

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

040101

會下沈的的伸卡球

學校名稱：國立中壢高級中學

作者： 高二 柯建佑 高二 林廷宇	指導老師： 王黎順
-----------------------------	------------------

關鍵詞： 伸卡球、白努利定律

壹、摘要

一般球體若以不旋轉的狀態在一均勻重力場下做水平拋射僅會有因重力所造成的鉛直方向位移，但若一開始便施與球體一相當的轉數，造成球體兩側因白努力效應所造成的壓力差，便可使球在離開投手丘到本壘板的十八公尺移動軌跡內有顯著的改變。甚至可以藉由改變出手的角度及握法給予球縱向的位移。

實驗中我們製作簡易的高速風動系統和整流裝置模擬出可讓球進行相對運動的風動力，再配合上所設計的低摩擦力介面即可將這些球體的變化軌跡數據化。

貳、研究動機

「一人出局，一、三壘有人。打擊輪到紅襪第四棒 Manny Ramirez。球投出、打擊出去，一顆強勁的二壘方向滾地球，二壘手 Robinson Cano 把球接住，快傳二壘再傳一壘，完成雙殺，太好了！」體育台主播激動的吼著，全國上下歡欣鼓舞。這天又是個全民棒球日，三更半夜不論男女老少都緊盯著電視上王建民的一舉一動。特別是在他出手的瞬間，更繃緊了神經，在打者擊出滾地球、被壘手封殺後才鬆了口氣，讚嘆道：「那顆伸卡球可真會鑽啊，總往右打者的內角鑽去！」這時我不禁想到：物體在做斜拋或平拋的運動時，都只會有前後以及鉛直方向的位移，如今在沒有受外力下哪來其他方向的移動呢？又聽主播說王建民的伸卡球威力很強，去年只被打出九支的全壘打，而前年和他並列勝投王、今年的自責分率又比他低的 Johan Santana 卻被擊出高達三十三支的全壘打，同樣是投球，這差異到底在哪？

參、研究目的

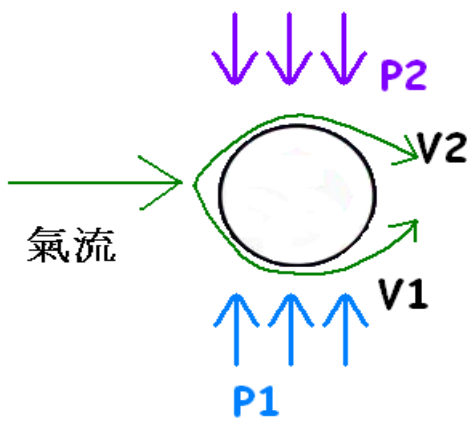
- 一、製作及測試簡易風洞系統
- 二、製作及測試球體轉動模型
- 三、模擬及紀錄直球及各種變化球的臨場狀況
- 四、比較理論狀況與實際狀況

肆、研究設備及器材

- 一、簡易風洞一組
 - (一) 高速送風機：1 架
 - (二) 可變電組：1 個
 - (三) 風速計：1 台
 - (四) 鐵罐：數個
 - (五) 粗吸管：數支
- 二、球體轉動模型一組
 - (一) 比賽用棒球：數個
 - (二) 轉速計：1 台
 - (三) 定滑輪：1 組
 - (四) 法碼：數個
 - (五) 低摩擦界面：1 組
 - (六) 電子秤：1 台
 - (七) 馬達：數個

伍、研究原理與相關名詞

- 一、球體位移原理：白努力定律



P_1 : 下方氣壓
 P_2 : 上方氣壓
 v_1 : 下方氣流速度
 v_2 : 上方氣流速度
 ρ : 氣體密度

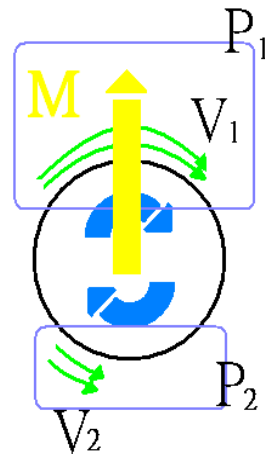
$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2$$

二、 相關名詞

(一) 馬格納斯力 (M) : 因為球體上下方產生壓力差所導致位移的一個假想力

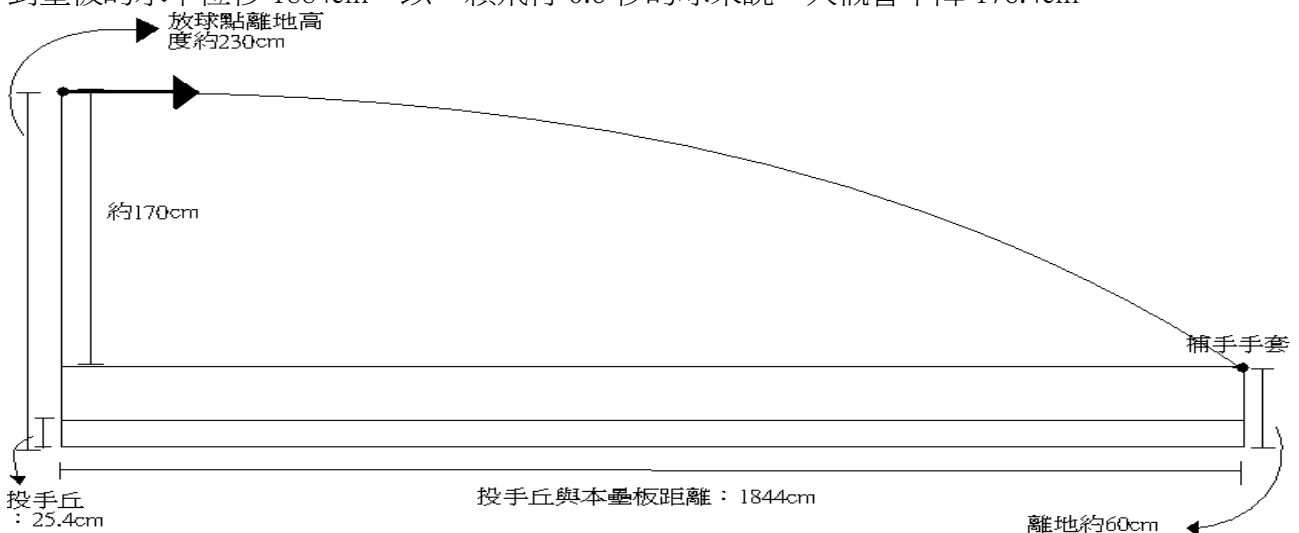
(二) 尾勁 (movement) : 球在進壘後用肉眼所觀察出因為馬格納斯力所產生的位移

三、 相關探討



$$\begin{array}{l}
 V_1 > V_2 \\
 P_1 < P_2
 \end{array}$$

一般來說投手應該都有 180cm 高，而投手丘又應比本壘板高出十吋 (25.4cm)，在加上投手投球的出手高度和零零總總的因素，若不討論球的旋轉，光萬有引力影響在球體離開手後到壘板的水平位移 1884cm，以一顆飛行 0.6 秒的球來說，大概會下降 176.4cm。



所有的變化球都是因應直球而生的，這點從投手的配球就可以發現——一個再怎麼仰賴變化球的投手的配球中直球一定都超過 50%。由於不管再怎麼快的球，看久了總能適應它的速度加以攻擊。這時投手就要想辦法將球速慢下來或改變球的軌跡，這時變化球就發揮了它的功能。

