

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組物理科

080106

臺北市大安區古亭國民小學

指導老師姓名

張佩菁

陳君珮

作者姓名

林玟君

宋繼昀

池玟儀

謝易璇

第四十四屆全國中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：物理科

組 別：國小組

作品名稱：轉不轉不一樣

關 鍵 詞：陀螺、旋轉、角動量

編 號：

轉不轉不一樣

壹、摘要：

棒球投手的變化球有伯努利定律的曲球、下墜球、上飄球和卡門渦列的蝴蝶球，其差異就在轉與不轉；若轉的話，會因轉的方向不同而得不同的飛行效果。據了解，棒球曲球是繞著垂直於前進方向的軸旋轉，美式橄欖球繞著前進方向旋轉，全都像陀螺般旋轉，這三者旋轉作用是否相同？為何要旋轉？不轉會怎樣？旋轉球類與陀螺有何關連？為何陀螺旋轉後會站立不倒？有何特質？有沒有其他類似的現象？都很有趣，值得探討。

貳、研究動機：

一天，同學一齊觀賞橄欖球之電視轉播，攻方的四分衛執球長傳，從電視慢鏡頭中，可以看出球的橢圓尖端朝著前方，繞著球的前進軸轉動；看不懂橄欖球傳球為何要旋轉，於是求助爸爸，爸爸解說：「橄欖球旋轉傳球是利用**陀螺現象**，穩住軌跡，可以丟得準，也飛得遠，不會受到卡門渦列之交錯影響而甩尾巴。」

沒玩過橄欖球，對橄欖球甩尾巴的現象沒有概念，但把東方民俗運動的現象比喻到西方球類運動，似乎有點牽強；從課本讀覽（四上自然生活與科技）及課外活動知，快速旋轉後，陀螺站立不倒，扯鈴拋起到落下皆保持定向，旋轉對穩定運動物體似乎有點關連，引起研究興趣，因此要做實驗、觀察及模擬，徹底求證**陀螺現象**。



圖 1 棒球投手出手盡其刁鑽



圖 2 橄欖球四分衛傳球保持球體直行易接。

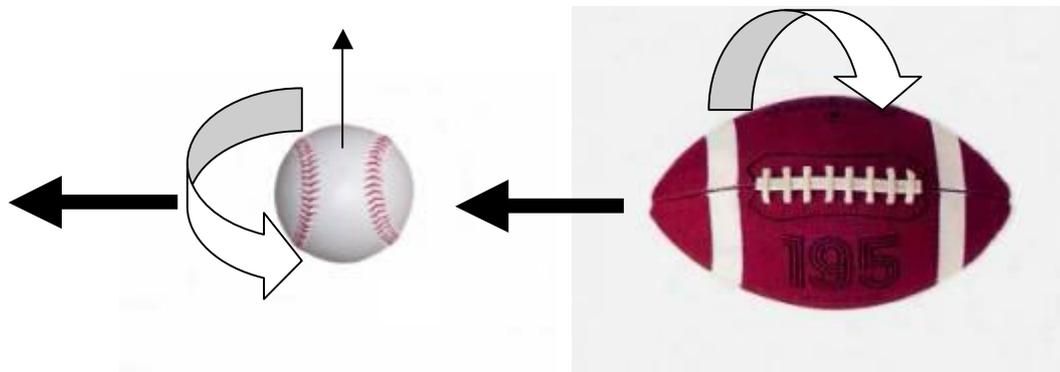


圖 3 棒球曲球是繞著垂直於前進方向的軸旋轉，橄欖球傳球是繞著前進方向旋轉



圖 4 垂直旋轉的手動陀螺



圖 5 停在手中旋轉的抽繩陀螺



圖 6 水平旋轉的扯鈴。



圖 7 停在拉桿旋轉的扯鈴。

參、研究目的：

- 一、取近似橄欖體進行投擲，在流體中以轉或不轉方式前進，觀察個別軌跡及差異性。
- 二、觀察各種旋轉運動，試轉不同型式陀螺，探討**陀螺現象**，尋求陀螺旋轉不倒之原因及陀螺與旋轉球體之關連性。
- 三、除了伯努利定律外，另以**陀螺現象**來探討棒球曲球的變化軌跡。
- 四、查看日常有沒有類似**陀螺現象**的旋轉情況？及旋轉後帶來何種效果？

肆、實驗器材：

一、水中不旋轉之投體

在水中實驗，觀察不旋轉投體之運動軌跡，器材約如下：小型橄欖形體、直徑 10 公分之大口玻璃量杯一個、長柄湯匙、圓靶、記錄表。

二、空氣中不旋轉與旋轉之投體

本投體實驗，決定採用環保回收概念的易開罐加報廢的網球各一，組合成投體。

第一次在操場試投，因重心偏前不均，一出手就甩尾巴，落地後投體碰撞還變形，決定修改投體，在另一頭加裝一顆球改為兩頭裝球，使整體重心置中平衡，試投之效果還不錯，器材約如下：自製投體三個、6 公尺左右捲尺、記錄表。



圖 8 改為兩頭裝的投體球。

三、規則化之陀螺

先分類，試製代表性陀螺（如下 1. 2. 3. 4.項），經比較再決定實驗陀螺之構造原則，據之製作比較用之陀螺（如下 5.6.項），再依序試轉、記錄及比較：

1. 不同材質軸桿陀螺

直徑 60mm 厚紙盤四組，插入約 50mm 長但分別為 3 ϕ 鐵釘、5 ϕ 木質、7 ϕ 熱熔膠棒、11 ϕ 熱熔膠棒等軸桿，盤高置三分之一。



圖 9 3 ϕ 鐵釘、5 ϕ 木質、7 ϕ 與 11 ϕ 熱熔膠棒等軸桿的陀螺。

2. 不同盤高陀螺

直徑 60mm 厚紙盤三個，插入約 50mm 長 \times 5 ϕ 木質軸桿，圓盤分別置於下半三分之一、置中、上半三分之一等高度。



圖 10 不同盤高的陀螺。

3. 不同軸位陀螺

直徑 60mm 厚紙盤，圓盤軸心為正圓心、六分之一半徑偏心、四分之一半徑偏心、三分之一半徑偏心，插入 50mm 長 \times 5 ϕ 木質軸桿，盤高置四分之一。



