

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

佳作

080107

轉吧～風動陀螺

學校名稱：桃園市觀音區草漯國民小學

作者： 小六 蘇靖純 小六 古于芯	指導老師： 楊方是 蔡佩玢
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：風動陀螺、轉速、旋轉

摘要

我們曾於網路影音平台中看到有趣的風動陀螺影片，激起我們想進一步研究風動陀螺無限旋轉的秘密。本文主要針對「扇葉設計、陀螺配重、循環扇」三個部分探討：發現（1）風動陀螺扇葉長度影響轉速但沒有改變穩定度（2）風動陀螺寬度會影響陀螺轉速與穩定度（3）扇葉形狀以圓形最佳（4）當傾角位置為 1cm 角度 15 度時，陀螺轉速最快且旋轉穩定（5）於陀螺中心配重或配重於扇葉下方都能提升轉動穩定度（6）限制陀螺旋轉範圍，半徑越小轉速越快但越不穩定（7）當循環扇中央遮風板半徑大小改變時會影響陀螺轉速與穩定度（8）陀螺與循環扇的半徑比會影響轉動穩定度，最佳範圍在 0.5~0.8。

壹、研究動機

我們在抖音上看到一個影片—「無限旋轉陀螺」，材料簡單又容易製作，只要一個風扇，陀螺就能不停旋轉！轉得又快、又穩！在嘗試製作過程中，我們發現風動陀螺看似簡單但有許多細節需要注意，因此我們設計一連串的實驗，破解風動陀螺無限旋轉的秘密！

相關教材：康軒版：第一冊（第三單元）看不見的空气；第五冊（第四單元）力與運動

貳、研究目的

我們分析風動陀螺具「對稱結構」，且能無限旋轉的主因是「轉動速度與穩定度」。因此，本研究中我們將探討兩項陀螺的結構因素：「**扇葉結構**與陀螺體中的**配重**」，對風動陀螺轉動速度與穩定度的影響。另因陀螺啟動旋轉的「動力來源為風力」，故也將本實驗選用之動力源「**循環扇**」加入探討。以上三大實驗變因中，分別探討的因素如下所列：

一、陀螺扇葉之結構變因：主要探討下列四項關鍵因素

- （一） 扇葉長度
- （二） 扇葉寬度
- （三） 扇葉形狀
- （四） 扇葉傾角位置與角度

二、「配重方式」的變因探討：因適當的配重可以大幅提高陀螺轉動時穩定度，故特別探討

- （一） 不同中心配重質量：陀螺中心配重質量的影響
- （二） 配重位置：在扇葉上不同位置加上配重的影響

三、「循環扇」對風動陀螺的影響：風力為主要動力來源，故特別探討下列實驗參數的影響。

- （一） 限制陀螺旋轉範圍半徑
- （二） 循環扇中央遮風板面積
- （三） 循環扇尺寸大小與風動陀螺的關係

參、研究設備及器材

一、實驗材料與設備：

(一) 製作陀螺材料與工具：

1. 圖畫紙：經過「前測實驗與材料易取得」的目標，因此本研究以圖畫紙製作陀螺實驗組。
2. 製作工具：切紙器、切圓器、切割墊、美工刀、剪刀、直尺。

(二) 實驗設備：

1. 循環扇：根據實驗目的，選擇具有風力穩定集中循環扇，使用尺寸與型號如下：
 - (1) Koline 歌林 6 吋 (R35752)。
 - (2) Kozaw 小澤 8 吋 (KW-801S)。
 - (3) 順光 10 吋 (SK-525GHC)。
2. Benetech 數字式測風計 (GM816)：為了避免實驗誤差，實驗進行前，先測量各廠牌循環扇風速後，再進行實驗。
3. Sony 相機 RX 100IV：為了得知陀螺實際轉速，我們以相機 960fps HFR 40 倍超級慢動作進行拍攝，以利後續軟體分析。
4. iPad (第 9 代)：為了瞭解陀螺穩定度，我們使用 iPad 進行側拍。

(三) 分析軟體：

1. Tracker-6.1.3：分析陀螺質點慢速轉動的軌跡影像。
2. Excel：統整數據並繪製關係圖。

(四) 實驗工具：

1. SDI 長尾夾 15mm：重約 2g，扇葉配重實驗用。
2. 環保黏土：陀螺中心配重實驗使用。
3. 量角器：測量陀螺傾角
4. 相機腳架：固定相機與 iPad。

肆、研究過程

一. 文獻回顧：

(一) 風動陀螺轉動原理：

風動陀螺就是一種利用風力轉動的陀螺。當風吹到風動陀螺扇葉上時，扇葉上方壓力較小，下方壓力較大，葉片的形狀和傾斜角度會導致風壓不平衡(圖1)，從而產生一個轉矩力矩，使風動陀螺轉動。