另外，四縫線直球之所以比二縫線快是因為其旋轉一周所碰到的橫向縫線比二縫線多兩條，而這縫線可擾亂球體週邊的氣流形成亂流，而物體在亂流中的風阻又比穩定流來的小，所以在經過 18.44m 後原本速度相同的四縫線、二縫線也顯出了差異。指叉球也是運用這種原理。

陸、研究過程、結果與討論

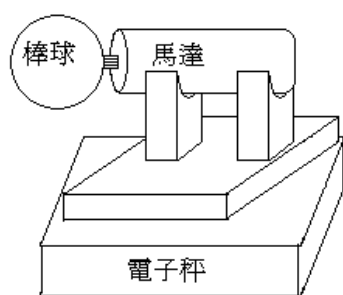
研究一、如何測試球體在高速行進下所產生的爲移

探討 1、設計可測出縱向位移的實驗

目的：設計出一實驗使球體的位移不在只能用肉眼觀察而可經精確的測量後得知

構想：在能力範圍內，要使球速達到150km/hr和極高的轉數是非常困難辦到並且很難用工具去觀測的。不如就將本來預設爲固定的空氣轉化成高速氣流、把高速移動的球體固定住，使兩者行成和現實情況相似的相對運動。

。再藉由高速馬達提供球的轉數則可以模擬出和現實情況相似的實驗。



(實驗設計)



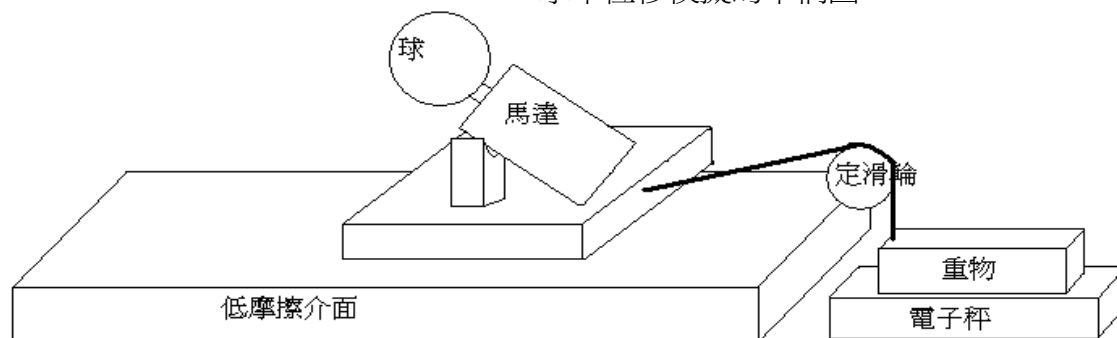
(實際圖像)

探討 2、設計可測出橫向位移的實驗

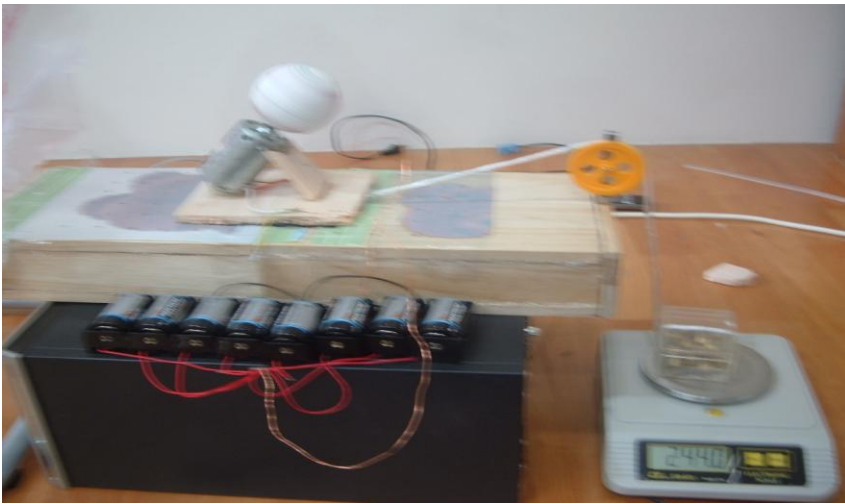
目的：設計出一實驗使球體的橫向位移不在只能用肉眼觀察而可經精確的測量後得知



水平位移模擬的草稿圖



實驗設計圖。重物所減少的重量及爲馬格納斯力的橫向分力所施的力



實際圖像

討論：1、如何克服摩擦力？A：見《研究三》。

2、如何克服馬達未達球心而產生晃動？

A: 由於很難用手工去尋找球心，而馬達若非鑽入球心就容易在旋轉時產生晃動。所以特別去找了車床加工廠請他們幫忙用精密的工業儀器把球心鑽出。再利用海棉吸收剩餘的晃動。



研究二、如何產生一個高速的穩定流？

目的：製作一個可模擬高速行進下的棒球球速的穩定動力。

步驟：利用廢紙箱製作其動力段、收縮段及整流段。

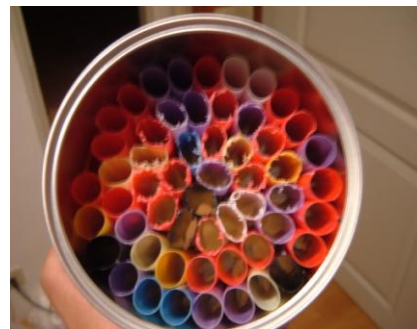
1、動力段：最初是採用工業立扇作為吹入風力，實驗後發現就算進行了收縮還是與預期風速有很大的差異。後來改用噴流式的高速吹塵器。

2、收縮段：本為最初用來縮小口徑以增加風扇風速，實驗後發現效果不彰。改以噴流式吹塵器後已達預期風速便不必再使用。

3、整流段：將用已整順送風機輸出的紊亂氣流以免影響實驗。採吸管製成。



(10000rpm 二極馬達的吹塵器達到預定風速)



(使用鐵桶及粗吸管作為整流段)

結果：使用高速吹塵器後達到目標耶 150km/hr 的風速，並皆將亂流整順。

討論：吹塵器的口徑是否太小要進一步去測試。整流段是否會影響到實驗的風速還要進一步的測試。

研究三、如何使實驗中的模型所生成之能量不散失？

探討 1、低摩擦平台製作。

目的：製作一個低摩擦力平台使在其上運作的實驗不會消耗無謂的能量。

步驟：將兩塊 27.8×19.7×1.2 (A 4) 的木片作為基礎，並將兩片之寬邊黏合。家一些附著於板面上的添加物以減低其摩擦係數，並實驗之。

添加物（改良）	拉動 300g 所需最大靜摩擦
用砂紙把面磨平	160gw
打臘	140gw
黏上塑膠片	60gw

討論：雖然降低了很多但還是有其門檻，必須再另尋出路。

探討 2、運用風使摩擦力降低

目的：降低摩擦力

步驟：將原本單一的版子製作成一只一開口的木箱，再這開口吹入一定強度的氣流，並再放置實驗模型的面上鑽洞，使模型和平面間有道空氣層、大幅降低摩擦力。



(鑽孔平台)



