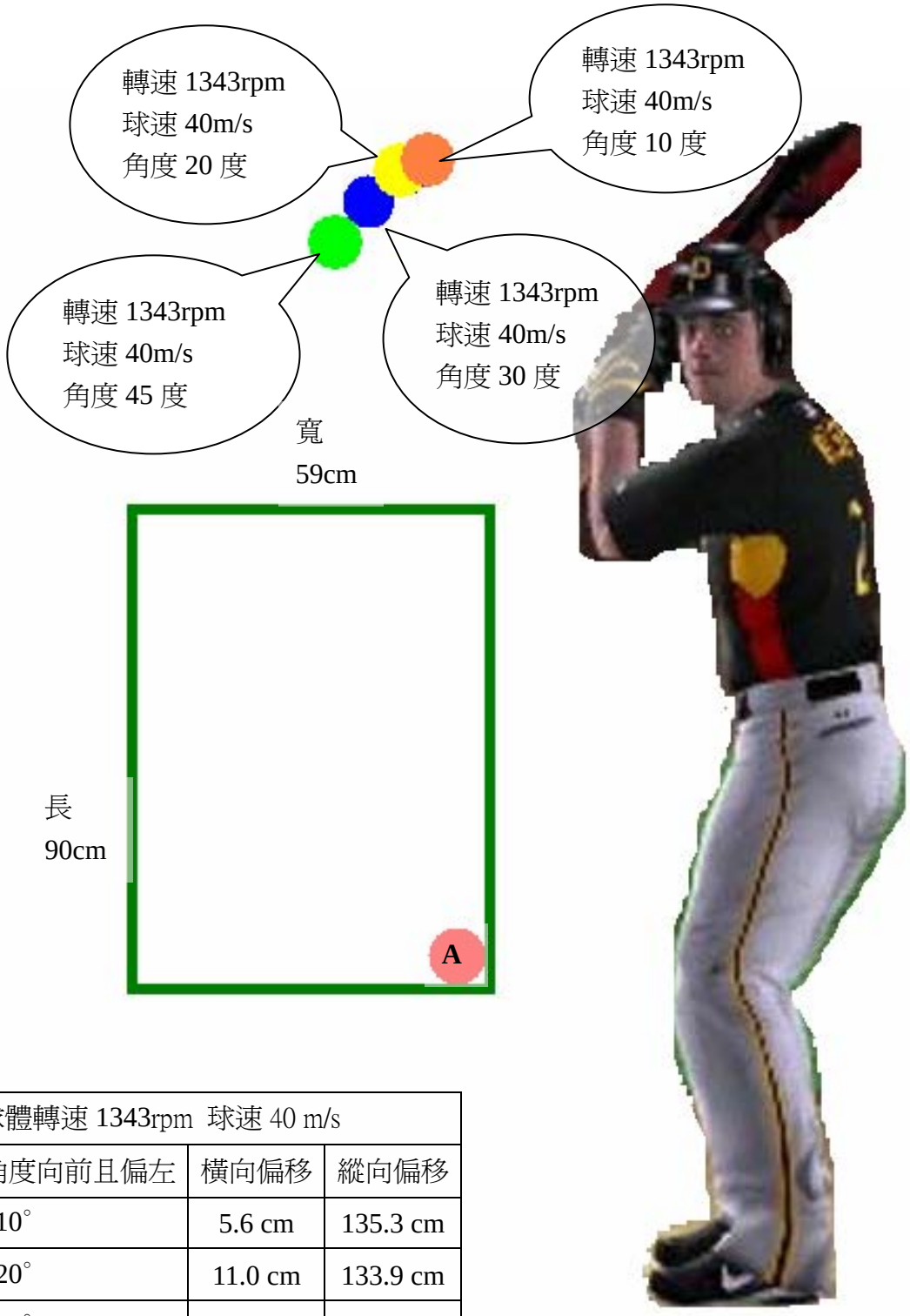


圖(十八)

球體轉速 1343rpm 旋轉面的角度：向前偏左 30° 。		
球速	橫向偏移	縱向偏移
36 m/s	18 .0cm	159.1 cm
38 m/s	17 .0cm	144.3 cm
40 m/s	16.1 cm	131.5 cm
42 m/s	15.3 cm	120.5 cm

表(九)