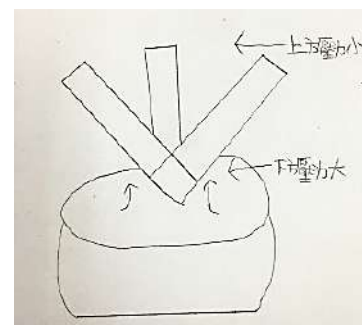


圖 1 風動陀螺旋轉示意圖

(二) 歷屆科展相關研究：

表 1 近十年科展相關研究探討整理表

屆	組	科別	主題	研究內容	本實驗參考研究方向
49	國小	生活與應用科學科	風車轉轉轉	探討風扇扇葉角度和扇葉多寡對風車轉速的影響。(轉速)	扇葉的角度對於轉動效率會有影響
58	國小	物理科	風兒圓舞曲—風力環轉動之研究	探討影響風力環轉動的因素。(轉速)	扇葉的形狀對轉速的影響
55	國中	物理科	給陀螺一點點的改變，把那旋轉變成永遠	探討影響陀螺轉動時間的因素。(時間)	陀螺結構與重量分佈對轉動時間的影響

歷屆科展作品對於影響陀螺旋轉速度與轉動時間，主要探究方向多為：「陀螺主體結構的對稱性」、「重心分佈」以及「扇葉形狀」，但並無深入探討陀螺轉動穩定度。固本研究以「固定的陀螺結構主體」，以風動陀螺「旋轉速度」與「轉動穩定度」為主要研究目標，搭配影像分析軟體，以得更加精確實驗數據。