圖 11 四組不同軸位的陀螺

4. 不同層數 CD 轉盤陀螺

單片、雙片、三片直徑 118mm CD 轉盤，插入 50mm 長 \times 11 ϕ 熱熔膠棒，盤高置三分之一。



圖 12 單片、雙片、三片 CD 轉盤的陀螺

5. 不同轉盤大小、重量陀螺

直徑 30mm、45mm、60mm 三種的單片、雙片、三片等厚紙盤，製成九組不同的組合，插入 50mm 長 \times 5 ϕ 木質軸桿，盤高置三分之一。

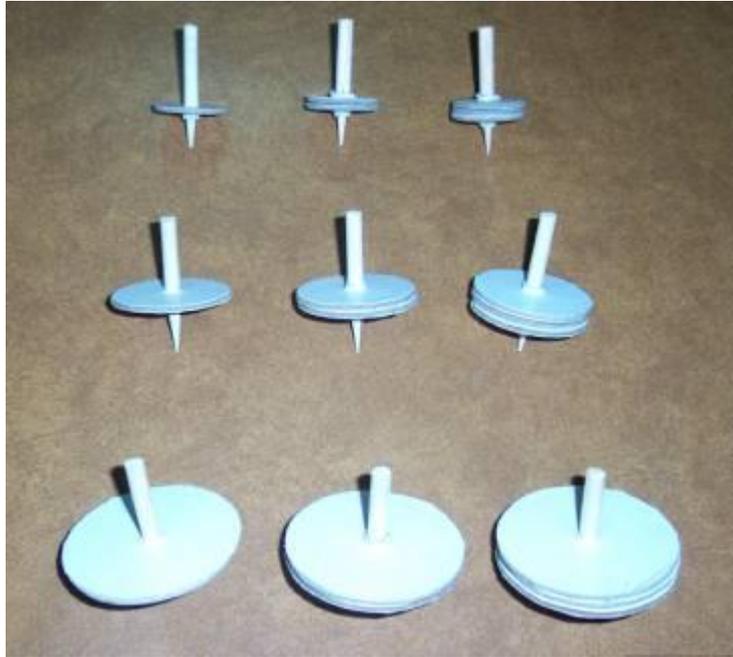


圖 13 30mm、45mm、60mm 三種的單片、雙片、三片等九種組合

6. 重量相同但造型不同的陀螺

用厚紙剪製成直徑 60mm 圓、邊長 80.7mm 正三角形、邊長 53.2mm 正方形等同重異型的轉盤七組，中心分別插入材料、長度、高度與口徑皆相同且約 50mm 長 $\times 5\phi$ 之木質軸桿，盤高置於軸桿約三分之一。



圖 14 重量相同但造型不同的七組陀螺

本次各式重量相同但造型不同的陀螺，是以雙片直徑 60mm 圓厚紙為基準，取同面積，變化造型但而得，製作完畢，經天秤磅確認，各陀螺得重量約為 9.8 克，上下誤差在 0.1 克以內，非常相近，相當符合實驗所需。

製作器材約如下：厚紙、鐵釘、筷子、熱熔膠棒、燒壞 CD、膠布、膠水。

實驗設備、器材約如下：不同尺寸、重量、形狀之手工陀螺、鬧鐘、各式記錄、磅秤還有玻璃板。

- 四、觀察各種旋轉運動所需器材，儘量找現成或市面品，器材約如下：甩繩陀螺、拉繩陀螺、胖陀螺、數字陀螺、疊陀螺、扯鈴、陀螺儀、迴旋儀、扭力球與飛盤。

五、 資料整理及製圖：個人電腦及Office軟體、小畫家、PhotoImpact、AutoCAD

六、 材料：空氣、水

伍、 研究過程及方法：

為完整研究**陀螺現象**，計畫先觀察轉與不轉之差異，其次試轉多種手工陀螺，了解陀螺之運動特性，再佐證其他旋轉運動；依照所需，分水及空氣兩組流體進行實驗如下：

一、水中實驗，目的為求證不轉的效果，方法訂定如下：

1. 靶心直徑近似橄欖形體的寬度，靶圈寬為該寬度之一半，共六圈，貼杯底。
2. 量杯內之水要儘量保持平靜後才可進行投放落體的動作。
3. 先置落體於量杯正上方並瞄準靶心，浸到水面下後，才放手。
4. 盯住落體第一時間著靶區碼，記錄之，並請兩位小朋友從垂直側觀察落體行徑。
5. 每落體投放相隔至少兩分鐘，讓量杯水儘量保持平靜，連作一百次。
6. 每用長柄湯匙取回落體，至少等兩分鐘，讓杯水平靜後再續作。
7. 製作統計圖表，分析實驗結果。

二、空氣中實驗，有如下三大項，分別如下：

1. 不旋轉與旋轉之投體實驗

實驗方法訂定如下：

選無風天候，由四位小朋友執行投擲，先記錄當天之溫度及溼度；手執方法分兩種，不旋轉與旋轉；不旋轉者用三支指頭均勻架著投體，以最小接觸面投出；旋轉者用拇指架著投體，其他四支指頭貼著投體，以儘大接觸面擦旋投出；每種投法每人擲十次，採雙腳站立、水平揮臂，不得仰拋，不得助跑。



圖 15 投體不旋轉之手指執法



圖 16 投體旋轉之手指執法

實驗前，須先練習投擲，熟練後才開始；每位小朋友之身高、技巧及臂力皆不同，故採多數取樣，記錄下個別之落地距離及飛行狀態，再取平均值，整理成比較表；若有不符合要求之投擲，該次不算，追補次數與記錄。