底部送風

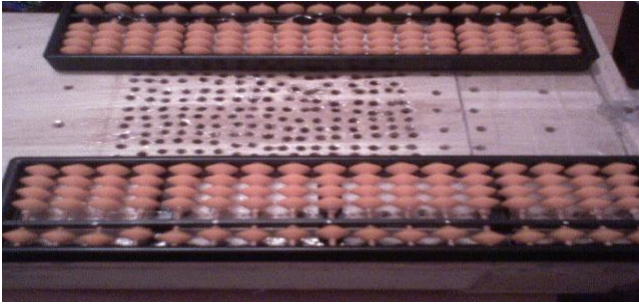
運用小風扇發現風量不足，改成用工業用風扇再把風力集中到木盒中。

討論：效果有限，還是要想其他辦法

探討 3、利用算盤

目的：大幅降低摩擦力

步驟：把算盤黏在測試平台上並固定下方的第一顆算珠讓實驗模組不會左右晃動



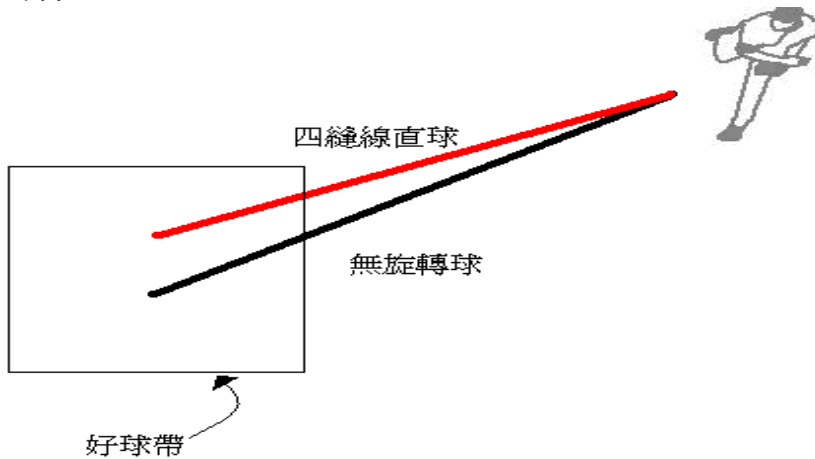
研究四、四縫線直球在投出後的路徑中風力對其做了多少功，其位移為多少？

目的：經實驗取得以上四縫線直球的資料再加以分析



探討 1、四縫線直球的原理與軌跡，並設計可測出縱向位移的實驗

理論上因為四縫線直球是由下往上轉（打者方向看來），所產生的馬格納斯力應該是會往上，也就是像上作功。因此只要把旋轉中的球放在電子秤上再向它吹風，就可以測出它所做的功。



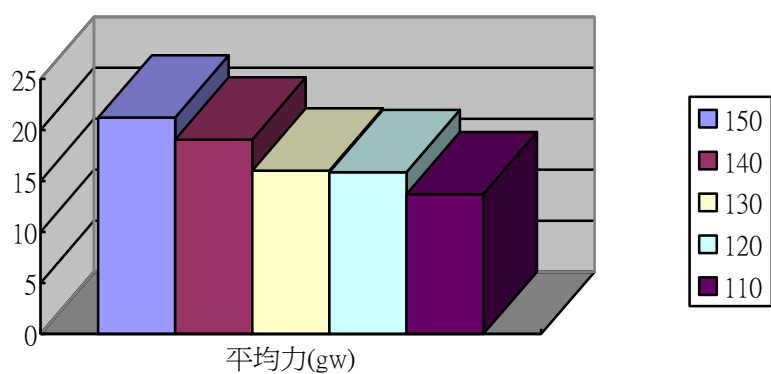
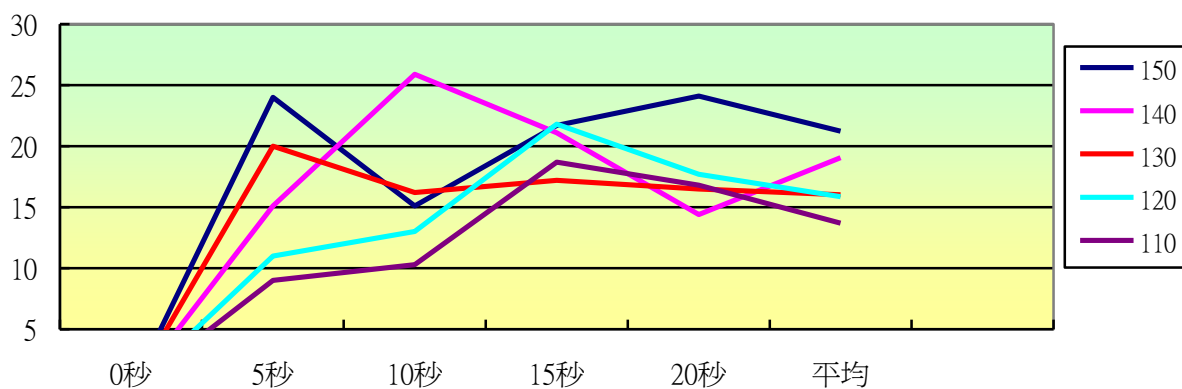
理論上四縫線的進壘點

探討 2、利用實驗測出球速對位移的影響

在啟動馬達時系統等電子秤不在跳動時，固定轉數（12V），調整風洞至所需風速（150、140、130、120、110），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均（如下表）。

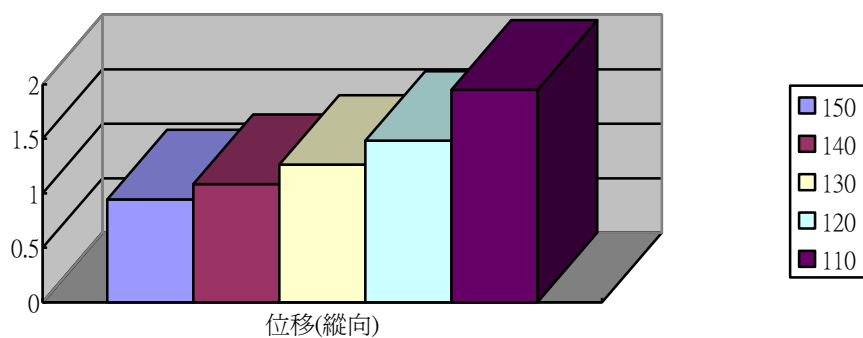
Km/hr	秒	0	5	10	15	20	平均
150	0	24	15.1	21.7	24.1	21.22	

140	0	15.1	25.9	21.1	14.4	19.07
130	0	20	16.2	17.2	16.5	16.02
120	0	11	13	21.8	17.7	15.87
110	0	9	10.3	18.7	16.8	13.7



