

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 物理科

最佳創意獎

080115

旋舞者--陀螺旋轉軌跡之探討

學校名稱：雲林縣林內鄉成功國民小學

作者： 小六 林妤珊 小六 余昕螢 小六 張詠翔	指導老師： 鄭淑玉 張哲剛
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：陀螺、軌跡、進動現象

## 摘要

學校的課程中，我們製作紙陀螺來觀察陀螺旋轉時間及混色現象，但我們想更進一步了解陀螺旋轉時的軌跡為何，因此分別以陀螺盤面大小、陀螺軸高、陀螺的幾何形狀等因素為操縱變因，製作不同的陀螺來探討陀螺旋轉時的軌跡變化，並探討不同的陀螺對轉動軌跡的影響。

## 壹、研究動機

有一次老師讓我們用紙板做陀螺，比賽誰的陀螺轉的久，當大家在地上旋轉陀螺時，我們發現每個人的陀螺行進路線似乎都不相同，無法看出轉動中的陀螺究竟怎麼轉、要轉去哪，因此對陀螺旋轉的身影產生了興趣，我們感到很好奇：「各種陀螺的行進路線真的都不一樣嗎？」於是，在老師的指導下，我們找了有興趣的同學，一起來探索陀螺旋轉軌跡的祕密！

## 貳、研究目的

- 一、比較陀螺盤面大小對轉動軌跡的影響。
- 二、比較陀螺軸高對轉動軌跡的影響。
- 三、比較陀螺幾何形狀對轉動軌跡的影響。
- 四、了解是否可預測陀螺的軌跡。

## 參、研究設備及器材

表 1 研究器材及用途

主要用途	使用器材	主要用途	使用器材
陀螺主體	厚紙板	記錄軌跡用紙	A4 單面空白影印廢紙
陀螺中軸	竹筷子	記錄軌跡沾取	藍色墨水
黏合	熱熔膠	其他工具	尺、圓規、剪刀、削筆機

## 一、陀螺製作方法

以厚紙板剪出符合不同研究過程的陀螺盤面，於圓心處穿入 7cm 長的竹筷當中軸，再以熱熔膠固定紙板高度於距離竹棒底端 3cm 處。（比較陀螺軸高的影響時，則固定高度於距底端 2cm、3cm、4cm、5cm、6cm 處）

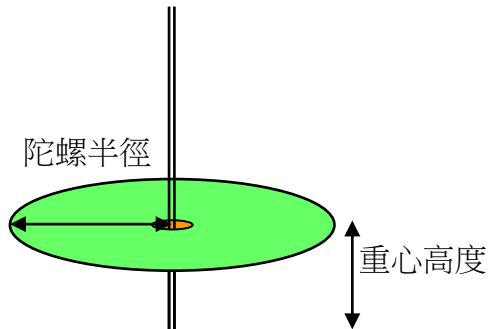


圖 1 紙板陀螺重心高度圖示

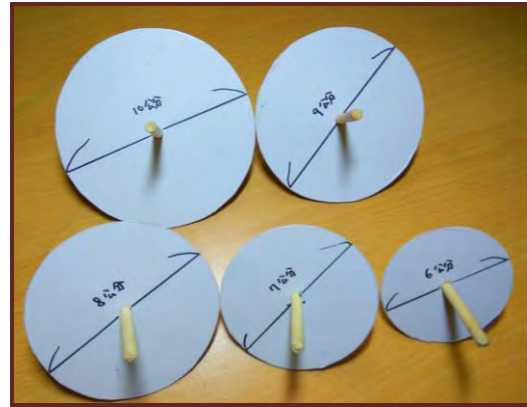


圖 2 不同大小的紙板陀螺

## 二、陀螺軌跡實測過程

### (一) 陀螺中軸材料的挑選

要讓陀螺能順利留下軌跡是我們本次實驗的關鍵，因此陀螺製作的原始構想是一用鉛筆來當中軸，使其轉動後能在白紙上畫出軌跡，但因陀螺轉動後，施力在紙上的力道不足，因此留下的鉛筆痕跡很淡，不容易觀察，所以改用可吸取墨水的竹筷材質來當陀螺的中軸。

### (二) 用徒手轉動陀螺？還是用發射器轉動陀螺？

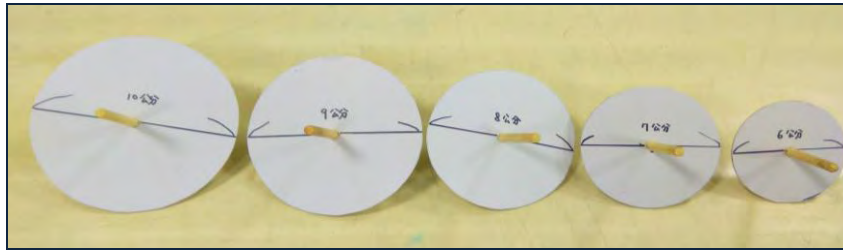
在進行各種陀螺旋轉測試前，有組員帶來了不同的陀螺，其中包括有發射器的戰鬥陀螺，在測試過程中，也引發我們思考，是否應自製發射器來旋轉陀螺？經由討論後，我們決定徒手來旋轉陀螺，以避免因發射器的發射條件相同，造成陀螺轉動軌跡的單一化，而直接用手來旋轉，希望能因此得到較多樣、較符合平常遊戲中的陀螺轉動軌跡。