2. 規則化陀螺之旋轉實驗

以自製陀螺進行量測，測試前先磅秤，在同一片玻璃板上測試，不得掉落玻璃板之外，每組陀螺各轉擲十次，若有不符合要求之轉擲，該次不算，重作；量測項目為直立秒數、擺動秒數、倒地秒數及停止秒數，分別記錄並取平均值。陀螺實驗種類如下：

- (1) 不同材質軸桿之實驗
- (2) 不同盤高重心之實驗
- (3) 不同軸位之實驗
- (4) 不同層數 CD 轉盤之實驗
- (5) 不同轉盤大小重量之實驗
- (6) 重量相同但造型不同之實驗

3. 觀察其他旋轉運動

- (1) 對迴旋玩具與教具的觀察，如各式陀螺、扯鈴、陀螺儀、迴旋儀、飛盤。
- (2) 對無支點陀螺旋轉之觀察
- (3) 轉盤實驗與扭力球

陸、研究結果：

一、 水中實驗

不旋轉之橄欖球體在水中落體 100 次，沒有一次碰到靶心，且每次落點幾乎都不一樣，軌跡也不相同，飄落的分佈也不均勻，具飄忽不定之特色，證明確實有外力在影響落體軌跡。從量杯側面觀察，軌跡都呈彎曲狀，這是卡門渦列影響的蝴蝶球現象。

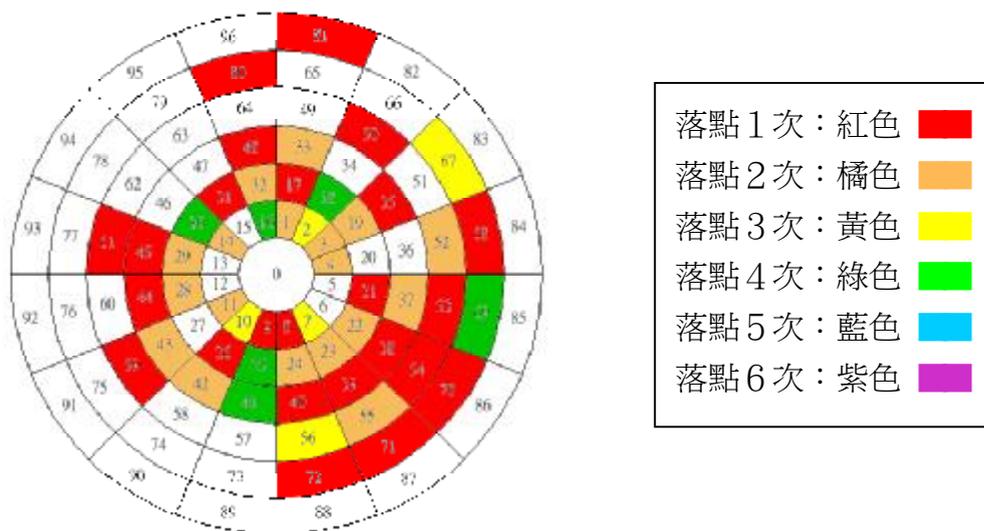


圖 17 流線形體之落點分佈記錄



圖 18 橄欖球體在水面準備落下



圖 19 橄欖球體在水中以曲線落下

二、空氣中實驗

1. 自製投體實驗

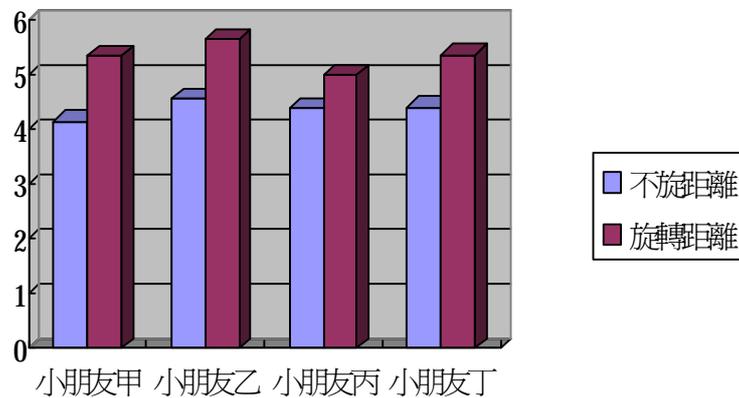


圖 20 自製投體實驗不旋轉與旋轉之各投擲距離平均值比較。

2. 不同直徑、重心、厚薄、軸心及軸位的陀螺(30種)之運動比較

(1) 不同軸桿之實驗

陀螺軸桿 5ϕ 木質是實驗中最佳， 7ϕ 熱熔膠棒次之，再而 11ϕ 熱熔膠棒， 3ϕ 鐵釘最差，陀螺軸桿應盡量輕，不易太細，軸桿著地點應尖而硬。

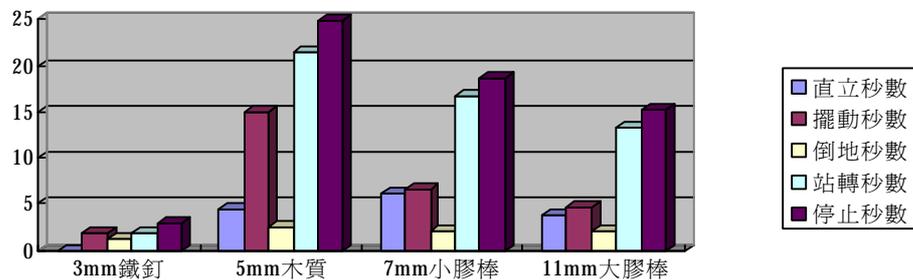


圖 21 陀螺不同軸桿之比較

(2) 不同盤高之實驗

從不同盤高之陀螺實驗顯示，盤高置於軸桿約三分之一已有不錯之效果，若再降低，因易於擦碰到玻璃面而很快停止，不利傾斜進動之運動，所以盤高不再降，取置於軸桿約三分之一。