本文實驗變因除探討「扇葉設計與陀螺配重」外，更進一步探討「陀螺形狀與循環扇的關係」，希望能從三個面向更深入了解影響風動陀螺旋轉速度與穩定度的關係。

二、研究架構圖

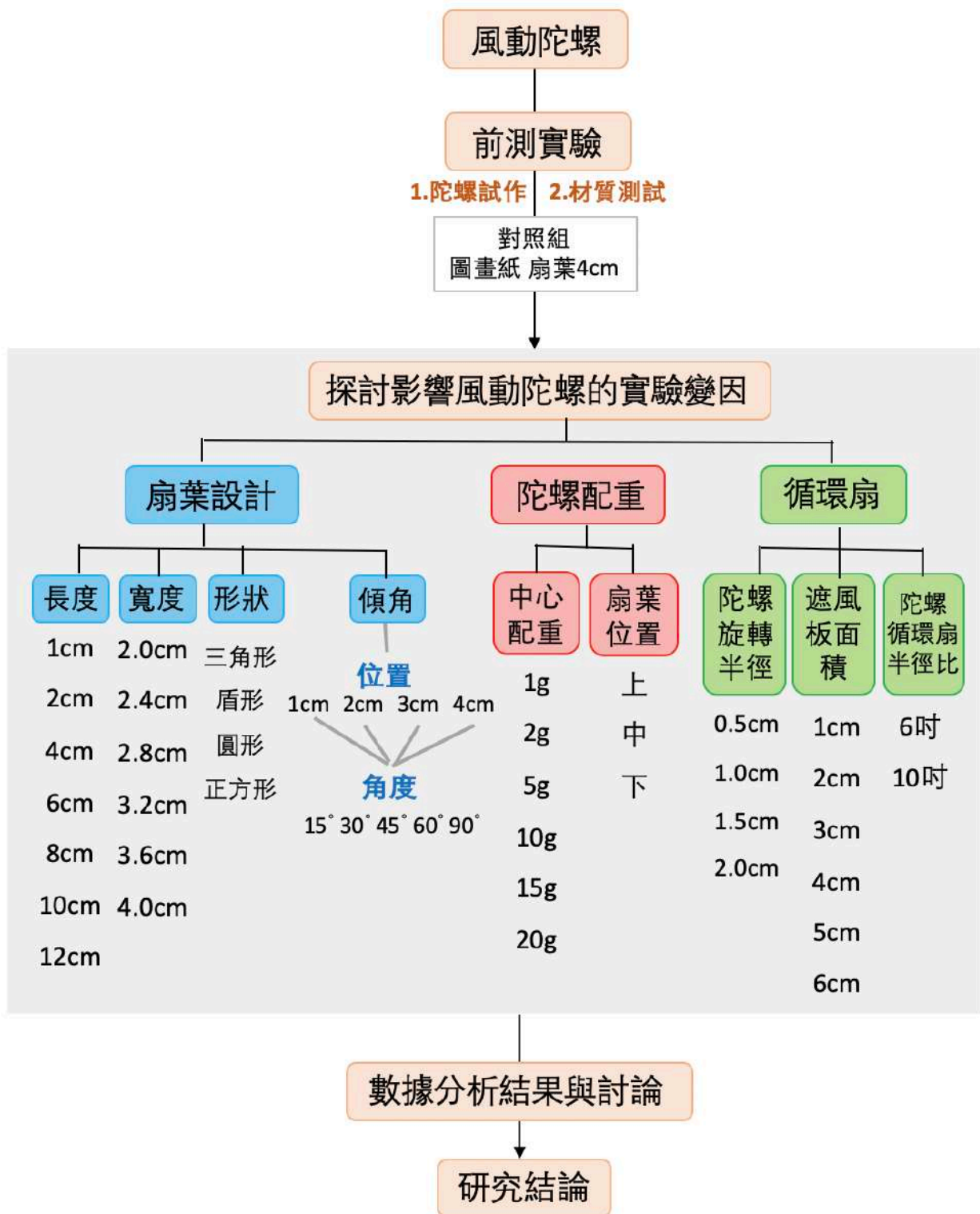


圖 2 本研究架構流程圖

三、風動陀螺設計過程：







(一) 陀螺設計

1. 主體設計：

參考網路平台的製作方式，我們以生活易取得的紙張—「圖畫紙、西卡紙、海報紙、影印紙」，發現影印紙跟海報紙的重量都太輕，容易在旋轉時飛起，而西卡紙跟圖畫紙轉動最為穩定。

在材料取得便利性與製作便利性的前題下，本研究以「圖畫紙」作為材料，製作「扇葉長度 4cm」的風動陀螺作為對照組。

表 2 陀螺主體製作過程

步驟 1	步驟 2	步驟 3	步驟 4	步驟 5	步驟 6
					
尋找適合的材料-圖畫紙	裁切 3 張長 12cm 寬 4cm	對折	組合風動陀螺	用口紅膠黏貼扇葉使其閉合	風動陀螺成品

2. 扇葉設計：

扇葉是風動陀螺最主要的主體，因此針對扇葉進行一系列設計如下：

(1). 扇葉長度：

扇葉長度指得是突出風動陀螺主體的扇葉，本研究以固定寬度 4cm 扇葉長度 1cm、2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、12cm 進行實驗。



圖 3. 不同扇葉長度的陀螺組

(2). 扇葉寬度：

指得是突出風動陀螺主體的扇葉寬度，本研究裁切對照組陀螺的扇葉，以固定扇葉長度 4cm 扇葉寬度 2.0cm、2.4cm、2.8cm、3.2cm、3.6cm 進行扇葉寬度的實驗。

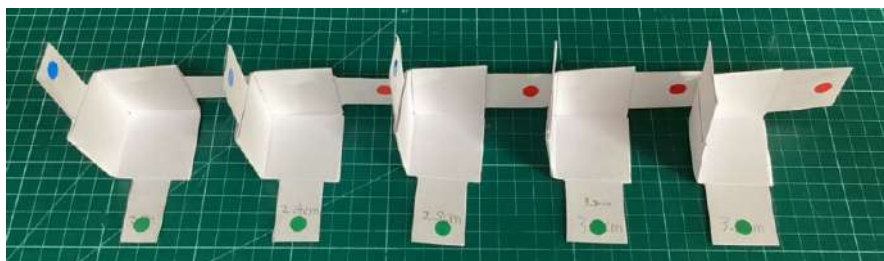


圖 4. 不同扇葉寬度的陀螺組

(3). 扇葉形狀：

本研究裁切原本對照組的陀螺扇葉，以三角形、盾形、圓形扇葉，三種扇葉形狀進行實驗。



圖 5. 不同扇葉形狀的陀螺

(4). 扇葉傾角位置與傾角角度：

在扇葉末端 1cm、2cm、3cm、4cm 處以對角線折出傾角 90° ，了解傾角位置對陀螺的影響，再分別以傾角 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 90° 進行實驗。