由圖表可看出球速越快縱向及橫向偏離距離都會變小。

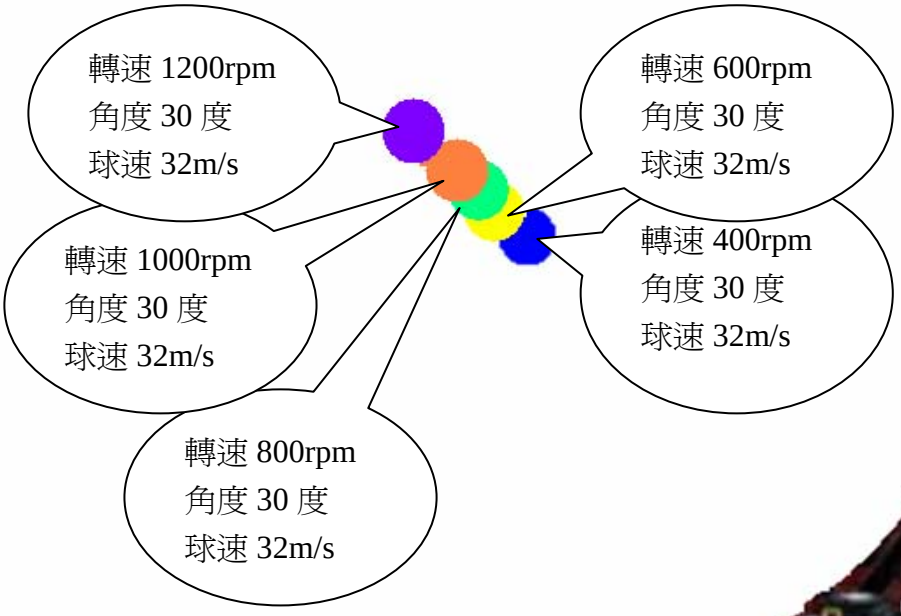


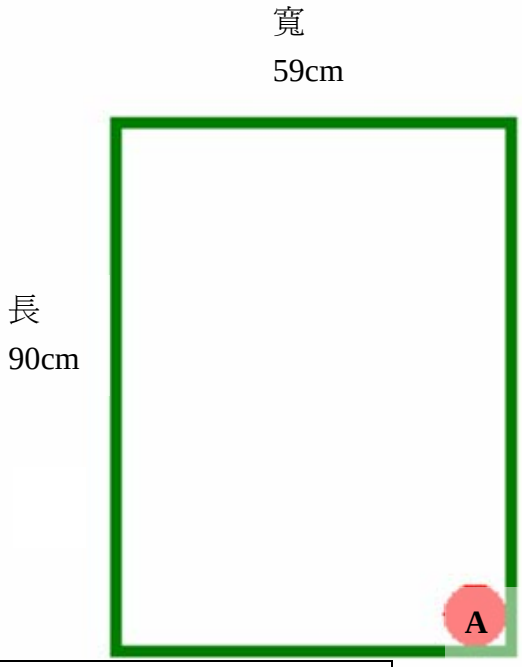
球體轉速 1343rpm 球速 40 m/s		
旋轉面的角度向前且偏左	橫向偏移	縱向偏移
10°	5.6 cm	135.3 cm
20°	11.0 cm	133.9 cm
30°	16.1 cm	131.5 cm
45°	22.7 cm	126.4 cm

表(十)

圖(十九)

由圖表可看出球體旋轉角度越大橫向偏離距離越大，縱向偏離距離越小。





球速 32 m/s 旋轉方向的角度：向前偏左 30°		
球體轉速	橫向偏移	縱向偏移
400 rpm	6.5 cm	173.2 cm
600 rpm	7.8 cm	175.5 cm
800 rpm	10.0 cm	179.3 cm
1000 rpm	13 .0cm	184.7 cm
1200 rpm	17.1 cm	191.6 cm

表(十一)

圖(二十)

由圖表可看出球體旋轉速度越大，縱向及橫向偏離的距離也越大。

伍、討論

一、球體偏向的原理：

(一)白努利定律：

流體流經物體表面時，它對物體表面的壓力和流速的關係，可由白努利公式表示：

$P_1+1/2\ dv_1^2= P_2+1/2\ dv_2^2$ 由此公式可知流速越快則壓力越小。

(二)偏向原理：

向前飛行且向前旋轉的棒球，粗糙的球面會帶動球面周圍空氣的流動，上半部的球面會把空氣向前帶動，下半部的球面會把空氣向後帶動，此時會出現兩種效應，一是上下球面空氣流速會不同，二是上半部球面所帶動的空氣和原空氣流向相反而產生較紊亂的氣流，下半部所帶動的空氣和原空氣流向相同而產生較穩定的氣流，因爲這兩種效應作用的結果，使棒球會受到偏向力的影響，而產生偏離現象。