由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

球速	位移(縱向)
150	0.944
140	1.086
130	1.262
120	1.482
110	1.95

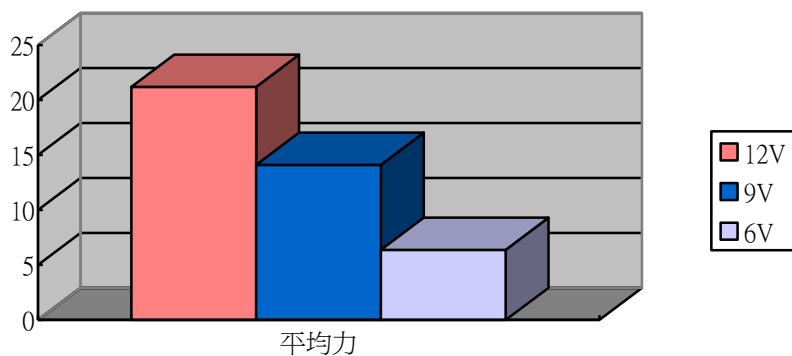
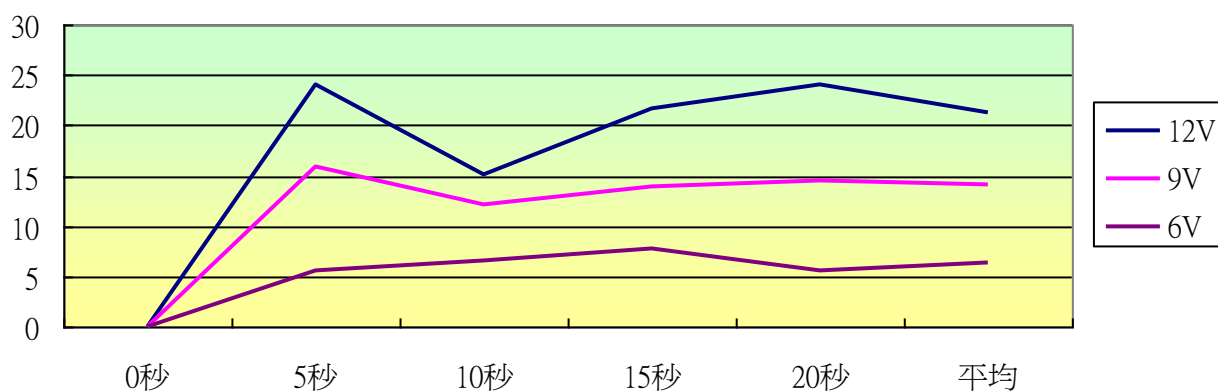


由上圖可知球速愈快所受的馬格納斯力就愈大。

探討 3、利用實驗測出轉數對縱向位移的影響

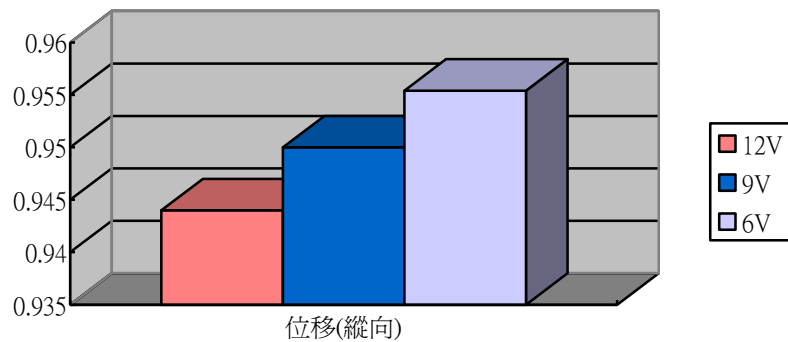
在啓動馬達時系統等電子秤不在跳動時，固定風速（150km/hr），調整馬達至所需轉數（12V、9V、6V），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均（如下表）

V	秒	0	5	10	15	20	
12V	0	0	24	15.1	21.7	24.1	21.22
9V	0	0	15.8	12.2	13.9	14.5	14.1
6V	0	0	5.6	6.5	7.82	5.6	6.375

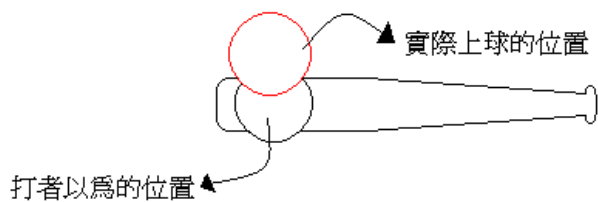


由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

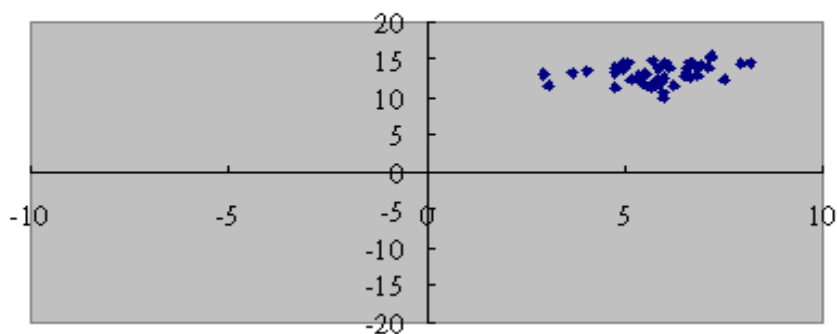
轉數 (V)	位移(縱向)
12	0.944
9	0.95
6	0.9554



看起來雖然不多，但像郭泓志、藤川球兒這種專門投四縫線快速球的投手還能夠再增加轉速、增加壓力差將這差距拉到 10 公分以上，就可以輕易的三振打者或使棒子擊到球的下緣形成高飛球。



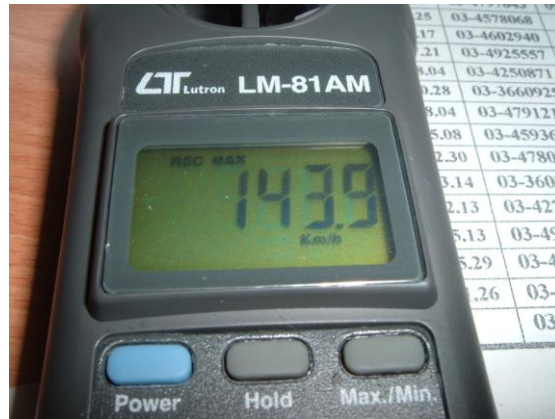
郭泓志四縫線球實際進壘點



討論：快速球是否真的會上升? A:答案是否定的，至少目前為止還沒有測出能和地心引力相抗衡的馬格納斯力，一般說的『上升』的進壘點都是相對比打者所設定的擊球點再高一些。

研究五、伸卡球在投出後的路徑中風力對其做了多少力，其位移為多少？

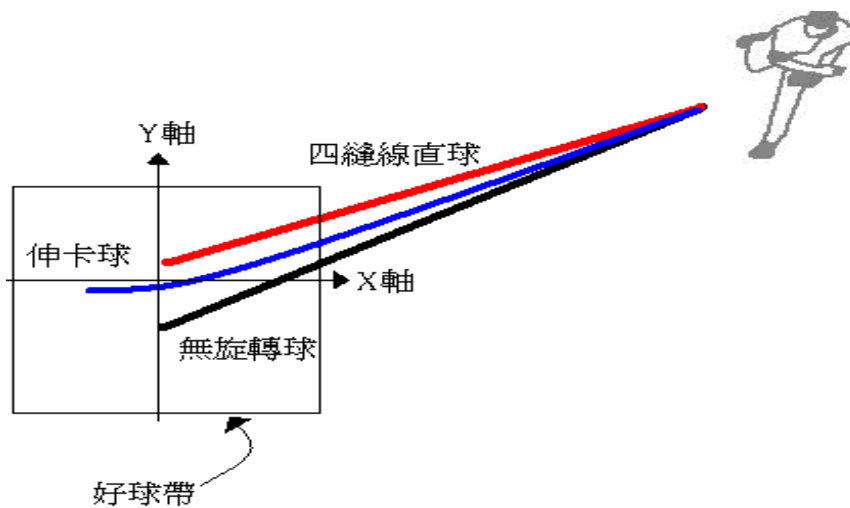
目的：經實驗取得以上伸卡球的資料再加以分析



探討 1、伸卡球的原理與軌跡，並設計可測出橫向位移的實驗

伸卡球其實是二縫線直球的變形，原理跟四縫線直球相近，但因食指和中指貼在球的兩個縫線上，較容易使球產生向左(食指較用力、噴射球)或向右(中指較用力、伸卡球)的尾勁。