表 3 扇葉傾角位置與傾角角度

扇葉傾角位置(由左至右分別為 1cm、2cm、3cm、4cm)	傾角 15°	傾角 30°	傾角 45°	傾角 60°	傾角 90°

3. 陀螺配重：

從文獻中得知配重與中心對一般陀螺有相當程度的影響，因此針對陀螺配重進行實驗探討。

(1). 陀螺中心配重質量：

本研究將環保黏土作為配重材料，置於扇葉中心位置，以 1g、2g、5g、10g、15g、20g 進行實驗。

表 4 陀螺中心配重與配重質量紀錄表

	1g	2g	5g
	10g	15g	20g

(2). 扇葉配重：

本研究以 15mm 的長尾夾（約 2g）作為配重材料，並在扇葉同側距離中心位置—上方（最末端）、中間、下方（最靠近中心）三個位置進行實驗。

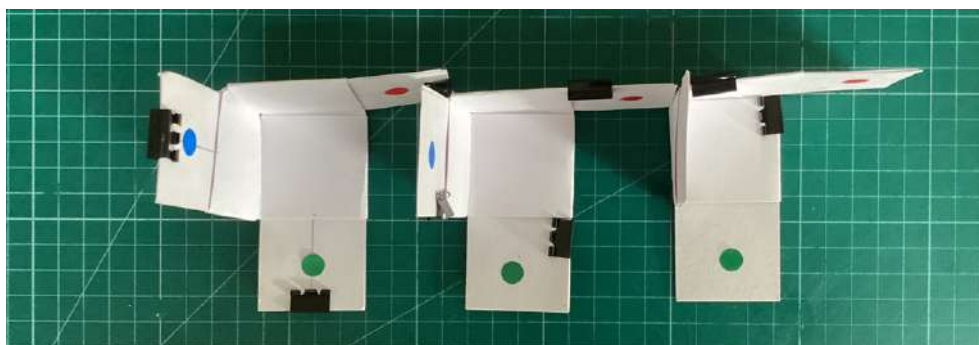


圖 6 不同陀螺扇葉配重位置圖

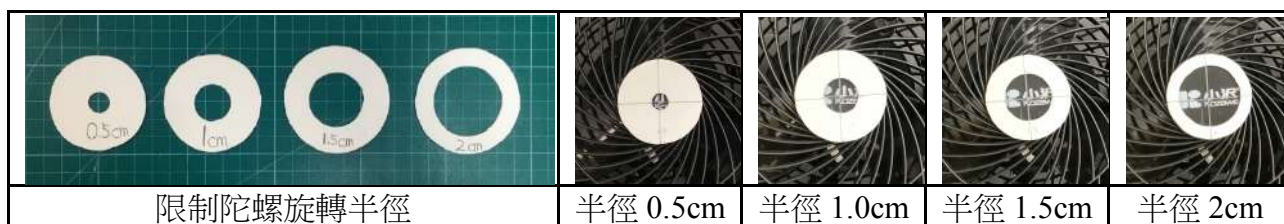
4. 循環扇部分：

因為風動陀螺在循環扇上旋轉，因此針對循環扇進行實驗探討。

(1). 限制陀螺旋轉半徑：

風動陀螺在循環扇中心位置旋轉，我們以紙板製作不同半徑（0.5cm、1.0cm、1.5cm、2cm）的圓形內圈，限制陀螺旋轉範圍。

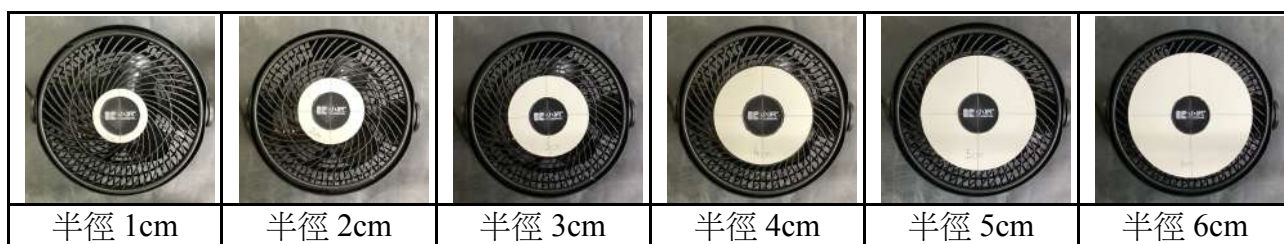
表 5 限制陀螺旋轉半徑尺寸表



(1) 循環扇遮風板面積：

我們想要探討風動陀螺在循環扇中心旋轉時，受風的影響程度，因此我們以紙板製作不同半徑 1cm、2cm、3cm、4cm、5cm、6cm（外徑 - 內徑）的遮風板面積。

表 6 循環扇上各尺寸遮風板面積



四、實驗裝置

將「相機」架在陀螺正上方，當風動陀螺旋轉穩定時，進行慢速拍攝；再以「iPad」側拍陀螺的旋轉穩定度，以精確紀錄風動陀螺旋轉的過程。實驗皆使用各尺寸循環扇的最低速，並且以扇面垂直地面 90 度向上送風，風速計測得的平均風速約為 4.2~4.3m/s。

- (一) 相機上拍：慢速拍攝陀螺的旋轉狀態。
- (二) iPad 側拍：紀錄風動陀螺轉動過程。



圖 7a 實驗裝置—循環扇正面向上，相機立於正上方。



圖 7b 側拍裝置—水平側拍陀螺旋轉情形。



圖 7c 測量三個循環扇的平均風速。

五、實驗操作與紀錄：

- (一) 操作方式：

在風動陀螺的三個扇葉固定位置，分別黏上紅、綠、黃三個顏色的圓點(直徑)，當循環扇開啟後，再放置風動陀螺於循環扇中心，當陀螺穩定穩定後，再進行慢速攝影 5 次，再進行 iPad 側拍，以確認陀螺轉動穩定度。