### (三) 記錄陀螺軌跡的實驗步驟

1. 將陀螺沾取印臺上的藍色墨水。
2. 在白紙上轉動陀螺，印出藍色軌跡。
3. 將各種陀螺以順時針方向旋轉一百次後，歸納實驗結果。

## 肆、研究過程或方法

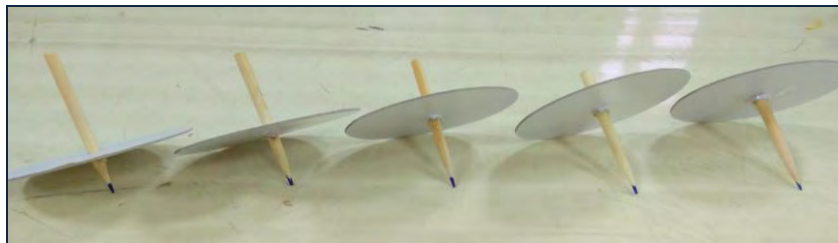
研究一：陀螺盤面的大小不同，陀螺轉動軌跡的比較。



- (一) 操縱變因：盤面大小不同（盤面直徑分別為：6、7、8、9、10cm）。
- (二) 保持不變的變因：相同的軸心及重心高度、接觸面(A4白紙)、同一人操作。
- (三) 將上述五種陀螺以順時針方向各旋轉一百次後，歸納整理出研究結果。



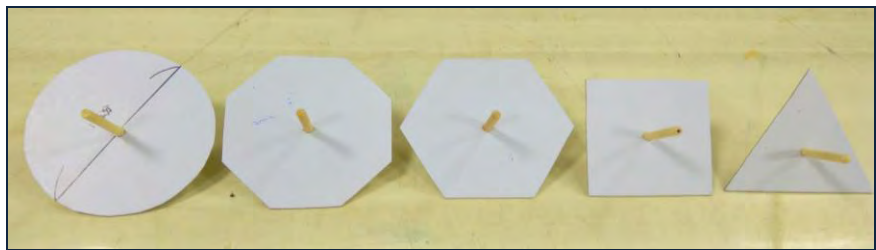
研究二：陀螺軸高位置不同，陀螺轉動軌跡的比較。



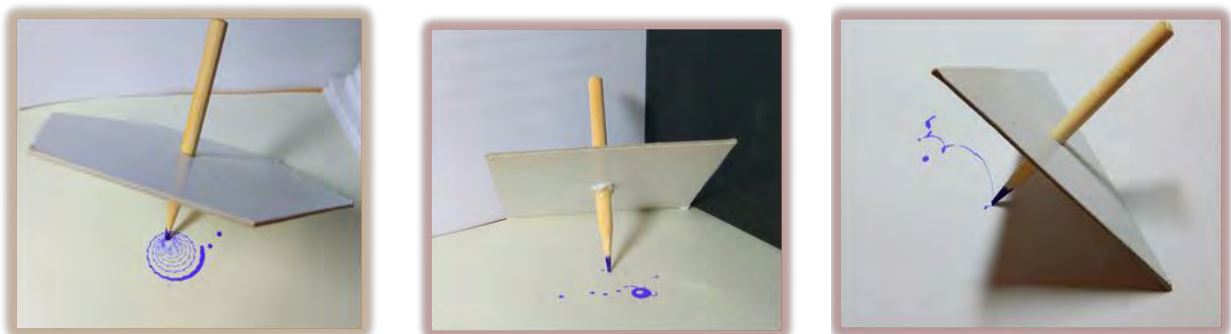
- (一) 操縱變因：盤面在軸心的位置不同（離軸的底端分別為2、3、4、5、6cm處）。
- (二) 保持不變的變因：相同的盤面大小（直徑8cm）及軸心、接觸面(A4白紙)、同一人操作。
- (三) 將上述五種陀螺以順時針方向各旋轉一百次後，歸納整理出研究結果。



研究三：陀螺盤面的形狀不同，陀螺轉動軌跡的比較。



- (一) 操縱變因：盤面的形狀不同（分別為：○ ○<sub>8</sub> ○<sub>6</sub> □ △）。
- (二) 保持不變的變因：相同的軸心及重心高度、接觸面(A4白紙)、同一人操作。
- (三) 將上述五種陀螺以順時針方向各旋轉一百次後，歸納整理出研究結果。



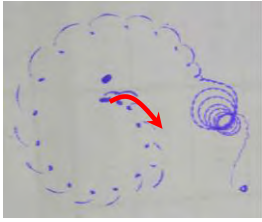
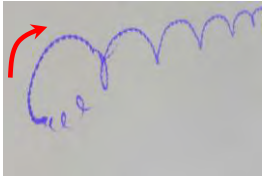
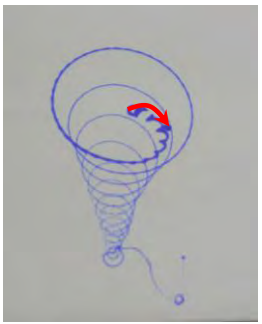
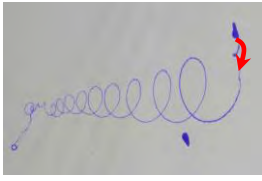
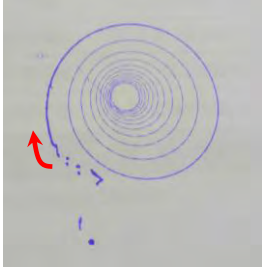
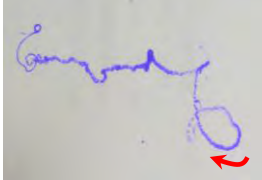
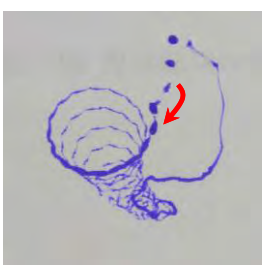
### 伍、研究結果與討論