理論上伸卡球若是在無重力的狀況下因為它是由左上往右下旋轉（從打者的角度），所產生得馬格納斯力會往左上方。但因為萬有引力而且它鉛質方向的馬格納斯力分量又不多所以相較於四縫線直球，的軌跡會是往右打者的內角鑽。

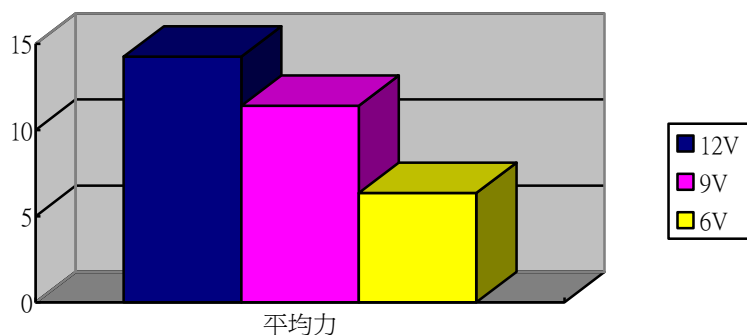
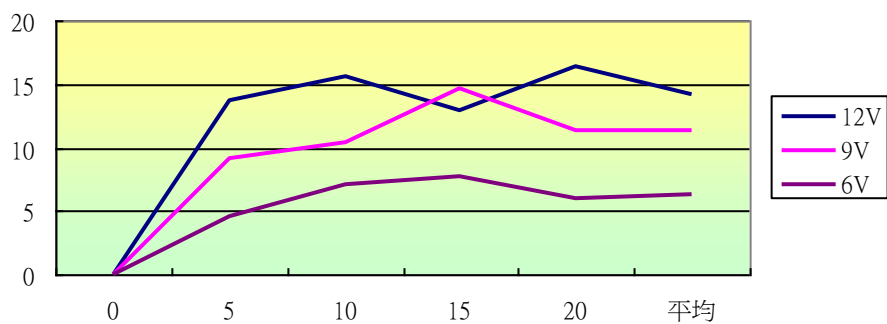


理論上伸卡球的進壘點

探討 2、利用實驗測出轉數對縱向位移的影響

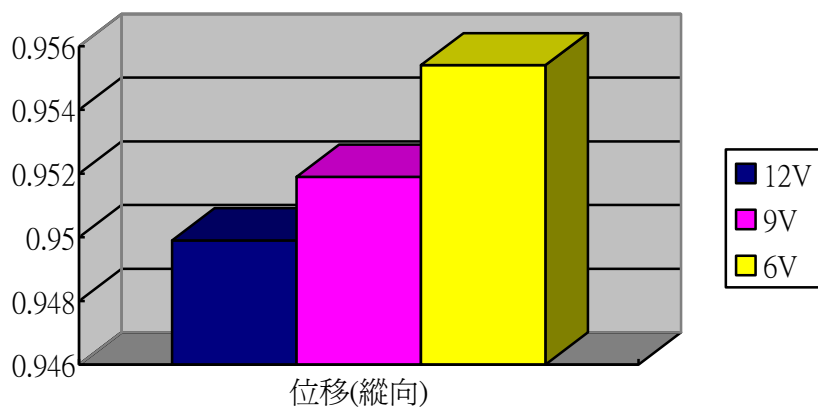
在啟動馬達時系統等電子秤不再跳動時，固定風速（150km/hr），調整馬達至所需轉數（12V、9V、6V），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均力(gw)（如下表）

V \ 秒	0	5	10	15	20	平均
12V	0	13.7	15.6	12.9	16.4	14.25
9V	0	9.1	10.4	14.7	11.4	11.4
6V	0	4.6	7.1	7.7	6	6.35



由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

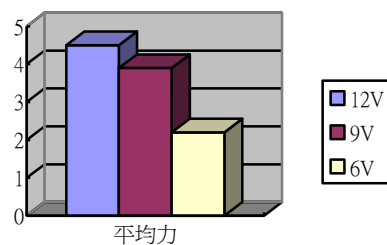
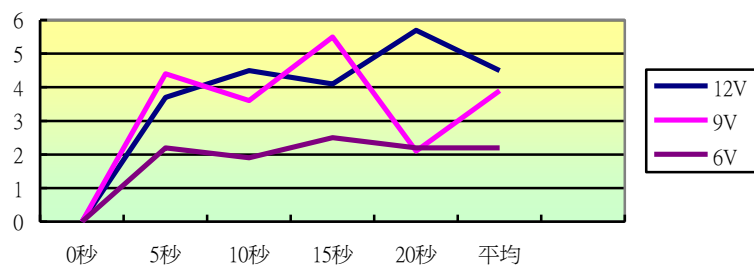
轉數 (V)	位移(縱向)
12	0.9499
9	0.9519
6	0.9554



探討 3、利用實驗測出轉數對橫向位移的影響

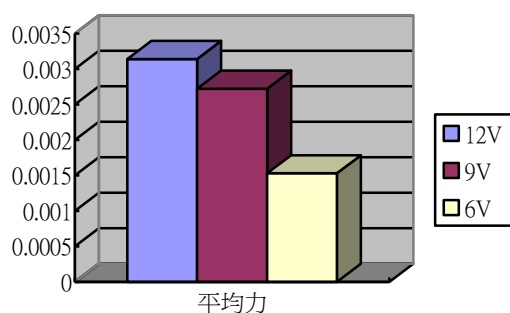
在啓動馬達時系統等電子秤不在跳動時，固定風速（150km/hr），調整馬達至所需轉數（12V、9V、6V），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均力（如下表）

秒	0	5	10	15	20	平均
V						
12V	0	3.7	4.5	4.1	5.7	4.5
9V	0	4.4	3.6	5.5	2.1	3.9
6V	0	2.2	1.9	2.5	2.2	2.2

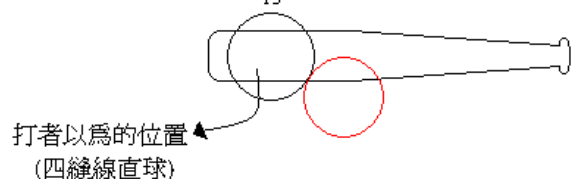
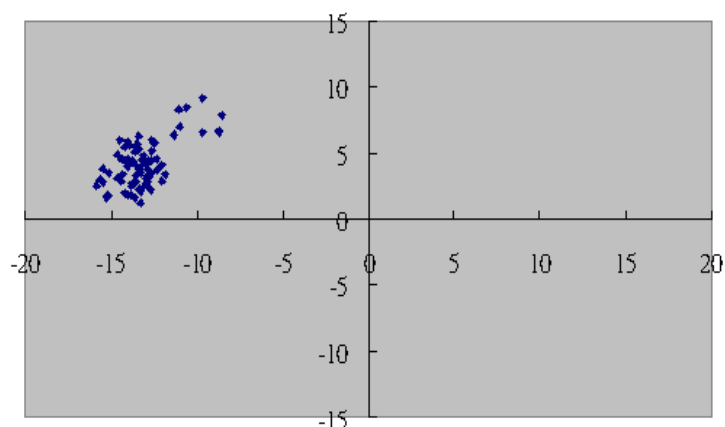