表 7 實驗操作步驟表


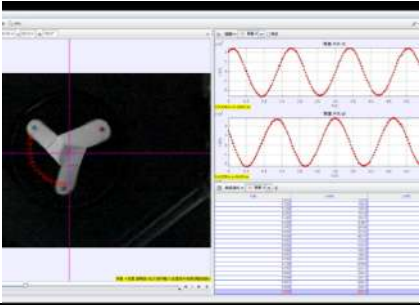
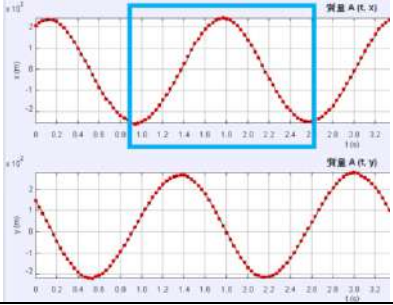
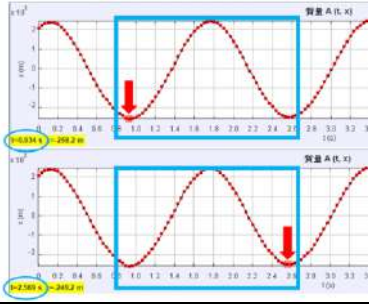
步驟 1	步驟 2	步驟 3	步驟 4
			
陀螺上貼標籤以利後續軟體分析	陀螺置於循環扇正中央	穩定後進行慢速攝影	側拍觀察陀螺轉動情形

(二) 軟體分析方法：

每次實驗中使用慢速拍攝陀螺轉動情形，再利用 tracker 軟體分析影片結果，計算風動陀螺的轉動速度。

1. 利用 tracker 軟體分析，追蹤陀螺轉動的軌跡。
2. 取穩定波形中的一個波形，計算陀螺轉速。
3. 因相機為 40 倍慢速攝影，再將步驟 2 的紀錄結果除以 40，推估陀螺實際轉速。

表 8 軟體分析步驟表

<p style="text-align: center;">步驟 1</p> 	<p style="text-align: center;">步驟 2</p> 
<p style="text-align: center;">使用軟體分析陀螺轉動影像</p>	<p style="text-align: center;">逐點追蹤陀螺跑出完整波形</p>
<p style="text-align: center;">步驟 3</p> 	<p style="text-align: center;">步驟 4</p> 
<p style="text-align: center;">只取 X 軸的一個波形</p>	<p style="text-align: center;">計算一個波形的時間，推算出陀螺轉速</p>

(三) 操作定義：

1. 陀螺循環扇半徑比：
指的是「不同扇葉長度的陀螺，旋轉時的所畫的圓半徑」：「循環扇的半徑」。
2. 陀螺穩定度：

分析側拍的陀螺旋轉畫面，以紅色方框完整框住水平陀螺中心，觀察陀螺的水平線與垂直線的最大偏移情形截圖紀錄，離框越遠表示不穩定，反之穩定。

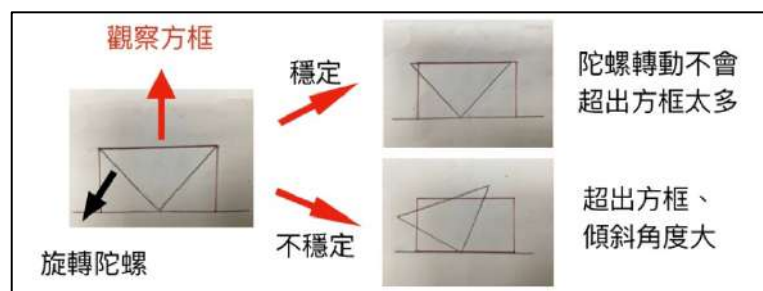


圖 8 陀螺穩定度示意圖

六、研究過程：

(一) 目的一：探討扇葉設計部分對風動陀螺的影響

1. 實驗變因設置：

- **實驗一：研究不同扇葉長度對風動陀螺的影響**

操縱變因：不同扇葉長度（1cm、2cm、4cm、6cm、8cm、10cm、12cm）

控制變因：風力大小、扇葉寬度、扇葉形狀、扇葉傾角、紙質、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

- **實驗二：研究不同扇葉寬度對風動陀螺的影響**

操縱變因：不同扇葉寬度（2.0cm、2.4cm、2.8cm、3.2cm、3.6cm）

控制變因：風力大小、扇葉長度、扇葉形狀、扇葉傾角、紙質、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

- **實驗三：研究不同扇葉形狀對風動陀螺的影響**

操縱變因：不同扇葉形狀（三角形、盾形、圓形）

控制變因：風力大小、扇葉長度、扇葉寬度、扇葉傾角、紙質、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

- **實驗四：研究不同扇葉傾角位置對風動陀螺的影響**

操縱變因：不同扇葉傾角位置（1cm、2cm、3cm、4cm）

控制變因：風力大小、扇葉長度、扇葉寬度、扇葉形狀、傾角角度（90°）、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

- **實驗五：研究不同扇葉位置傾角角度對風動陀螺的影響**

操縱變因：扇葉各位置傾角角度（15°、30°、45°、60°、90°）

控制變因：風力大小、扇葉長度、扇葉寬度、扇葉形狀、傾角位置、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