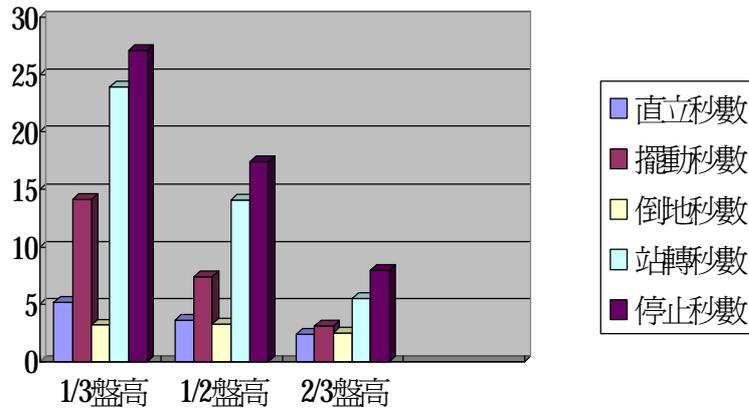


圖 22 陀螺不同盤高之比較

(3) 不同軸位之實驗

陀螺形體應對稱於旋轉軸，不得偏心，否則會亂跳，上轉點及下轉點各作不同軌跡之轉動，越偏心，越不穩。

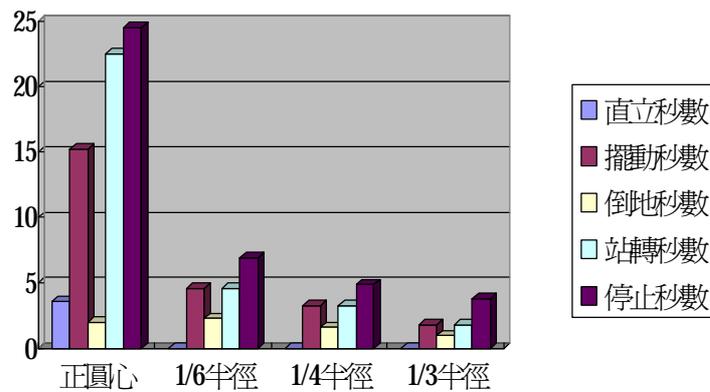


圖 23 陀螺不同軸位之比較

(4) 不同層數 CD 轉盤之實驗

多層轉盤之陀螺大都比單層轉盤轉得久，但三層 CD 轉盤之陀螺不見得比雙層轉得久，這可以解釋成三層 CD 轉盤較重，所需之角動量較雙層 CD 轉盤為多，小朋友所能提供之扭力已達極限，無法提供更大的扭力，轉得特別費力，在近似相同之扭力下，三層轉盤起動轉速較雙層轉盤慢，另外 CD 搖晃的機會又比小直徑的紙板大，轉得也不太穩，產生預期之外的現象，因此放棄 CD 轉盤，全面選用紙板轉盤。

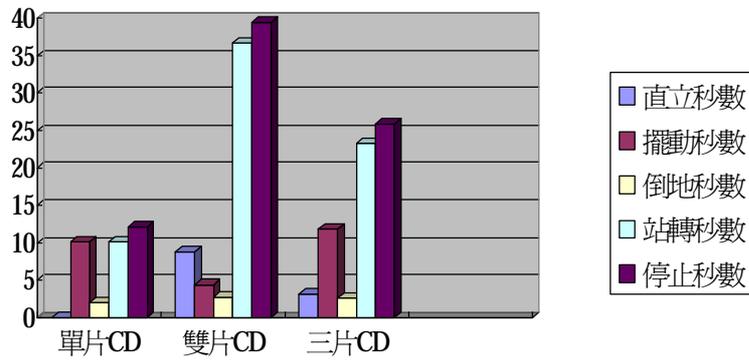


圖 24 陀螺不同層數 CD 轉盤之比較

(5) 不同轉盤大小、重量之實驗

多層轉盤陀螺大都比單層轉盤轉得久，有例外如中雙片與中三片。

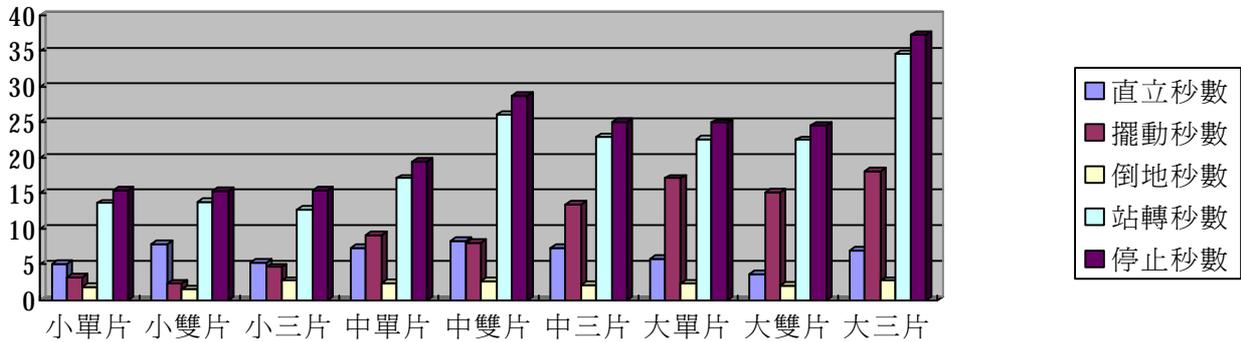


圖 25 陀螺不同紙盤大小、重量之比較

(6) 重量相同但不同轉盤造型之實驗

製作不同轉盤造型但重量相同之陀螺，確實花不少工夫，試轉過程蠻有趣且具變化，此測試證明形體全形對稱於旋轉軸之陀螺是轉得越久之重要關鍵，而且轉盤之重量越往外環分佈，效果越好。