一、研究結果

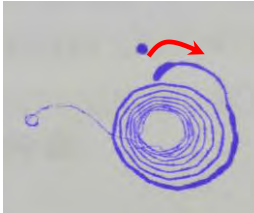

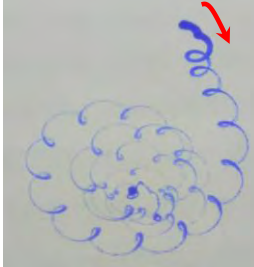
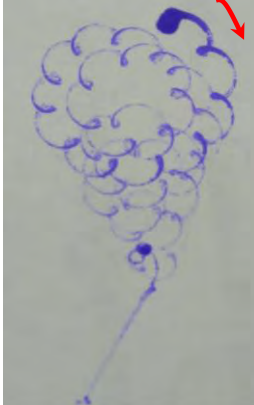

(一)盤面大小不同的陀螺軌跡


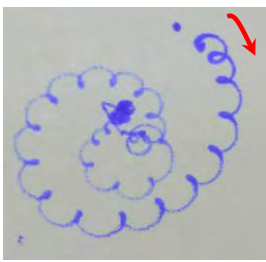
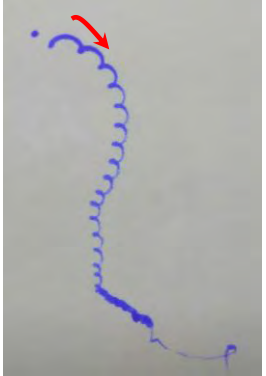
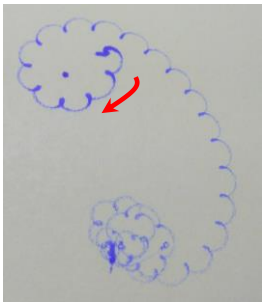
表 2 不同盤面大小之陀螺順時針方向旋轉軌跡歸納

類 型	具代表性的軌跡	出現百分比	觀 察
陀螺盤面直徑 6CM		42%	①盤面直徑 6cm 的陀螺有 42%的旋轉軌跡會有規律地變小，且互相重疊，最後旋繞成「龍捲風」的形式。
		30%	②三成的陀螺會規律的由大而小、由外而內的旋轉成「蝸牛殼」狀的軌跡。

		22%	③大約二成的陀螺剛開始不太穩定，會先出現由小螺旋組成的大螺旋軌跡，接著後半段則呈現相對穩定的龍捲風狀。
		6%	④6%的陀螺會繞成電話線狀。
陀螺盤面直徑 7CM		42%	①盤面直徑 7cm 的陀螺有 42%的旋轉軌跡會有規律地變小，且互相重疊，最後旋繞成「龍捲風」的形式。
		26%	②有 26%會規律的旋繞成「電話線」的軌跡。
		20%	③二成的陀螺會由大而小、由外而內的旋轉成同心圓狀的軌跡。
		12%	④12%的轉動情形顯得不穩且旋轉軌跡凌亂不規則。
陀螺盤面直徑 8CM		58%	①盤面直徑 8cm 的陀螺，約有六成會原地由外而往內旋，圓圈有規律變小，且互相重疊，呈現龍捲風的圖形，其軌跡約旋轉 10 圈左右。




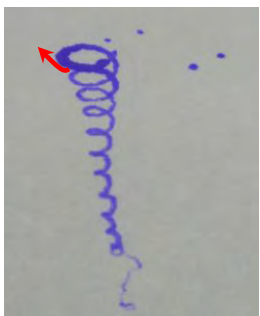
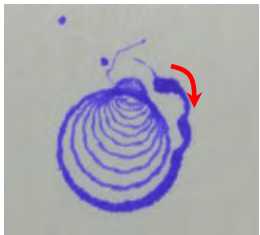
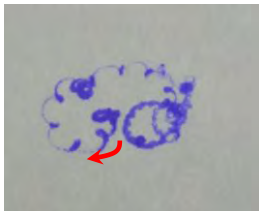
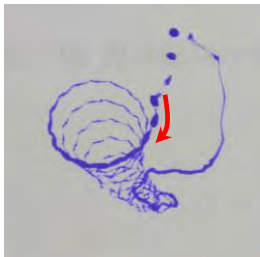
		30%	<p>②有三成的陀螺由外往內旋，圓圈有規律變小，且不互相重疊，像是蝸牛的殼，其軌跡亦約旋轉 8~10 圈。</p>
		12%	<p>③有 12%的陀螺軌跡像是被拉長的電話線，小螺旋連成大螺旋的軌跡，非常明顯。</p>
陀螺盘面 直徑 9CM		74%	<p>①盘面直徑 9cm 的陀螺約七成是以小螺旋為單位旋繞成「蝸牛殼」狀，旋轉過程軸心幾乎保持鉛直。</p>
		18%	<p>②約二成的陀螺會以小螺旋為單位旋繞成「龍捲風」狀，不但規律的自旋，且還規律的由外而內、由大圈而小圈移動其軌跡。</p>
		8%	<p>③8%會呈現「電話線」的軌跡。</p>

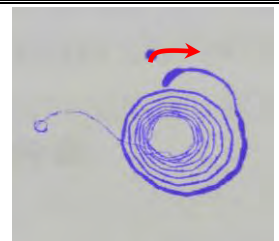
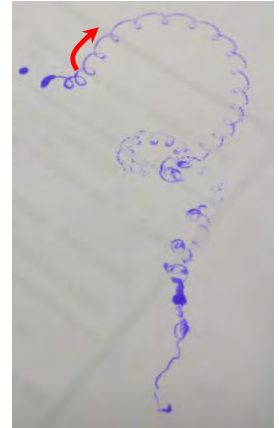