由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

轉數 (V)	位移(縱向)
12	0.00314
9	0.00272
6	0.00153



王建民伸卡球實際進壘點



也許看起來並不是很多，可是在實際上的棒球比賽同樣都是直球的四縫線和二縫線看起來根本沒有不同，但打者揮棒所擊中的球心或球心旁 3、4 公分的差異卻可以是內野滾地球和全壘打，壓低長打，也就是王建民在 MLB 這種棒球殿堂連續兩年得到 19 勝的利器。根據數據推測王建民的伸卡球之所以特別的『下沉』可能是因為馬格納斯力的垂直分力較小，所以受地心引力的影響較大，讓打者有球在下沉的錯覺。

討論：伸卡球會不會下沉？ A:若看球單體的軌跡是下沉的沒錯，但比起不會旋轉的球的進壘點高，但又較打著所設定快速的擊球點來的低，所以被稱為沉球（sinker）

研究六、曲球在投出後的路徑中風力對其做了多少力，其位移為多少？

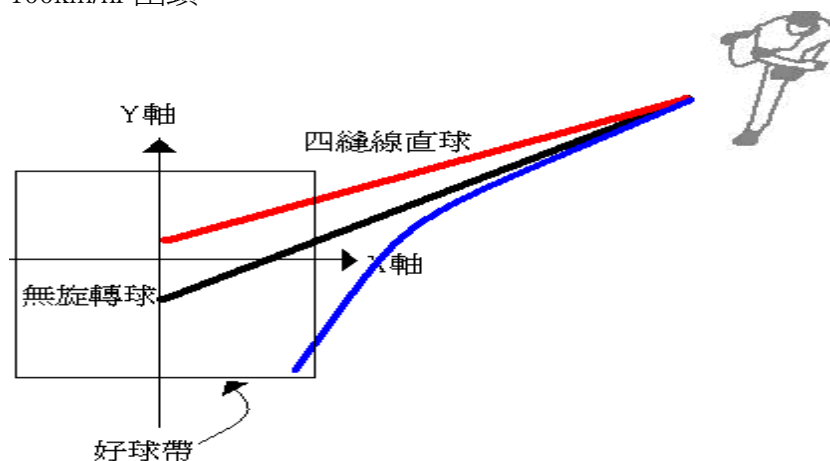
目的：經實驗取得以上曲球的資料再加以分析



探討 1、曲球的原理與軌跡

曲球是一種和四縫線、二縫線直球完全不同的球種，有別於直球是由前往後轉（從打者方向看來），曲球是由後往前轉的使的馬格納斯力和萬有引力同方向，造成相對於直球劇烈的下沉。又隨著不同角度的出手改變橫移與下墜的幅度。

由於必須旋轉手腕已增加球逆向的旋轉，得犧牲很多球速，所以一般的曲球球速都落在 100km/hr 出頭。



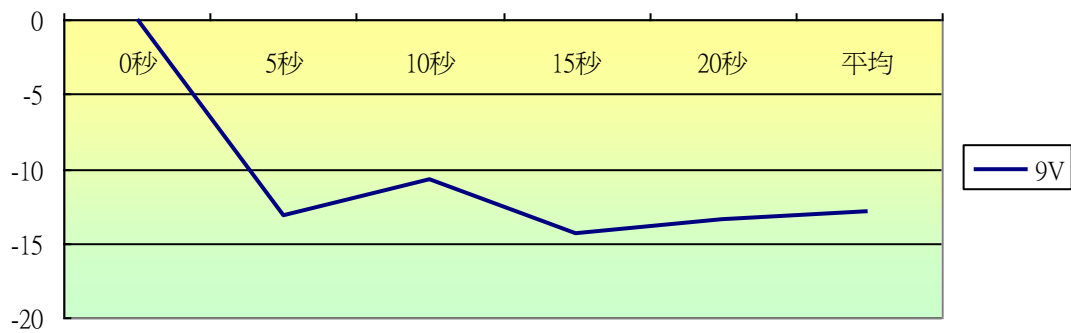
理論上曲球的進壘點

實驗中所要測試的曲球也是同時擁有橫向與縱向的位移所以要利用《研究四》及《研究五》的實驗。

探討 2、利用實驗測出轉數對縱向位移的影響

在啟動馬達時系統等電子秤不在跳動時，固定風速（110km/hr），調整馬達至所需轉數（9V），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均（如下表）

秒	0	5	10	15	20	平均
V	0	5	10	15	20	平均
9V	0	-13.1	-10.7	-14.4	-13.4	9V



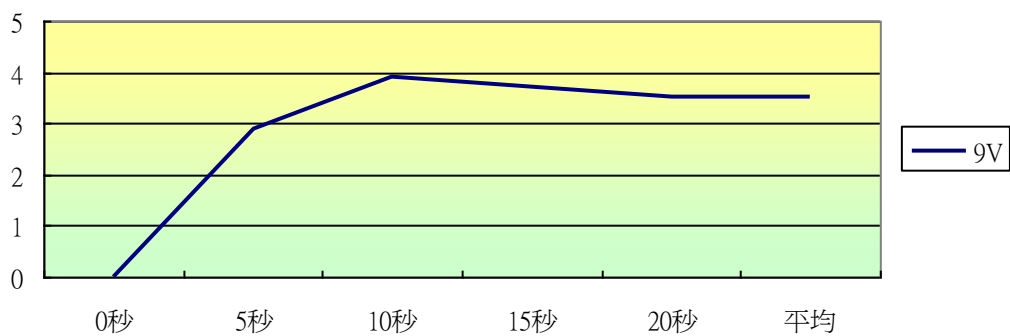
由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

轉數 (V)	位移(縱向)
9	1.988

探討 3、利用實驗測出轉數對橫向位移的影響

在啓動馬達時系統等電子秤不在跳動時，固定風速（110km/hr），調整馬達至所需轉數（12V、9V、6V），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均（如下表）