(三)偏向力來源的疑惑：

由研究四的實驗結果曲線圖可推算，在風速 40m/s，球體轉速爲 1343rpm時，測得偏向力大小爲 45gw，而棒球的截面積爲 44cm^2。

由 $F=\Delta P*A$ 可算出上下球面的壓力差 $P_1-P_2=\Delta P=1gw/cm^2$。

再代入白努力公式：$P_1-P_2=1/2\ dv_2^2-1/2\ dv_1^2$ ，當 $P_1-P_2=1gw/cm^2$ 則可以得到上下球面的速度差 $V_2-V_1=0.2m/s$。這個結果是我們無法了解的，因爲球體轉速爲 1343rpm可算出球體表面的切線速度爲 5.2m/s，而風速爲每秒 40m/s，在此二者的交互作用下，上下球面的空氣流速差到底是多少？而紊亂的氣流及穩定的氣流，如何影響偏向力的大小，關於這兩點的疑問，我們會參考更多的流體力學方面的書，作更合理的解釋。

二、實驗儀器的分析：

(一) 自製風洞：

我們所自製的風洞含有細目鋼網及導流管，可以提供穩定的水平氣流，以供實驗使用。

(二) 球體偏向觀測器：

爲了能讓球體有較明顯的偏向，我們選用彈性係數較小的彈簧，也使用質量較輕的小型馬達，約 20gw 的力就可以使它產生偏向；在風洞中進行實驗，是因爲風洞可以提供穩定的氣流。

(三) 簡易發球器：

1.我們選用保麗龍球，它有兩個特點：一是它的質量很輕容易產生偏向，二是表面粗糙，容易被轉盤帶動。

2.我們選用的馬達，它也有兩個特點：一是它有很強大的扭力，可以提供足夠的動力發射保麗龍球，二是它的轉速可達到 7200rpm，可以使保麗龍球快速旋轉以產生較明顯的偏向。

3.此裝置可以使保麗龍球，產生不同旋轉方向的角度，以模擬各種變化球。以下是常見的四種變化球。

(1)伸卡球：旋轉方向爲向前且偏左。

(2)滑球：旋轉方向爲向前且偏右。

(3)快速直球：旋轉方向爲向後。

(4)曲球：旋轉方向爲向前。

4.本裝置是利用高速旋轉的轉盤摩擦球面，作爲發射球的動力，因此無法分別操縱球速及轉速，這是我們未來努力之處。

(四) 偏向力測量器：

1.歸零的校正：將測量儀器置於風洞中打開風扇，觀看電子秤的讀數是否在零刻度上。

2.共振的問題：以馬達帶動高速旋轉的棒球，在某些特定的轉速時會和裝置產生共振，而使電子秤的讀數上下變化很大，因此要避開這些轉速，所以我們所選用的轉速較無規律性及倍數的關係。爲了增加實驗的準確度，我們在儀器與電子秤之間加裝海綿墊以求減低馬達震動時所帶來的實驗誤差。

3.旋轉速度的疑惑：我們從電腦螢幕可以測量出偏向距離及記錄下球速，再利用這兩個數據對照研究四的結果，可以約略估算出王建民投伸卡球的旋轉速度。

三、王建民是物理及心理學的大師：

由流體力學可知，偏向的距離除了和球速、旋轉速度及旋轉方向的角度有關之外，也跟溫度、溼度、風向及當地的海拔高度有關，而好球帶的範圍又跟打擊者的身高及主審的主觀判斷有關，另外打擊者的打擊習慣也要充分了解，所以一個厲害的投手要有如電腦般的計算能力，才能投出漂亮的球，王建民投球時，有如母獅子獵食，不管獵物是什麼，表情都是一樣沉著。

新的球季開始了，王建民正式成爲洋基隊的王牌投手，剛開季時，王建民拿下六連勝，三振次數也有大幅進步，但卻在最近七場比賽都無法拿下勝投，且失分都不少，而在我們努力研究，發現了以下幾點：