陀螺盤面 直徑 10CM		38%	①盤面直徑 10cm 的陀螺轉動起來較穩定，且可以轉較久，會發現大多是由小螺旋構成整個軌跡圖形，如左圖，有四成的結果是繞成「電話線」狀，而不互相重疊。
		34%	②34%則是以小螺旋為單位旋繞成「蝸牛殼」狀，旋轉過程軸心幾乎保持鉛直。
		16%	③16%會單純旋轉成電話線。
		12%	④12%的陀螺初期原處繞圈後會移動偏移至另一處繼續原地繞圈，形成類似雙頭話筒的圖形。
註：紅色箭頭為軌跡起點旋轉方向			





(二)軸高位置不同的陀螺軌跡

表 3 陀螺盤面軸高位置不同之陀螺順時針方向旋轉軌跡歸納




類型	具代表性的軌跡	出現百分比	觀察
陀螺盤面 距地面 2cm		44%	①盤面中軸 2cm 高的陀螺，44%會先出現由小螺旋組成的大螺旋軌跡，像是被拉長的電話線前奏曲，接著後半段呈現相對穩定的電話線，轉動時間較久。
		32%	②約三成的陀螺會呈現電話線的軌跡。
		20%	③約二成的陀螺會由外而往內旋，圓圈有規律變小，且互相重疊，約旋轉 10 圈左右。
		4%	④4%陀螺的軌跡會形成類似雙頭話筒的圖形。
陀螺盤面 距地面 3cm		58%	①盤面中軸 3cm 高的陀螺，約有六成會原地由外而往內旋，圓圈有規律變小，且互相重疊，呈現龍捲風的圖形，其軌跡約旋轉 10 圈左右。

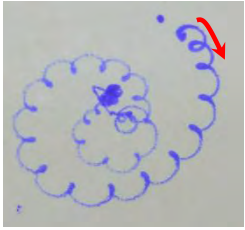
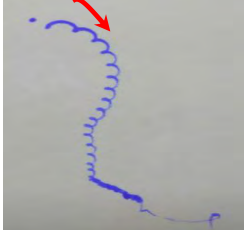
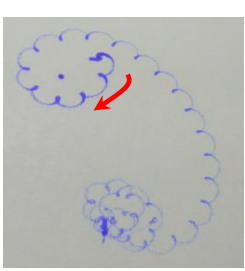
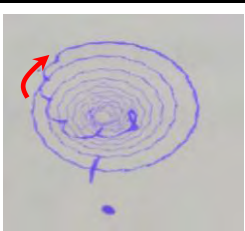
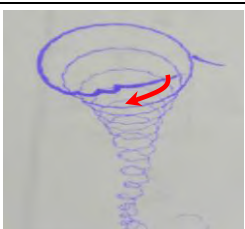

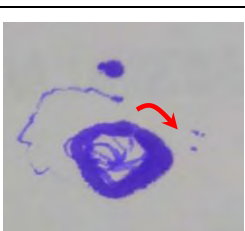
		30%	②有三成的陀螺由外往內旋，圓圈有規律變小，且不互相重疊，像是蝸牛的殼，其軌跡亦約旋轉 8~10 圈。
		12%	③有 12%的陀螺軌跡像是被拉長的電話線，小螺旋連成大螺旋的軌跡，非常明顯。
陀螺盤面 距地面 4cm		74%	①盤面中軸 4cm 高的陀螺，約有七成會原地由外而往內旋，很少偏移，觀察其軌跡約旋轉 5~7 圈。
		16%	②16%會由外往內旋，圓圈有規律變小，且互相重疊，其軌跡亦約旋轉 5~7 圈。
		10%	③約有一成的陀螺軌跡位移較小，有規律往內變小，且不互相重疊，像是蝸牛的殼。
陀螺盤面 距地面 5cm		60%	①盤面中軸 5cm 高的陀螺幾乎無法旋轉，六成的陀螺會一轉動即滑出後倒下。

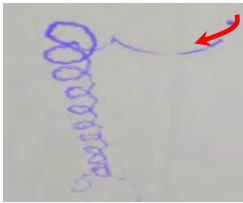
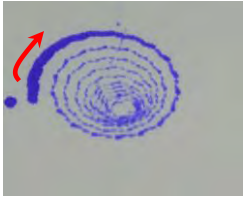
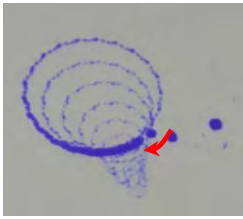

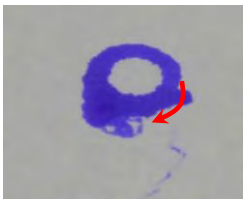
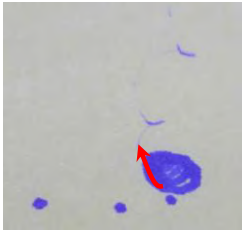

		22%	②約二成會旋轉 1~2 圈後倒下。
		16%	③16%會旋轉超過 2 圈後倒下。
		2%	④2%的陀螺移動會呈現「電話線」的軌跡。
陀螺盤面 距地面 6cm		100%	盤面中軸 6cm 高的陀螺完全無法旋轉，一轉動即滑出後倒下。
註：紅色箭頭為軌跡起點旋轉方向			