V \ 秒	0	5	10	15	20	平均
9V	0	2.9	3.9	3.7	3.5	3.5

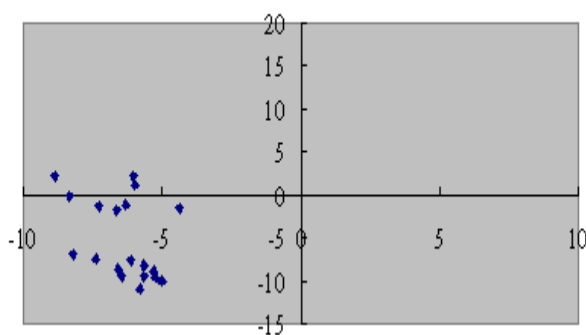


由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

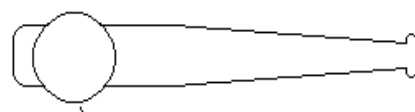
轉數 (V)	位移(縱向)
9	0.00502



Barry Zito 曲球實際進壘點



實際位置



打者以為的位置

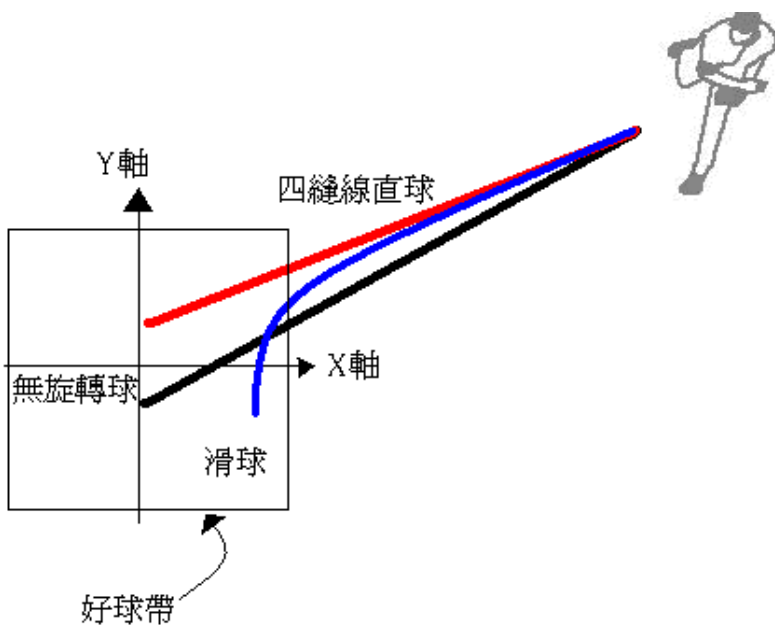
研究七、滑球在投出後的路徑中風力對其做了多少功，其位移為多少？

目的：經實驗取得以上滑球的資料再加以分析



探討 1、滑球的原理與軌跡

滑球原理和曲球相近，但少了手腕的轉動只有手指給球帶來的側旋，再有一點點向前旋轉，整體來說因為少了手腕的旋轉而可以有較高的球速（約 135km/hr）。



理論上滑球的進壘點

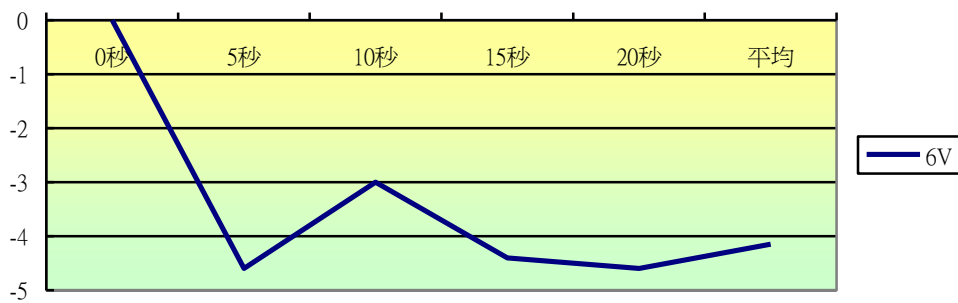
實驗中所要測試的滑球也是同時擁有橫向與縱向的位移所以要利用《研究四》及《研究五》的實驗。

使用五顆電池稍微減低電壓以減少轉速。

探討 2、利用實驗測出轉數對縱向位移的影響

在啟動馬達時系統等電子秤不在跳動時，固定風速（135km/hr），調整馬達至所需轉數（6V），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均（如下表）

秒	0	5	10	15	20	平均
6V	0	-4.6	-3	-4.4	-4.6	-4.15



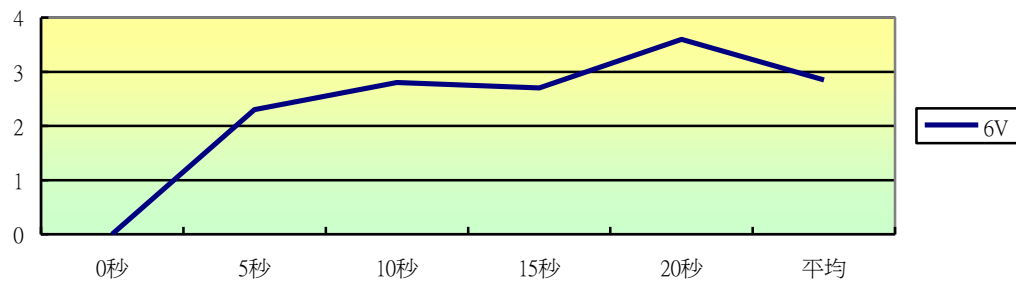
由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

轉數 (V)	位移(縱向)
6	1.188

探討 3、利用實驗測出轉數對橫向位移的影響

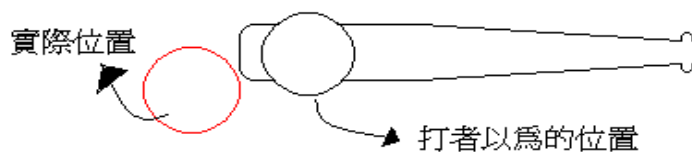
在啟動馬達時系統等電子秤不在跳動時，固定風速（350km/hr），調整馬達至所需轉數（6V），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均（如下表）

V	秒	0	5	10	15	20	平均
9V	0	2.9	3.9	3.7	3.5	3.5	3.5



由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

轉數 (V)	位移(橫向)
6	0.00251

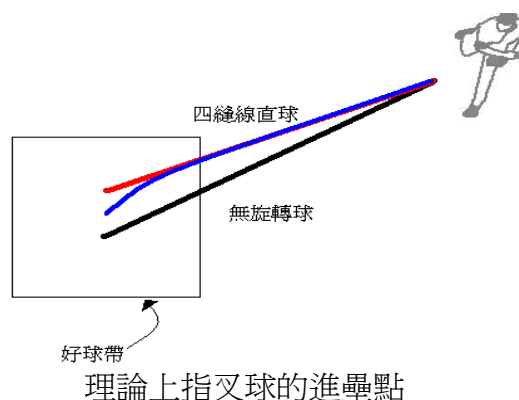


擁有「變化球王道」之稱的滑球是近年來投手必備的球路之一。由於行進軌道與直球時分相似，打者通常是帶揮棒時才發現不對勁，卻也遭到了三振。當年 MLB 勇士王朝三巨投之首 Greg Maddux 就是擁有超過 140km/hr 的高速滑球讓他有四個球季 WHIP 註值在 1.00 以下、兩個球季自責分率在 2.00 以下的誇張成績。

(註：「WHIP 值」為「每一局被上壘人數」)