2. 實驗步驟：

- (1) 實驗前根據各實驗需求，製作不同的風動陀螺，為確保實驗準確，選擇無人員進出且關窗無風的自然教室中執行實驗，並且確認實驗裝置與設備的位置是否正確，完成實驗前置作業。
- (2) 實驗人員就實驗位置，開啟循環扇使其運轉，於循環扇中心放上風動陀螺。
- (3) 當陀螺轉動穩定時，開啟相機的慢速攝影功能，並將影片存於電腦。

- (4) 重複步驟(2)~(3)五次。
- (5) 將影片以 tracker 軟體進行分析。
- (6) 計算出陀螺轉速，算出陀螺轉速平均值，並記錄於表單。
- (7) 側拍陀螺轉動情形，並分析影片中陀螺轉動情況且截圖進行紀錄。

(二) 目的二：探討陀螺配重對風動陀螺的影響

1. 實驗變因設置：

- **實驗六：研究陀螺中心配重質量對風動陀螺的影響。**

操縱變因：陀螺中心配重質量（1g、2g、5g、10g、15g、20g）

控制變因：風力大小、風動陀螺（對照組）、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

- **實驗七：研究陀螺扇葉配重位置對風動陀螺的影響。**

操縱變因：陀螺扇葉配重位置（上、中、下）

控制變因：風力大小、風動陀螺（對照組）、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

2. 實驗步驟：

- (1) 實驗前根據實驗需求，在對照組風動陀螺做不同配重，為確保實驗準確，選擇無人員進出且關窗無風的自然教室中執行實驗，並且確認實驗裝置與設備的位置是否正確，完成實驗前置作業。
- (2) 實驗人員就實驗位置，開啟循環扇使其運轉，並於中心放上風動陀螺。
- (3) 當陀螺轉動穩定時，開啟相機的慢速攝影功能，並將影片存於電腦。
- (4) 重複步驟(2)~(3)五次。
- (5) 將影片以 tracker 軟體進行分析。
- (6) 計算出陀螺轉速，算出陀螺轉速平均值，並記錄於表單。
- (7) 側拍陀螺轉動情形，並分析影片中陀螺轉動情況且截圖進行紀錄。

(三) 目的三：探討循環扇對風動陀螺的影響

1. 實驗變因設置：

- **實驗八：研究循環扇上限制陀螺旋轉半徑對風動陀螺的影響**

操縱變因：陀螺旋轉半徑（0.5cm、1.0cm、1.5cm、2.0cm）

控制變因：風力大小、風動陀螺（對照組）、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

- **實驗九：研究不同循環扇遮風板面積對風動陀螺的影響**

操縱變因：循環扇遮風面積（半徑：1cm、2cm、3cm、4cm、5cm、6cm）

控制變因：風力大小、風動陀螺（對照組）、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

2. **實驗步驟：**

- (1) 實驗前根據各實驗需求配置循環扇，為確保實驗準確，選擇無人員進出且關窗無風的自然教室中執行實驗，並且確認實驗裝置與設備的位置是否正確，完成實驗前置作業。
- (2) 實驗人員就實驗位置，開啟循環扇使其運轉，於循環扇中心放上風動陀螺。
- (3) 當陀螺轉動穩定時，開啟相機的慢速攝影功能，並將影片存於電腦。
- (4) 重複步驟(2)~(3)五次。
- (5) 將影片以 **tracker** 軟體進行分析。
- (6) 計算出陀螺轉速，算出陀螺轉速平均值，並記錄於表單。
- (7) 側拍陀螺轉動情形，並分析影片中陀螺轉動情況且截圖進行紀錄。

- **實驗十：研究循環扇大小跟風動陀螺的關係**

操縱變因：不同尺寸的循環扇（6吋、10吋）

控制變因：風力大小、不同扇葉長度的風動陀螺、紙質、儀器設備、固定設備位置、實驗監測者、紀錄時間

3. **實驗步驟：**

- (1) 為確保實驗準確，選擇無人員進出且關窗無風的自然教室中執行實驗，並且確認實驗裝置與設備的位置是否正確，完成實驗前置作業。
- (2) 實驗人員就實驗位置，開啟 6 吋循環扇使其運轉，於循環扇中心放上扇葉長度 1cm 的風動陀螺。
- (3) 當陀螺轉動穩定時，開啟相機的慢速攝影功能，並將影片存於電腦。
- (4) 重複步驟(2)~(3)五次。
- (5) 將影片以 **tracker** 軟體進行分析。
- (6) 計算出陀螺轉速，算出陀螺轉速平均值，並記錄於表單。
- (7) 側拍陀螺轉動情形，並分析影片中陀螺轉動情況且截圖進行紀錄。
- (8) 重複步驟(2)~(7)直到完成所有扇葉長度風動陀螺實驗。
- (9) 換 10 吋循環扇，重複步驟(2)~(8)直至實驗完成。