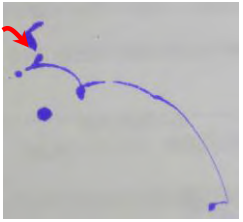
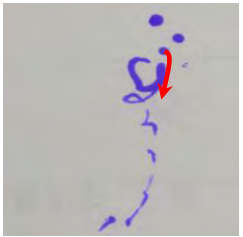
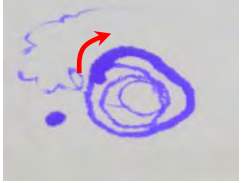
### (三) 盤面的形狀不同的陀螺軌跡

表 4 陀螺盤面形狀不同之陀螺順時針方向旋轉軌跡歸納

類型	具代表性的軌跡	出現百分比	觀察
圓形 陀螺盤面		38%	①圓型盤面的陀螺轉動起來較穩定，且可以轉較久，會發現大多是由小螺旋構成整個軌跡圖形，如左圖，有四成的結果是繞成「電話線」狀，而不互相重疊。

		34%	②34%則是以小螺旋為單位旋繞成「蝸牛殼」狀，旋轉過程軸心幾乎保持鉛直。
		16%	③16%會單純旋轉成電話線。
		12%	④12%的陀螺初期原處繞圈後會移動偏移至另一處繼續原地繞圈，形成類似雙頭話筒的圖形。
八邊形 陀螺盤面		50%	①八邊型盤面的陀螺轉動起來較穩定，大約五成由外而內旋轉成蝸牛殼狀，圈數約在 8-10 圈。
		22%	②約二成的八邊形陀螺會規律而重疊的由大到小旋轉成龍捲風狀，圈數約在 10-12 圈左右，旋轉時間久。
		14%	③14%的陀螺會以小螺旋式前進，且前進軌跡有大螺旋式反轉現象。
		10%	④10%陀螺原地打轉 5-6 圈後倒下。

		4%	⑤4%會旋轉成規律的「電話線」。
六邊形 陀螺盤面		68%	①六邊形盤面的陀螺，約七成的軌跡是由外向內同心圓狀的規則繞圈，像蝸牛殼，其軌跡約旋轉 10 圈左右。
		16%	②16%的陀螺軌跡像龍捲風狀，也是有規則的由大至小繞 8-10 圈。
		12%	③12%一開始也是像龍捲風狀由大至小繞圈，但到中期變得不穩，呈現出凌亂的軌跡。
		4%	④4%陀螺會原地旋轉 2-3 圈後倒地。
正方形 陀螺盤面		60%	①正方形盤面的陀螺約六成在旋轉初期是 3~4 點的点狀軌跡，中期穩定後在原地旋轉數圈，最後以彈跳的方式結束。
		30%	②三成的正方形陀螺，初期會螺旋式的繞圈，像花朵一樣，接著再穩定集中轉 2~3 圈後結束。

		10%	③一成的陀螺軌跡如同緊縮的彈簧，且繞圈軌跡沒有規則性。
三角形 陀螺盤面		48%	①三角形盤面的陀螺約一半的比率無法旋轉，彈跳幾下即倒下。
		34%	②34%的三角形陀螺會旋轉 1~2 圈後彈跳幾下即倒下。
		18%	③18%的三角形陀螺會旋轉超過 2 圈，且圓圈由外而內呈現不規則的排列，最後彈跳幾下即倒下。
註：紅色箭頭為軌跡起點旋轉方向			



## 二、研究討論

(一)從紙板陀螺的旋轉軌跡中，可發現每種軌跡都是以順時針方向旋轉，這是因為手施以順時針方向旋轉陀螺的力量導致，除了陀螺本身以順時針方向自轉，行進路線也是以順時針方向旋轉前進。

(二) 針對研究結果，我們觀察到以下變因會影響陀螺軌跡。

### 1.陀螺盤面大小對轉動軌跡的影響：

陀螺開始轉動，速度快又平穩；當轉動速度變慢時，陀螺就開始晃動，盤面越小，較不穩定的波動軌跡越明顯；盤面越大時表示陀螺重量越大，重心位置會下降，陀螺則較不易傾斜，轉動時間越久，且軌跡是規律穩定的。

### 2.陀螺軸高對轉動軌跡的影響：

陀螺的盤面距離接觸面近，因為重心低，盤面平穩，轉動的軌跡圈數較多，轉動的時間久；當陀螺的盤面軸高遠，重心變高，觀察到的轉動圈數越少，也十分容易傾倒了。

### 3.陀螺幾何形狀對轉動軌跡的影響：

圓形盤面的陀螺，轉動軌跡很規律平穩，即使輕微搖晃也能支撐得久；八邊形及六邊形次之；而正方形和三角形的盤面轉動時容易搖晃而即刻傾倒，因此軌跡較凌亂不規則。

(三) 由陀螺旋轉路徑中，由陀螺的前進位移量，可分為三種類別：

1.陀螺中心前進位移小，軌跡由外而內畫，且不互相交疊的：蝸牛殼型、同心圓型。

2.陀螺中心前進位移居次，軌跡中的各個圓圈由大變小，且互相交疊的：龍捲風型。

3.陀螺中心前進位移最高，如同被拉長的螺旋，且不互相交疊的：電話線型。

另外，若有傾斜時會明顯的影響到旋轉的路徑，而創造出無法預測的獨特軌跡。

(四) 陀螺轉動軌跡的預測方面，雖然無法於落地前就進行預測，但可由旋轉初期的軌跡，來預測出接下來的行進方向。

(五)每種陀螺旋轉的軌跡都不是平滑的曲線，從中皆可以看到大小不等的波動幅度，有的甚至形成小圓圈，這是因為陀螺一邊自轉，一邊沿著某種路線而前進的緣故。這讓我們聯想到，陀螺一邊自轉，一邊前進，不就像是地球一邊自轉，一邊公轉，而月亮則是邊繞著地球，也隨著地球公轉路線運行，因此，許多星球也正在宇宙中畫出許多美麗的螺線。