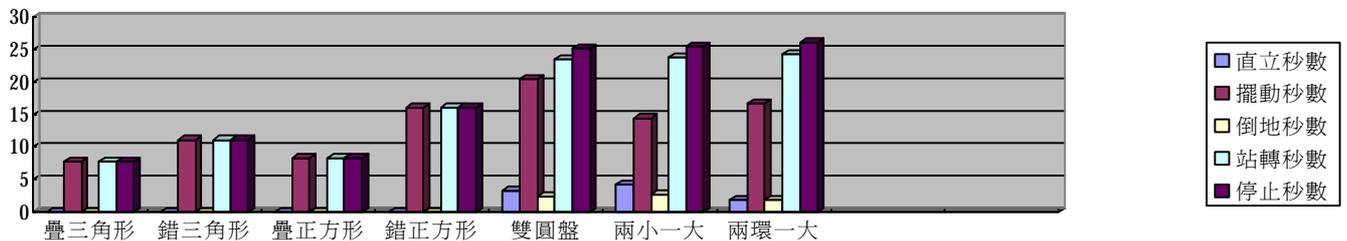


圖 26 不同轉盤造型且重量相同之陀螺比較

3. 觀察其他旋轉運動

(1) 對迴旋玩具與教具的觀察

迴旋玩具與教具的觀察					
項目	陀螺	扯鈴	陀螺儀	迴旋儀	飛盤
狀態描述	先傾後立,再倒	左右擺再平衡	進動轉繞	會固定指向	先定仰角後傾
轉速	很快	快	最快	快	快
平衡	不穩,會亂跑。	普通	略不穩	非常穩	先穩後傾
持久性	普通	一直拉不會停	最久	久	降落即停



圖 27 陀螺先斜立後直立



圖 28 扯鈴



圖 29 陀螺儀與迴旋儀

(2) 對無支點陀螺旋轉之觀察

角動量夠的話，正常的陀螺會自行找到最省能源且最穩定的姿勢站立；圓渾無支點的陀螺，圓面著地旋轉，不平衡而不穩，一直亂轉，自找省能源且穩定的姿勢，最後自動修正至對稱狀，反而以顛倒姿勢站立。



圖 30 無支點的陀螺以圓面著地旋轉，不平衡而不穩，一直在找對稱轉軸。



圖 31 無支點的陀螺自動修正至對稱狀，最後反以高重心的姿勢站立。

(3) 轉盤實驗與扭力球

科博館之轉盤實驗是在印證「角動量守恆」，只要不受外力，轉動物體會一直維持原有的轉動狀態，這現象稱為「角動量守恆」；如果想要改變物體的轉動狀態，就必須對旋轉軸施加力矩；若椅子上的人變動手執之轉盤方向，會產生「反作用」力矩反抗，椅子上的人自轉起來。

家中的扭力球，跟上述狀況相似，旋轉滾球被外殼包著，若反向轉動外殼，手馬上感覺到反抗的扭力；上述兩種反抗力就是陀螺進動之『科氏力』。



圖 32 科博館之轉盤實驗



圖 33 扭力球

為完整體驗『科氏力』在圓周運動之感受，特赴台中科博館，執行轉盤實驗，坐在旋椅上，手持轉動之轉盤，只要傾斜轉盤，就感到一股力量在反抗，變換不同方向角度，反抗力量方向變不一樣，轉盤之向內轉或向外轉造成的結果也不一樣，旋椅轉動方向相對跟著不同；根據當場實驗，整理出以下結果：