(一)王建民在壘上有人時，呈現兩極化的結果，不是三振就是被擊出安打，在於控球不穩定，一直投出偏高的球被打者鎖定。

(二)王建民的滑球雖有進步，但現在有放手點與伸卡球搞混的情況，推測伸卡球放球點較高，滑球較低，若以較低的放手點投伸卡球，會使球路改變，而形成壞球或被擊出安打。

(三)王建民在球數領先或落後時，投變化球誘惑不了打者，不僅用球數變多，也造成投出壞球而保送打者。

因此，我們對 2008 的王建民有以下建議：

(一)投伸卡球及滑球的姿勢要固定。

(二)直球的控球要更好，盡量壓低球路。

(三)改善心理因素，希望能在壘上有人時，還可以投出想要的位置。

王建民身上背負的是許多人的目光、媒體的焦點，最重要的是要能克服失多分的陰霾，繼續爲台灣爭光。

陸、結論

一、球體偏向的原理可用白努利定律解釋，而我們設計的球體偏向觀測器可以用來說明白努力定律。

二、偏向力的方向會和球體的旋轉軸保持垂直。球體向正前方旋轉時，偏向力會垂直向下；球體向正後方旋轉時，偏向力會垂直向上；球體的旋轉面偏左時，偏向力會偏右；球體的旋轉面偏右時，偏向力會偏左。因此要投出各種變化球，只要調整球體的旋轉方向的角度，簡易發球器就是利用這個原理所設計而成的。

三、球體旋轉速度越快偏向力越大，當風速越快時偏向力也會越大。

四、伸卡球的球體旋轉方向爲向左前方，傾斜的角度越大橫向的偏離會越大，縱向偏離會較小，球速越快橫向及縱向的偏離都是減小，球體旋轉速度越快橫向及縱向的偏離都會增大，因此要成功的投出一個漂亮的伸卡球難度很高。

柒、願景

正趕上王建民的熱潮，但以國中生的物理知識很難了解球體偏向的原理，在我們努力之下，製作了兩部教具，分別是球體偏向觀測器及變化球發球器，如有機會我們會以這兩部教具爲大家說明王建民投球的原理，讓大家看球賽不僅是看精彩，而是可以深入了解其中的奧秘。

捌、參考資料

一、李家維 (民 96) 科學人 P118~124

二、史家瑩 (民 96) 翰林版自然與生活科技三上 P205

三、呂文賢 (民 84) 棒球技巧入門 P38~53

四、林明瑞 (民 96) 高級中學 物質科學 物理篇下冊 P150

五、謝曉星 (民 80) 基本流體力學

附件　(一)

球數	時間	球種	結果	球速(mph)	飛行時間(1/70 秒)	縱向實偏(cm)	橫向實偏(cm)	偏移力(g)
1	7:59	伸卡	內滾	91	27	60.7	66.5	13.2
2	8:40	伸卡	界滾	90	24	54.8	80.2	20.1
3	9:06	直球	B	94	27	0	0	0
4	9:24	滑球	界滾	83	26	62.6	95.9	20.5
5	9:54	滑球	界滾	84	25	71.3	103.1	23.8
6	10:17	伸卡	B	94	25	59.3	34.8	8
7	10:41	伸卡	內滾	93	24	56.7	58.7	14.7
8	11:21	直球	S	95	27	0	0	0
9	11:43	伸卡	B	93	26	52.8	45	9.6
10	11:57	指叉	B	89	26	62.6	13.7	2.9
11	12:11	伸卡	內滾	93	24	57.3	63.4	15.9
12	13:17	伸卡	S	92	26	51.1	71.6	15.3
13	13:38	直球	S	94	27	0	0	0
14	14:06	伸卡	S	92	26	60.7	56.7	12.1
15	25:30	伸卡	B	0	27	54.4	56.3	11.1
16	25:45	伸卡	B	92	27	54.4	46.9	9.3
17	26:04	伸卡	內滾	92	24	58.7	47	11.8
18	26:40	直球	外飛	95	26	0	0	0
19	27:18	伸卡	B	95	28	54.8	35.2	6.5
20	27:34	直球	S	95	24	0	0	0
21	27:48	伸卡	內滾	94	26	47	61.4	13.1
22	35:10	伸卡	B	0	28	46.9	56.3	10.4
23	35:25	伸卡	內滾	0	28	52.5	50.6	9.3
24	36:08	指叉	B	88	26	50.6	5.6	1.2
25	36:32	伸卡	內滾	92	25	54.4	52.5	12.1
26	37:25	滑球	S	83	29	60	58.1	10
27	37:43	伸卡	外飛	93	26	58.1	41.3	8.8
28	46:40	伸卡	S	0	26	52.2	61.2	13.1
29	46:57	滑球	B	0	30	52.5	88.1	14.1
30	47:10	變速	S	85	27	61.9	56.3	11.1
31	47:30	變速	S	84	28	82.5	45	8.3
32	48:00	指叉	B	87	28	54.8	7.8	1.4
33	48:14	伸卡	B	94	28	54.4	28.1	5.2
34	48:31	直球	S	95	26	0	0	0
35	48:47	指叉	B	87	25	50.6	3.8	0.9
36	49:03	伸卡	外滾	93	26	46.9	46.9	10