(六) 陀螺旋轉時，中心軸不會一直保持垂直，若旋轉速度夠快時，陀螺不會倒地，甚至可以回復垂直地面而旋轉。陀螺若傾斜旋轉時，會繞著中心的鉛直線而轉，陀螺的中軸掃過的形狀就像是個圓錐(如圖 3)，查資料後發現，這種現象叫做「進動」(precession)，進動是指自轉物體之自轉軸又繞著另一軸旋轉的現象，又可稱作旋進。在天文學上，又稱為「歲差現象」。

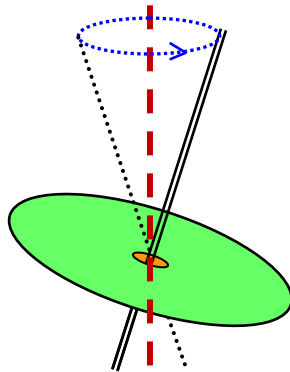


圖 3 陀螺傾斜旋轉示意

## 陸、結論

- 一、陀螺一邊自轉，一邊前進，會因為陀螺前進的位移量多寡，而影響軌跡各種螺線的樣貌，但可發現順時針旋轉的陀螺，其轉動軌跡也會以順時針方向行進。
- 二、不同的陀螺轉動軌跡可發現到相似的類型，如電話線型、龍捲風型、蝸牛殼型，但中軸若傾斜時，會因為陀螺旋轉速度及陀螺盤面大小、形狀、軸心高度不同而對轉動軌跡有不同影響。
- 三、陀螺軌跡於落地前無法準確預測，但可由初期的旋轉軌跡推論出接下來的軌跡形狀。

## 柒、心得

這次的實驗，讓我們發現原來小小的陀螺竟然可以畫出這麼美麗的螺線！雖然實驗完成後，有些旋轉軌跡的結果來不及探討（不同材質、逆時針旋轉等），但我們已經達到了當初實驗的構想——探索陀螺軌跡的祕密，更知道了原來小小的陀螺和地球運轉有相同的進動現象，也期許自己之後可以從各式的陀螺旋轉時，發現到更多有趣的祕密及美麗的舞動軌跡！

## 捌、參考資料

維基百科（2010）。進動。桃園：楊秉鈞。線上檢索日期：2010年3月20日。網址：  
<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%80%B2%E5%8B%95>

## 【評語】 080115

這個工作對於陀螺旋轉軌跡研究。探討陀螺盤面大小、軸高、幾何形狀等因素對轉動軌跡的影響。陀螺旋轉軌跡研究是一個複雜的非線性系統，除了作者討論的陀螺幾何形狀因素之外，起始條件對於整體結果的呈現可能也是個很關鍵的因素。整體上實驗的呈現算是很完整，變因控制和討論也是正確。就實驗上利用手來旋轉或許是個改進的地方，可能可以利用更定量的機械或是方式來掌控陀螺，更加改進實驗的結果和有更加定性和定量的結果。當然，整個工作利用統計和歸納的方式來統整實驗的結果也是個值得高度讚許的科學方法和精神。

作品海報



# 壹、研究動機

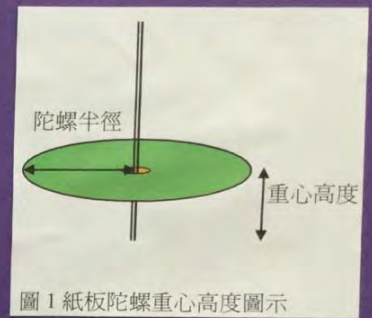
有一次老師讓我們用紙板做陀螺，比賽誰的陀螺轉的久，當大家在地上旋轉陀螺時，我們發現每個人的陀螺行進路線似乎都不相同，無法看出轉動中的陀螺究竟怎麼轉、要轉去哪，因此對陀螺旋轉的身影產生了興趣，我們感到很好奇：「各種陀螺的行進路線真的都不一樣嗎？」於是，在老師的指導下，我們分別以陀螺盤面大小、陀螺軸高、陀螺的幾何形狀等因素為操縱變因，一起來探索陀螺旋轉軌跡的祕密！

# 貳、研究目的

- 一、比較陀螺盤面大小對轉動軌跡的影響。
- 二、比較陀螺軸高對轉動軌跡的影響。
- 三、比較陀螺幾何形狀對轉動軌跡的影響。
- 四、了解是否可預測陀螺的軌跡。

# 參、研究設備及器材

主要用途	使用器材	主要用途	使用器材	主要用途	使用器材
陀螺主體	厚紙板	記錄軌跡用紙	A4 空白影印廢紙	黏合	热熔膠
陀螺中軸	竹筷子	記錄軌跡沾取	藍色墨水	其他工具	圓規、剪刀、削筆機



# 肆、研究過程及方法

## 研究一：陀螺盤面的大小不同，陀螺轉動軌跡的比較。

- (一) 操縱變因：盤面大小不同（盤面直徑分別為：6、7、8、9、10cm）。
- (二) 保持不變的變因：相同的軸心及重心高度、接觸面(A4白紙)、同一人操作。
- (三) 將上述五種陀螺以順時針方向各旋轉一百次後，歸納整理出研究結果。



## 研究二：陀螺軸高位置不同，陀螺轉動軌跡的比較。

- (一) 操縱變因：盤面在軸心的位置不同（離軸的底端分別為2、3、4、5、6cm處）。
- (二) 保持不變的變因：相同的盤面大小（直徑8cm）及軸心、接觸面(A4白紙)、同一人操作。
- (三) 將上述五種陀螺以順時針方向各旋轉一百次後，歸納整理出研究結果。