肆、研究結果

一. 實驗一：

表 9 陀螺扇葉長度實驗記錄表

扇葉長度	1cm	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm
第 1 次 (秒)	0.000	0.037	0.083	0.091	0.095	0.164	0.000
第 2 次 (秒)	0.000	0.035	0.068	0.048	0.095	0.159	0.000
第 3 次 (秒)	0.000	0.036	0.102	0.046	0.092	0.133	0.000
第 4 次 (秒)	0.000	0.037	0.049	0.052	0.093	0.154	0.000
第 5 次 (秒)	0.000	0.038	0.090	0.050	0.093	0.125	0.000
平均值 (秒)	0.000	0.036	0.078	0.057	0.094	0.147	0.000
實際轉速 rps	0.000	27.446	12.753	17.425	10.685	6.819	0.000

二. 實驗二：

表 10 陀螺扇葉寬度實驗記錄表

扇葉寬度	2.0cm	2.4cm	2.8cm	3.2cm	3.6cm	4.0cm
第 1 次 (秒)	0.052	0.053	0.063	0.046	0.043	0.083
第 2 次 (秒)	0.073	0.064	0.060	0.042	0.035	0.068
第 3 次 (秒)	0.063	0.066	0.074	0.038	0.033	0.102
第 4 次 (秒)	0.083	0.085	0.068	0.038	0.035	0.049
第 5 次 (秒)	0.049	0.049	0.063	0.040	0.034	0.090
平均值 (秒)	0.064	0.064	0.066	0.041	0.036	0.078
實際轉速 rps	15.610	15.732	15.213	24.462	27.747	12.753

三. 實驗三：

表 11 陀螺扇葉形狀實驗記錄表

扇葉形狀	正方形	三角形	盾形	圓形
第 1 次 (秒)	0.083	0.097	0.107	0.036
第 2 次 (秒)	0.068	0.117	0.003	0.036
第 3 次 (秒)	0.102	0.081	0.113	0.023
第 4 次 (秒)	0.049	0.074	0.126	0.038
第 5 次 (秒)	0.090	0.083	0.130	0.036
平均值 (秒)	0.078	0.090	0.096	0.034
實際轉速 rps	12.753	11.083	10.441	29.696

四. 實驗四：

表 12 陀螺傾角位置實驗記錄表

扇葉傾角位置	1cm	2cm	3cm	4cm
第 1 次 (秒)	0.070	0.149	0.168	0.379
第 2 次 (秒)	0.069	0.214	0.260	0.381
第 3 次 (秒)	0.064	0.119	0.280	0.535
第 4 次 (秒)	0.068	0.133	0.328	0.346
第 5 次 (秒)	0.066	0.147	0.415	0.319
平均值 (秒)	0.068	0.152	0.290	0.393
實際轉速 rps	14.799	6.558	3.445	2.551

五. 實驗五：

表 13a 傾角位置 1cm 實驗記錄表

扇葉傾角	15°	30°	45°	60°	90°
第 1 次 (秒)	0.048	0.047	0.054	0.065	0.070
第 2 次 (秒)	0.043	0.048	0.054	0.060	0.069
第 3 次 (秒)	0.043	0.052	0.040	0.058	0.064
第 4 次 (秒)	0.044	0.053	0.054	0.060	0.068
第 5 次 (秒)	0.043	0.053	0.058	0.060	0.066
平均值 (秒)	0.044	0.050	0.052	0.061	0.068
實際轉速 rps	22.792	19.847	19.161	16.466	14.799

表 13b 傾角位置 2cm 實驗記錄表

扇葉傾角	15°	30°	45°	60°	90°
第 1 次 (秒)	0.042	0.059	0.080	0.105	0.149
第 2 次 (秒)	0.042	0.055	0.069	0.083	0.214
第 3 次 (秒)	0.041	0.055	0.063	0.094	0.119
第 4 次 (秒)	0.043	0.053	0.068	0.080	0.133
第 5 次 (秒)	0.044	0.054	0.065	0.079	0.147
平均值 (秒)	0.042	0.055	0.069	0.088	0.152
實際轉速 rps	23.691	18.054	14.517	11.332	6.558

表 13c 傾角位置 3cm 實驗記錄表

扇葉傾角	15°	30°	45°	60°	90°
第 1 次 (秒)	0.046	0.061	0.156	0.174	0.168
第 2 次 (秒)	0.048	0.064	0.120	0.221	0.260
第 3 次 (秒)	0.046	0.069	0.156	0.212	0.280
第 4 次 (秒)	0.048	0.103	0.114	0.227	0.328
第 5 次 (秒)	0.048	0.061	0.143	0.161	0.415
平均值 (秒)	0.047	0.072	0.138	0.199	0.290
實際轉速 rps	21.180	13.971	7.244	5.024	3.445