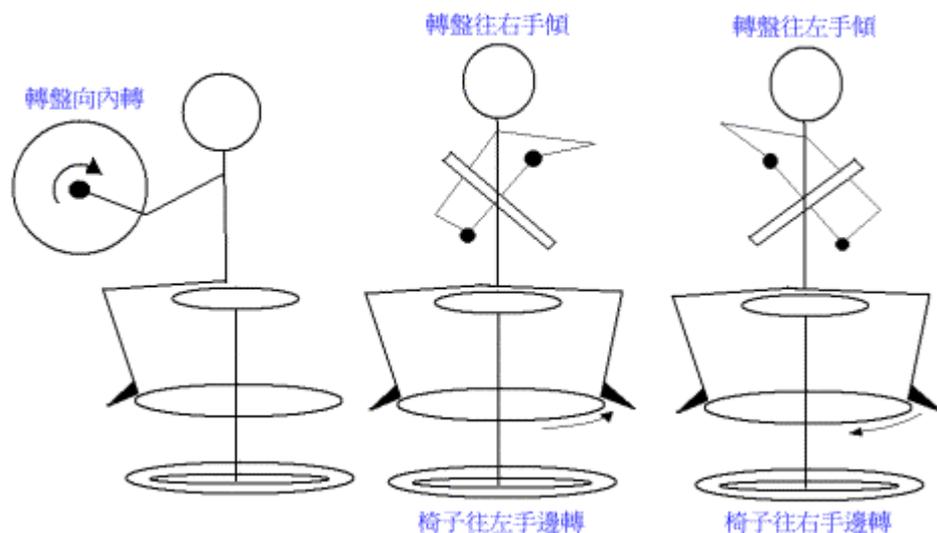


圖 34 轉盤實驗向內轉之結果

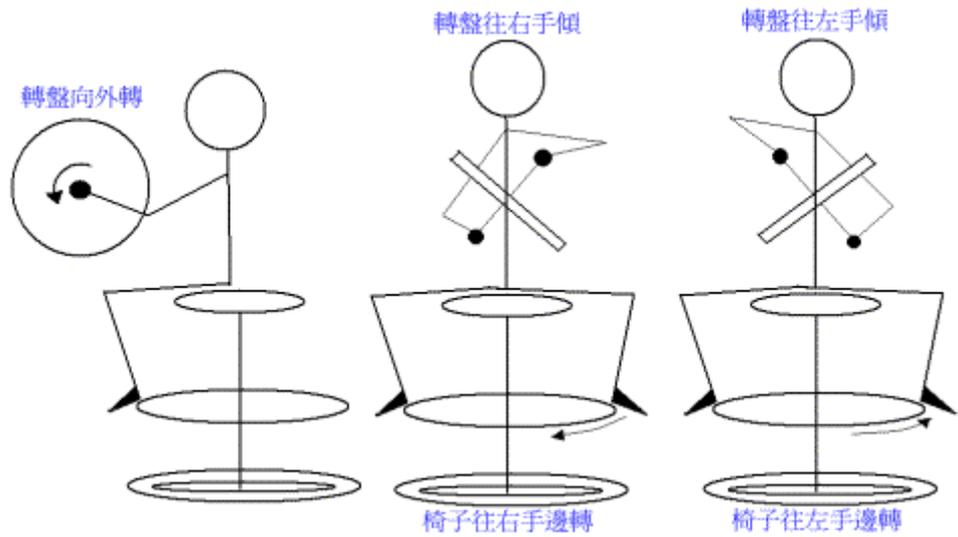


圖 35 轉盤實驗向外轉之結果

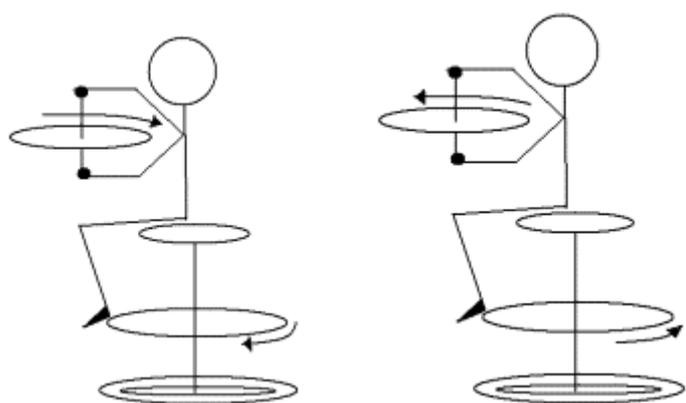


圖 36 轉盤之轉軸垂直時，轉盤轉哪個方向，椅子就轉同樣方向。

柒、討論：

一、實驗結果與推論

陀螺試轉或投擲實驗，皆難以定量執行；陀螺試轉，則推舉最穩定且轉得持久的小朋友擔任，投擲實驗，則由四位小朋友輪流執行，全都採多次取樣，去除特好與特壞，再取平均值，雖非精確數值，但具有參考價值可供判斷，整理實驗與觀察結果如下：

1. 水中實驗，不旋轉的橄欖流線形體下墜，亂鑽不定向，如所述之甩尾巴的橄欖球。
2. 空氣中實驗，由投擲實驗結果知，旋轉物體比不旋轉者可得穩定且更遠的行徑。
3. 不同陀螺之差異
 - (1) 輕軸桿、粗軸桿、低盤高及正軸位，性能較佳，作為實驗之製作標準。
 - (2) 形成陀螺的條件是：重量及寬度夠，形體要與轉軸對稱。
 - (3) 轉盤重量分佈越往外環，轉得越久。
 - (4) 圓渾且無支點的陀螺，會自動轉向至對稱狀，以相反姿勢站立。
 - (5) 水平旋轉之扯鈴及迴旋儀較未受干擾，可觀察到定向之特徵。
4. 「定軸性」及「進動性」是陀螺之兩大特性。

二、陀螺旋轉不倒的原因

陀螺旋轉不倒的現象很奇妙，查遍坊間書籍或網站，很難找到易懂且滿意的解釋。

以觀察者座標為準，若觀察者與旋轉物體一起運動，會以為有『離心力』及『科氏力』存在，其實這些都是非慣性座標內所感覺的假想力。為便於解讀陀螺旋轉不倒現象，暫取『離心力』及『科氏力』為例，再根據實驗所得，推論如下三種解釋：

1. 抽拉陀螺落地後大多傾斜，出現欲翻倒陀螺之重力力矩，如扭力球因反轉得反力，陀螺也生反抗的『科氏力』以『進動』慢慢扶正，直至重力力矩消失，便得直立。
2. 陀螺落地傾斜，從傾斜面觀，旋轉產生『離心力』，其水平分力之力偶反抗反向之重力力矩，以『進動』慢慢扶正，直至重力力矩消失，便得直立，如圖 40。
3. 舉例綁著繩子的重錘受重力下垂，低速旋轉後，呈錐面軌跡旋飛，加快轉速，重錘逐漸擺脫重力而上揚，達水平旋飛為止，再高速也不再上揚，如圖 41。陀螺內如同許多顆小重錘所組成，超過平飛之臨界轉速，看似擺脫重力，諸均勻小重錘產生之各離心力向四面八方飛出，相互抵消而直立得動態平衡，如圖 42。

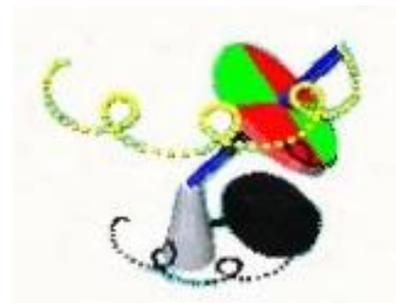
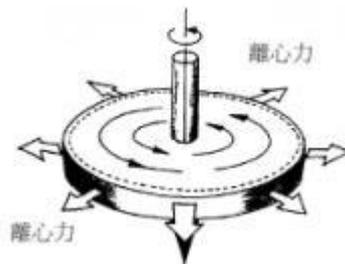
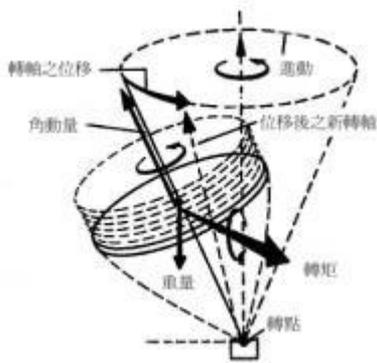