## 研究三：陀螺盤面的形狀不同，陀螺轉動軌跡的比較。

- (一) 操縱變因：盤面的形狀不同（分別為：○ ○ 〡 △）。
- (二) 保持不變的變因：相同的軸心及重心高度、接觸面(A4白紙)、同一人操作。
- (三) 將上述五種陀螺以順時針方向各旋轉一百次後，歸納整理出研究結果。


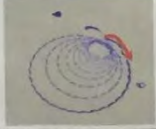

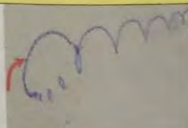







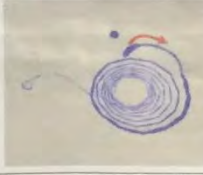






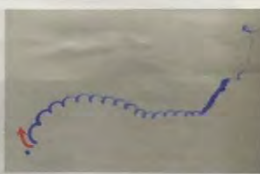



# 伍、研究結果與討論

## 一、研究結果

### (一) 盤面大小不同的陀螺軌跡

觀察到的陀螺軌跡及出現的百分比				
陀螺盤面直徑 6CM				
	42%	30%	22%	6%
<p>① 盤面直徑 6cm 的陀螺有 42% 的旋轉軌跡會有規律地變小，且互相重疊，最後旋繞成「龍捲風」的形式。</p> <p>② 三成的陀螺會規律的由大而小、由外而內的旋轉成「蝸牛殼」狀的軌跡。</p> <p>③ 大約二成的陀螺剛開始不太穩定，會先出現由小螺旋組成的大螺旋軌跡，接著後半段則呈現相對穩定的龍捲風狀。</p> <p>④ 6% 的陀螺會繞成電話線狀。</p>				
陀螺盤面直徑 7CM				
	42%	26%	20%	12%
<p>① 盤面直徑 7cm 的陀螺有 42% 的旋轉軌跡會有規律地變小，且互相重疊，最後旋繞成「龍捲風」的形式。</p> <p>② 有 26% 會規律的旋繞成「電話線」的軌跡。</p> <p>③ 二成的陀螺會由大而小、由外而內的旋轉成同心圓狀的軌跡。</p> <p>④ 12% 的轉動情形顯得不穩且旋轉軌跡凌亂不規則。</p>				

陀螺盤面直徑 8CM				
	58%	30%	12%	
<p>① 盤面直徑 8cm 的陀螺，約有六成會原地由外而往內旋，圓圈有規律變小，且互相重疊，呈現龍捲風的圖形，其軌跡約旋轉 10 圈左右。</p> <p>② 有三成的陀螺由外往內旋，圓圈有規律變小，且不互相重疊，像是蝸牛的殼，其軌跡亦約旋轉 8-10 圈。</p> <p>③ 有 12% 的陀螺軌跡像是被拉長的電話線，小螺旋連成大螺旋的軌跡，非常明顯。</p>				
陀螺盤面直徑 9CM				
	74%	18%	8%	
<p>① 盤面直徑 9cm 的陀螺約七成是以小螺旋為單位旋繞成「蝸牛殼」狀，旋轉過程軸心幾乎保持鉛直。</p> <p>② 約二成的陀螺會以小螺旋為單位旋繞成「龍捲風」狀，不但規律的自旋，且還規律的由外而內、由大圈而小圈移動其軌跡。</p> <p>③ 8% 會呈現「電話線」的軌跡。</p>				
陀螺盤面直徑 10CM				
	38%	34%	16%	12%
<p>① 盤面直徑 10cm 的陀螺轉動起來較穩定，且可以轉較久，會發現大多是由小螺旋構成整個軌跡圖形，如左圖，有四成的結果是繞成「電話線」狀，而不互相重疊。</p> <p>② 34% 則是以小螺旋為單位旋繞成「蝸牛殼」狀，旋轉過程軸心幾乎保持鉛直。</p> <p>③ 16% 會單純旋轉成電話線。</p> <p>④ 12% 的陀螺初期原處繞圈後會移動偏移至另一處繼續原地繞圈，形成類似雙頭話筒的圖形。</p>				





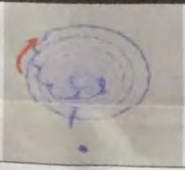
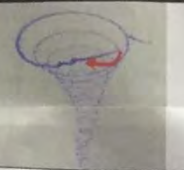