研究八、指叉球在投出後的路徑中風力對其做了多少力，其位移為多少？

目的：經實驗取得以上指叉球的資料再加以分析



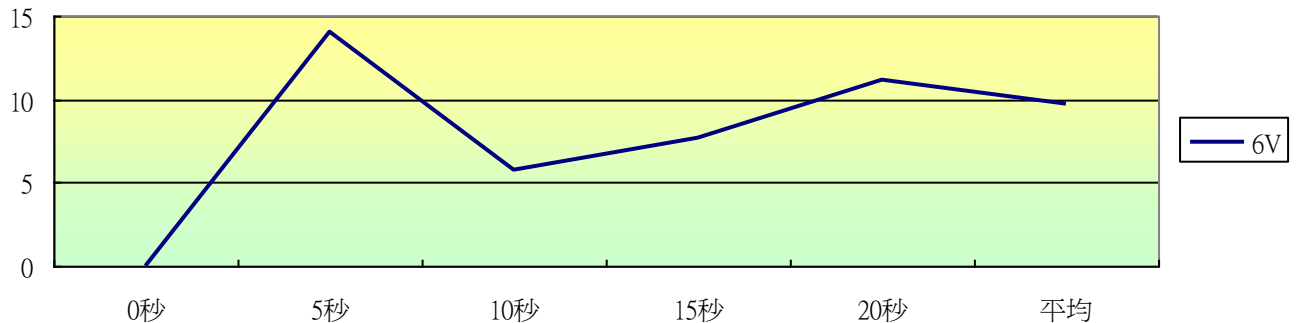
探討 1、指叉的原理與軌跡

指叉球是將兩隻手指貼緊球的表面而非縫線，使球出手後如一般直球前進，但因為沒有手指和縫線的摩擦球體的旋轉會比直球少很多，大約只有一半。又因為在持球時手指是夾在較像方的位置，相較於速球著握法，指叉球因距球心的距離較短所產生的力臂比較小、力矩叫小、轉數也就比較少。所以它行進間所產生的風阻使球到本壘板時突然「煞車」、往下墜。但因為球會大幅下墜，只要投手不小心投低一點，就很容易「挖地瓜」。

探討 2、利用實驗測出轉數對縱向位移的影響

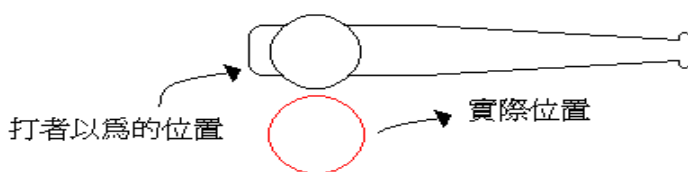
在啓動馬達時系統等電子秤不在跳動時，固定風速（130km/hr），調整馬達至所需轉數（6V），記錄 20 秒內每 5 秒的值在取平均（如下表）

V	秒	0	5	10	15	20	平均
6V		0	14	5.8	7.7	11.2	9.675



由 $F=ma$ 和 $S=1/2at^2$ 可得位移如下表

轉數 (V)	位移(橫向)
6	0.00251

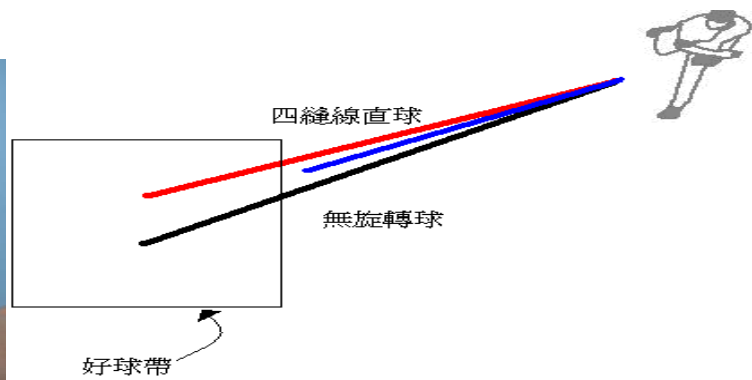


此球種揮臂方法與直球相同，但是有個極大差異，直球的威力在於手腕扣球。扣球可使球變快許多，在投指叉球時無法使用手腕來給予球速度，只能由手臂手肘來施加力量。故有些指叉投手是手肘傷、有些是手臂傷。因此許多小聯盟球隊都已對它下了禁用令。

但還有一種「快速指叉球(splite-finger)」對手臂負擔較小，是食、中兩指不完全打開，所以出手時的使力部位比較靠近指尖，造成球速較快，但下墜幅度較小。擁有七座賽揚獎的 Roger Clemens 就有一顆與直球球速無異的快速指叉球。

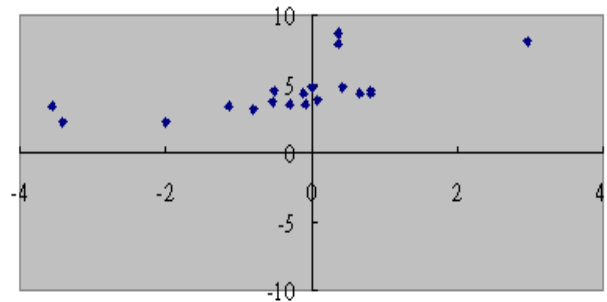
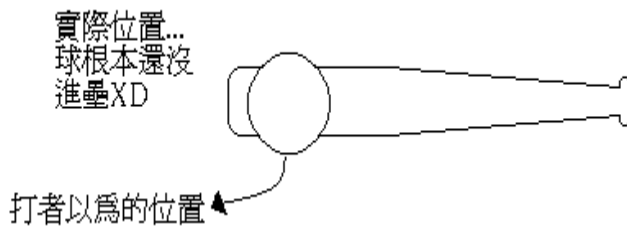
研究九、變速球在投出後的路徑中風力對其做了多少力，其位移為多少？

目的：經實驗取得以上變速球的資料再加以分析



探討、變速球的原理與軌跡理論上變速球的進壘點

Randy Johnson變速球實際進壘點



變速球是一種不傷手臂、好練又有效的球種，是 2006 年球季 MLB 美聯賽揚獎得主 Johan Santana 變化球的主要球種。

主要原理其實不是來自風力與馬格納斯力的影響而是投手的動作及表情。一般好的變速球投手通常也會擁有球速極高的四縫線速球。就拿 Johan Santana 來做例子，他的速球最快可超過 155km/hr，在搭配上約 110km/hr 的變速球，兩者間的速度差高達 40km/hr 之多。許多打著不是揮太快就是揮不到球。

不過變速球的缺點是若被識破，那顆 110km/hr 的球可以說是絕佳的狙擊對象，也因為如此當變速球投手狀況不佳時常常都是全壘打滿天飛。一如 Johan Santana 在 2007 年球季被打了高達 33 之的全壘打，居美聯之冠。

柒、結論

其實真的把所有的感覺數據化以後才了解是這麼一回事，以前總是人云亦云的跟著說「會下沉的伸卡球」、「會上飄的快速球」之類的。做了分析後才發現原來一切變化球都只是相對於速球的進壘角度做變化。畢竟從投手將球投出到本壘板只有約 0.5 秒的時間，打著判斷這球要揮或不揮也只是看投手的放球點。而藉著轉數所造成的馬格納斯力改變放球點後的軌跡也就成了變化球的作用，進而使瞄準一開始放球點的打者不能有效的擊中球心或甚至揮棒落空。

捌、未來展望

若有人再用更精密的儀器去模擬並同時考量到人體的極限，使投手能投出更厲害的球路，也可以說是傳說中的魔球，一定能讓比賽變得更好看、水準更高。

玖、附錄

參考網址

<http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/balllift.html>

<http://todd7622.blogspot.com/2008/01/geei-saw-rising-fastball.html>

<http://twbsball.dils.tku.edu.tw/wiki/index.php>

參考書目

Martin Quigley 著 王希一 譯。騙人的球—變化球的歷史。台北：麥田出版

Robert K. Adair 著 李靜宜譯。牛頓打棒球。台北：牛頓出版股份有限公司

參考數據

所有球種的實際進壘點皆由美國職棒大聯盟 GAMEDAY 觀測系統取得

【評語】 040101

主題與生活經驗相關。能設計實驗模擬不同投法造成球路的改變。惟實驗操作過程與資料呈現可再求精製。