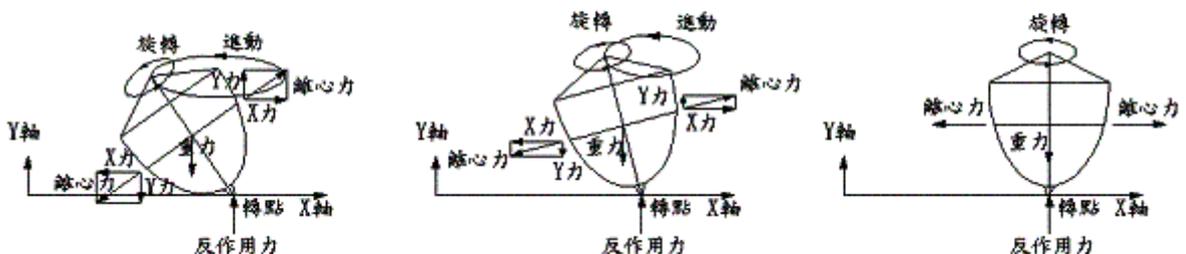
圖 37 角動量及進動的作用

圖 38 諸離心力動態平衡

圖 39 以擺線軌跡章動倒下

進動中之陀螺傾斜面對稱質點受力分析

X力=水平離心力, Y力=垂直離心力



當X軸(水平)離心力之力偶大於重力力矩Y軸(垂直)離心力之力偶, 陀螺以進動得直立, 重力與Y軸離心力之力偶自然消失

圖 40 離心力反抗陀螺傾斜的重重力力矩之分析

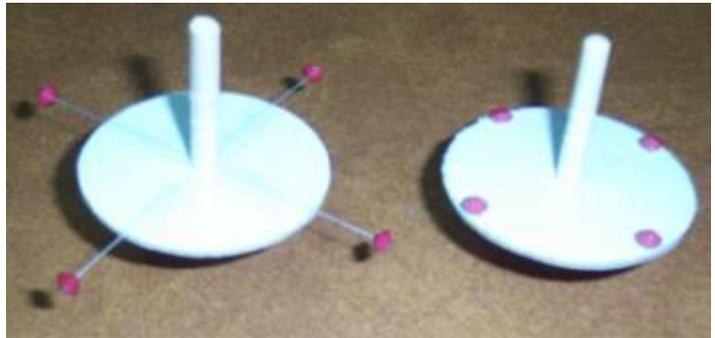
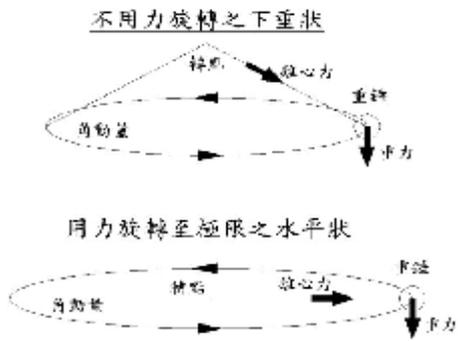


圖 41 重錘快旋後重力失效 圖 42 旋轉陀螺之吊珠或黏珠皆擺脫重力而懸立。

陀螺直立後，再受外力干擾而傾斜，角動量夠的話，還是會以”進動”返回直立，直到磨擦力漸耗角動量，轉速低於臨界值時，陀螺才以”章動”方式慢慢倒下。

三、陀螺與橄欖球運行之關係

旋轉的陀螺，只要角動量夠，都可穩定站立，相較繞著前進方向軸旋轉的橄欖球，狀況很類似，橄欖球開始飛行也許有點歪，只要保持旋轉，最後還是會如圓渾無支點的陀螺自動修正至對稱狀，然後穩定飛行；從圖 43 看，便可了解兩者近似之關連性。

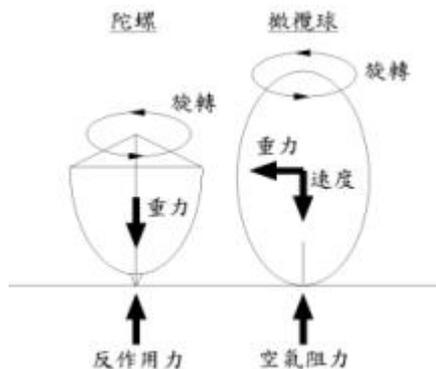


圖 43 陀螺直立對應前進旋轉橄欖球體的直行

四、棒球曲球的新解釋

棒球曲球軌跡，並非全然曲線，前段呈直線，後段才急彎，如此才能騙過打擊手；坊間大都歸因伯努利定律，無法解釋前段直線軌跡，可能忽略**陀螺現象**，願另解釋如下：

投手旋轉球體，引進氣流，把原本從四面八方補空形成卡門渦列破壞，因此無甩尾巴現象，初期球體兩邊速度差不大，伯努利定律效果不強，反受**陀螺作用**較大，前段軌跡近似直球，俟球體旋啓周邊氣流，球速略慢且兩邊流速差顯著，伯努利定律之效果變強，在後段飛行，壓力差迫使球體轉彎，具威脅性的曲球會在接近打擊手才突轉。