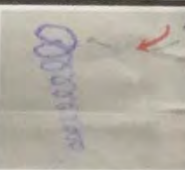

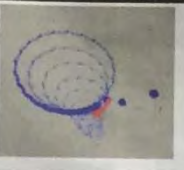














### (三) 盤面的形狀不同的陀螺軌跡

觀察到的陀螺軌跡及出現的百分比

盤面形狀	軌跡圖	百分比	說明
圓形陀螺盤面		38%	<p>①圓型盤面的陀螺轉動起來較穩定，且可以轉較久，會發現大多是由小螺旋構成整個軌跡圖形，如左圖，有四成的結果是繞成「電話線」狀，而不互相重疊。</p> <p>②34%則是以小螺旋為單位旋繞成「蝸牛殼」狀，旋轉過程軸心幾乎保持鉛直。</p> <p>③16%會單純旋轉成電話線。</p> <p>④12%的陀螺初期原處繞圈後會移動偏移至另一處繼續原地繞圈，形成類似雙頭話筒的圖形。</p>
		34%	
		16%	
		12%	
八邊形陀螺盤面		50%	<p>①八邊型盤面的陀螺轉動起來較穩定，大約五成由外而內旋轉成蝸牛殼狀，圈數約在8-10圈。</p> <p>②約二成的八邊形陀螺會規律而重疊的由大到小旋轉成龍捲風狀，圈數約在10-12圈左右，旋轉時間久。</p> <p>③14%的陀螺會以小螺旋式前進，且前進軌跡有大螺旋式反轉現象。</p> <p>④10%陀螺原地打轉5-6圈後倒下。</p> <p>⑤4%會旋轉成規律的「電話線」。</p>
		22%	
		14%	
		10%	
		4%	
六邊形陀螺盤面		68%	<p>①六邊形盤面的陀螺，約七成的軌跡是由外向內同心圓狀的規則繞圈，像蝸牛殼，其軌跡約旋轉10圈左右。</p> <p>②16%的陀螺軌跡像龍捲風狀，也是有規則的由大至小繞8-10圈。</p> <p>③12%一開始也是像龍捲風狀由大至小繞圈，但到中期變得不穩，呈現出凌亂的軌跡。</p> <p>④4%陀螺會原地旋轉2-3圈後倒地。</p>
		16%	
		12%	
		4%	
正方形陀螺盤面		60%	<p>①正方形盤面的陀螺約六成在旋轉初期是3-4點的點狀軌跡，中期穩定後在原地旋轉數圈，最後以彈跳的方式結束。</p> <p>②三成的正方形陀螺，初期會螺旋式的繞圈，像花朵一樣，接著再穩定集中轉2-3圈後結束。</p> <p>③一成的陀螺軌跡如同緊縮的彈簧，且繞圈軌跡沒有規則性。</p>
		30%	
		10%	
三角形陀螺盤面		48%	<p>①三角形盤面的陀螺約一半的比率無法旋轉，彈跳幾下即倒下。</p> <p>②34%的三角形陀螺會旋轉1-2圈後彈跳幾下即倒下。</p> <p>③18%的三角形陀螺會旋轉超過2圈，且圓圈由外而內呈現不規則的排列，最後彈跳幾下即倒下。</p>
		34%	
		18%	



## 二、研究討論

(一) 每種陀螺軌跡都是以順時針方向旋轉，是因為手施以順時針方向旋轉陀螺的力量導致，除了陀螺本身以順時針方向自轉，行進路線也是以順時針方向旋轉前進。

(二) 針對研究結果，我們觀察到以下變因會影響陀螺軌跡。

### 1. 陀螺盤面大小對轉動軌跡的影響：

當轉動速度變慢時，陀螺就開始晃動，盤面越小，較不穩定的波動軌跡越明顯；盤面越大時表示陀螺重量越大，陀螺則較不易傾斜，轉動時間越久，且軌跡是規律穩定的。

### 2. 陀螺軸高對轉動軌跡的影響：

陀螺的盤面距離接觸面近，因為重心低，盤面平穩，轉動的軌跡圈數較多，轉動的時間久；當陀螺的盤面軸高遠，重心變高，觀察到的轉動圈數越少，也十分容易傾倒了。

### 3. 陀螺幾何形狀對轉動軌跡的影響：

圓形盤面的陀螺，轉動軌跡很規律平穩，即使輕微搖晃也能支撐得久；八邊形及六邊形次之；而正方形和三角形的盤面轉動時容易搖晃而即刻傾倒，因此軌跡較凌亂不規則。

(三) 由陀螺旋轉路徑中，由陀螺的前進位移量，可分為三種類別：

1. 陀螺中心前進位移小，軌跡由外而內畫，且不互相交疊的：蝸牛殼型、同心圓型。

2. 陀螺中心前進位移居次，軌跡中的各個圓圈由大變小，且互相交疊的：龍捲風型。

3. 陀螺中心前進位移最高，如同被拉長的螺旋，且不互相交疊的：電話線型。

另外，若有傾斜時會明顯的影響到旋轉的路徑，而創造出無法預測的獨特軌跡。

(四) 陀螺轉動軌跡的預測方面，雖然無法於落地前就進行預測，但可由旋轉初期的軌跡，來預測出接下來的行進方向。

(五) 每種陀螺旋轉的軌跡都不是平滑的曲線，從中皆可以看到大小不等的波動幅度，這是因為陀螺一邊自轉，一邊沿著某種路線而前進的緣故。陀螺一邊自轉，一邊前進，就像是地球一邊自轉，一邊公轉，而月亮則是邊繞著地球，也隨著地球公轉路線運行，因此，許多星球也正在宇宙中畫出許多美麗的螺線。陀螺若傾斜旋轉時，會繞著中心的鉛直線而轉，陀螺的中軸掃過的形狀就像是個圓錐(如右圖)，查資料後發現，這種現象叫做「進動」(precession)，進動是指自轉物體之自轉軸又繞著另一軸旋轉的現象，又可稱作旋進。在天文學上，又稱為「歲差現象」。



圖2 陀螺傾斜旋轉示

## 陸、結論

一、陀螺一邊自轉，一邊前進，會因為陀螺前進的位移量多寡，而影響軌跡各種螺線的樣貌，但可發現順時針旋轉的陀螺，其轉動軌跡也會以順時針方向行進。

二、不同的陀螺轉動軌跡可發現到相似的類型，如電話線型、龍捲風型、蝸牛殼型，但中軸若傾斜時，會因為陀螺旋轉速度及陀螺盤面大小、形狀、軸心高度不同而對轉動軌跡有不同影響。

三、陀螺軌跡於落地前無法準確預測，但可由初期的旋轉軌跡推論出接下來的軌跡形狀。