37	49:44	滑球	B	83	30	60.7	68.5	11
38	50:52	變速	B	80	29	56.7	68.5	11.8
39	51:16	伸卡	內滾	92	25	52.5	63.8	14.7
40	1:02:16	伸卡	界飛	0	25	54.8	43	10
41	1:02:35	指叉	外飛	0	28	47	13.7	2.5
42	1:03:31	滑球	B	0	29	46.9	65.6	11.3
43	1:03:55	伸卡	S	92	26	52.2	45	9.6
44	1:04:53	伸卡	內滾	94	25	46.9	43.1	10
45	1:05:35	伸卡	S	92	27	61.9	46.9	9.3
46	1:05:53	直球	B	96	27	0	0	0
47	1:06:15	指叉	B	88	26	54.4	9.4	2
48	1:06:28	伸卡	B	93	27	55.8	36	7.1
49	1:06:46	直球	B	94	26	0	0	0
50	1:07:23	鏡頭外	B	0	0	0	0	0
51	1:07:56	伸卡	界滾	93	26	43.1	60	12.8
52	1:08:56	直球	S	95	26	0	0	0
53	1:23:25	直球	左全	0	26	0	0	0
54	1:24:11	伸卡	S	0	26	48.8	52.5	11.2
55	1:24:26	指叉	B	0	29	67.5	26.3	4.5
56	1;24:50	變速	內滾	83	28	46.9	48.8	9
57	1:25:35	伸卡	內滾	94	24	46.9	45	11.3
58	1:26:15	伸卡	界飛	94	25	41.3	46.9	10.8
59	1:26:35	伸卡	B	93	25	58.1	50.6	11.7
60	1:26:58	指叉	B	88	28	58.1	20.6	3.8
61	1:27:30	變速	界滾	85	26	46.9	37.5	8
62	1:28:10	變速	S	84	29	61.9	46.9	8.1
63	1:51:20	滑球	B	0	27	46.9	71.3	14.1
64	1:51:38	伸卡	B	0	28	46.9	63.8	11.7
65	1:51:56	伸卡	S	90	29	63.8	84.38	14.5
66	1:52:12	變速	S	81	32	54	72	10.2
67	1:52:30	鏡頭外	B	92	26	0	0	0
68	1:52:50	伸卡	界飛	92	25	56.3	52.5	12.1
69	1:53:26	伸卡	外飛	92	26	52.2	52.2	11.2
70	1:54:00	指叉	B	88	25	60	24.4	5.6
71	1:54:20	伸卡	界飛	93	26	48.8	46.9	10
72	1:54:40	直球	內滾	94	25	0	0	0
73	1:55:28	變速	右飛	84	26	63.8	46.9	10
74	1:56:18	變速	S	85	26	50.6	22.5	4.8
75	1:56:43	伸卡	界滾	93	26	55.8	39.6	8.5

76	1:57:24	變速	界飛	85	26	56.3	28.1	6
77	1:57:58	指叉	B	83	29	77.4	9	1.5
78	1:58:23	伸卡	界滾	94	26	56.7	35.2	7.5
79	1:59:06	直球	界飛	94	26	0	0	0
80	1:59:49	直球	界飛	94	24	0	0	0
81	2:00:30	變速	界滾	84	28	56.3	33.8	6.2
82	2:01:09	變速	S	85	30	43.3	38.1	6.1
83	2:12:29	直球	B	0	26	0	0	0
84	2:12:51	伸卡	內滾	93	24	58.1	46.9	11.8
85	2:13:36	變速	B	86	26	50.4	30.6	6.5
86	2:13:52	變速	外飛	87	27	34.2	36	7.1
87	2:14:34	直球	B	94	25	0	0	0
88	2:14:52	變速	外飛	84	26	56.3	46.9	10

【評語】031615

1. 利用縫紉機馬達設計一個簡易的發球器，實際驗證白努利方程及歸納實驗結果，確具創意及實事求是之態度，具正確之科學精神，所得結果分析清楚，表達生動。
2. 主題較普遍性，相似之討論不少，較少主題之創意。
3. 團隊合作極佳，分工合作分明，整體合作氣氛熱絡。