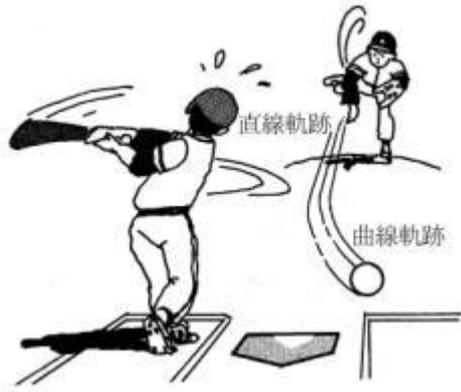


圖 44 棒球曲球前段似直球，後段轉彎。



圖 45 飛盤直行後再轉彎。

棒球曲球轉彎現象可從動作較慢的飛盤丟擲去體驗，旋轉之飛盤先直行後轉彎，其道理與上述棒球曲球近似，飛盤之初期飛行保持仰角軸向前進，**陀螺現象**使其穩定。

五、腳踏車與陀螺儀

腳踏車特有之穩定性，即使曲線行駛也不致翻倒，係因人與車共有之重心所引起之離心力和前後輪迴旋之陀螺功效所致。



圖 46 腳踏車因車輪如陀螺，行走不倒。



圖 47 陀螺儀吊繩旋轉不傾倒。

六、其他類似陀螺現象的情況

同學們腦力激盪，發現生活也有許多類似陀螺現象的情況，分別舉例如下：

1. 溜溜球旋轉後平衡，玩法變化多端。
2. 經過槍管來幅線的子彈或砲彈旋轉飛出，增加準確度及射程。
3. 回力棒利用迴旋得到穩定的轉彎飛行動作，甚至返抵原位回收。
4. 竹蜻蜓不但因旋翼得到伯努利定律的昇力，而且旋轉起飛穩定平衡。
5. 田徑標槍因槍軸旋轉而飛得更直且更遠。
6. 田徑鐵餅旋轉，飛得更穩且更遠，但轉動軸垂直於前進方向，會彎。
7. 雜耍丟接多個木瓶或刀具，會讓它們旋轉拋出才好控制落點，接住再丟。
8. 遊樂攤丟套圈圈，要旋轉才容易穩進目標。
9. 飛鏢丟出要快速旋轉才能又準又狠。
10. 呼拉圈靠旋轉就穩住不落地，不轉便落地。
11. 牛仔旋繩套小牛，又穩又準。
12. 旋轉的硬幣會站立。
13. 人造衛星在太空保持自轉以穩定軌道。
14. 地球、月球自轉，本身就是超大型陀螺。
15. 國立科教館之鉛蛋因電磁場感應旋轉而站立。．．．等等。

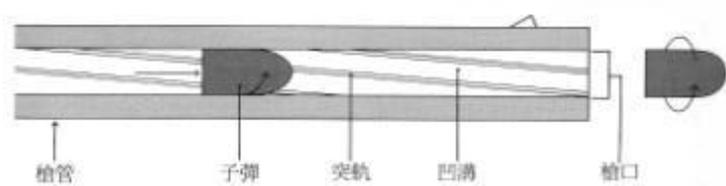


圖 48 經膛線而旋轉的子彈。



圖 49 設有膛線之古砲



圖 50 呼拉圈旋轉不落地



圖 51 穩定旋飛之竹蜻蜓



圖 52 旋轉的硬幣站立。

捌、結論：

陀螺現象對運行物體起穩定作用，例子太普遍，經眾多實驗得到如下結論：

- 一、不旋轉物體在流體中運動受卡門渦列影響會飄忽。
- 二、若角動量夠的話，旋轉之對稱體，初期雖歪斜，最後仍可直立，或穩定走向，具有定軸性及進動性，即**陀螺現象**。
- 三、經觀察、測試，推知陀螺之形狀條件約為如下：
 1. 形體須對稱於轉軸，轉軸要正中，不得偏心。
 2. 重量適當，足以產生所需角動量。
 3. 半徑適當，足以產生所需角動量。
- 四、陀螺轉得久之條件約為如下：
 1. 重量應均勻且儘量往外環分佈。
 2. 重心儘量低，但不能低到轉體傾轉時碰地，所以陀螺形狀往下修尖。
 3. 須有站立支點，其面積小，硬度高，磨擦力低。
 4. 驅動轉軸須輕且夠粗，以利驅動足夠的角動量。
- 五、轉軸垂直於前進方向的**陀螺現象**，如棒球的曲球，初期飛行，旋進週旁流體補充後方空缺，破壞卡門渦列的結構，先因**陀螺現象**而直線行進，後加伯努利定律的效應再行轉彎。
- 六、轉軸平行於前進方向的**陀螺現象**，如橄欖球的傳球，旋轉後挺直前進，行徑更穩，飛得更遠，其他如旋轉的子彈亦然。
- 七、水平旋轉之物體，如扯鈴或迴旋儀，較不受周遭干擾，除平衡不倒外，還可體驗於「角動量守恆」下**陀螺現象**之定軸性。
- 八、行走之物體，轉或不轉，還有轉的方向，都會造成不同的結果，**轉不轉真的不一樣**。

玖、參考資料及其他：

作者	書名	版次	出版地	出版社	頁數	出版年
全中平	四上自然生活與科技	初版	中華民國	光復書局	40	2002年
全中平	四上自然生活與科技 習作	初版	中華民國	光復書局	14	2002年
高尼克霍夫 曼著 葉偉文譯	看漫畫學物理	初版	中華民國	天下文化	60, 93, 94, 95, 96, 98, 99	2003年
科技文庫 編輯小組	物理趣談(二)	初版	中華民國	世茂出版	64	1987年
科技文庫 編輯小組	物理趣談(二)	初版	中華民國	世茂出版	74, 76, 78	1989年
趙善彬	攜手玩科學	初版	中華民國	台北市立兒童 育樂中心	66-70	2000年
Jearl Walker 著	物理馬戲團	初版	中華民國	天下文化	40, 42, 60, 62, 66, 68, 86, 90, 94, 150	2000年
Susan Davis, Sally Stephens 著 黃啓明 譯	運動原理	初版	中華民國	寰宇出版	76, 84, 86, 88, 91, 99	2000年

080106 國小組物理科

第三名

轉不轉不一樣

1. 實驗器材準備充分。
2. 研究內容深入廣泛。
3. 實驗方法步驟佳，但實驗數據少。
4. 相關專有名詞，學童未能透澈了解。

計時器材宜慎選。