表 13d 傾角位置 4cm 實驗記錄表

扇葉傾角	15°	30°	45°	60°	90°
第 1 次 (秒)	0.068	0.183	0.124	0.162	0.379
第 2 次 (秒)	0.059	0.069	0.142	0.129	0.381
第 3 次 (秒)	0.087	0.081	0.131	0.159	0.535
第 4 次 (秒)	0.082	0.201	0.131	0.132	0.346
第 5 次 (秒)	0.057	0.119	0.132	0.163	0.319
平均值 (秒)	0.070	0.131	0.132	0.149	0.392
實際轉速 rps	14.204	7.655	7.578	6.712	2.551

六. 實驗六：

表 14 陀螺中心配重質量實驗記錄表

配重質量	1g	2g	5g	10g	15g	20g
第 1 次 (秒)	0.038	0.038	0.051	0.046	0.054	0.000
第 2 次 (秒)	0.038	0.040	0.046	0.050	0.045	0.000
第 3 次 (秒)	0.040	0.040	0.048	0.057	0.046	0.000
第 4 次 (秒)	0.038	0.040	0.043	0.049	0.044	0.000
第 5 次 (秒)	0.039	0.039	0.043	0.048	0.048	0.000
平均值 (秒)	0.039	0.039	0.046	0.050	0.048	0.000
實際轉速 rps	25.950	25.426	21.701	19.982	21.019	0.000

七. 實驗七：

表 15 陀螺扇葉配重位置實驗記錄表

配重位置	上	中	下
第 1 次 (秒)	0.053	0.041	0.043
第 2 次 (秒)	0.048	0.043	0.037
第 3 次 (秒)	0.042	0.038	0.047
第 4 次 (秒)	0.039	0.040	0.038
第 5 次 (秒)	0.036	0.043	0.038
平均值 (秒)	0.044	0.041	0.040
實際轉速 rps	22.878	24.444	24.768

八. 實驗八：

表 16 限制陀螺旋轉半徑實驗記錄表

陀螺旋轉半徑	0.5cm	1.0cm	1.5cm	2.0cm
第 1 次 (秒)	0.043	0.038	0.040	0.039
第 2 次 (秒)	0.038	0.039	0.039	0.041
第 3 次 (秒)	0.039	0.038	0.035	0.039
第 4 次 (秒)	0.046	0.037	0.037	0.039
第 5 次 (秒)	0.044	0.037	0.037	0.040
平均值 (秒)	0.042	0.038	0.038	0.040
實際轉速 rps	23.787	26.642	26.638	25.186

九. 實驗九：

表 17 遮風板面積實驗記錄表

遮風板半徑	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
第 1 次 (秒)	0.044	0.257	0.000	0.000	0.000	0.000
第 2 次 (秒)	0.043	0.224	0.000	0.000	0.000	0.000
第 3 次 (秒)	0.043	0.163	0.000	0.000	0.000	0.000
第 4 次 (秒)	0.043	0.166	0.000	0.000	0.000	0.000
第 5 次 (秒)	0.051	0.164	0.000	0.000	0.000	0.000
平均值 (秒)	0.045	0.195	0.000	0.000	0.000	0.000
實際轉速 rps	22.361	5.136	0.000	0.000	0.000	0.000

十. 實驗十：

表 18 各扇葉長度風動陀螺與循環扇半徑記錄表

項目	風動陀螺							循環扇		
尺寸	1cm	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm	6吋	8吋	10吋
半徑	4	4.5	6	7	9	10.5	13.5	7.5	10	12.5

表 19 陀螺循環扇半徑比記錄表

陀螺	扇葉長度	1cm	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm
循環扇比	6吋	0.53	0.60	0.80	0.93	1.20	1.40	1.80
	8吋	0.4	0.45	0.6	0.7	0.9	1.05	1.35
	10吋	0.32	0.36	0.48	0.56	0.72	0.84	1.08

表 20 6吋循環扇實驗記錄表

扇葉長度	1cm	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm
第 1 次 (秒)	0.000	0.042	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000
第 2 次 (秒)	0.000	0.048	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000
第 3 次 (秒)	0.000	0.049	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000
第 4 次 (秒)	0.000	0.041	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
第 5 次 (秒)	0.000	0.041	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000
平均值 (秒)	0.000	0.044	0.036	0.000	0.000	0.000	0.000
實際轉速 rps	0.000	0.042	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000

表 21 10吋循環扇實驗記錄表

扇葉長度	1cm	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm
第 1 次 (秒)	0.000	0.000	0.084	0.063	0.073	0.000	0.000
第 2 次 (秒)	0.000	0.000	0.085	0.063	0.070	0.000	0.000
第 3 次 (秒)	0.000	0.000	0.079	0.063	0.068	0.000	0.000
第 4 次 (秒)	0.000	0.000	0.087	0.062	0.072	0.000	0.000
第 5 次 (秒)	0.000	0.000	0.085	0.061	0.068	0.000	0.000
平均值 (秒)	0.000	0.000	0.084	0.062	0.070	0.000	0.000
實際轉速 rps	0.000	0.000	0.084	0.063	0.073	0.000	0.000

伍、討論

一. 實驗一：研究不同扇葉長度對風動陀螺的影響

(一) 實驗結果

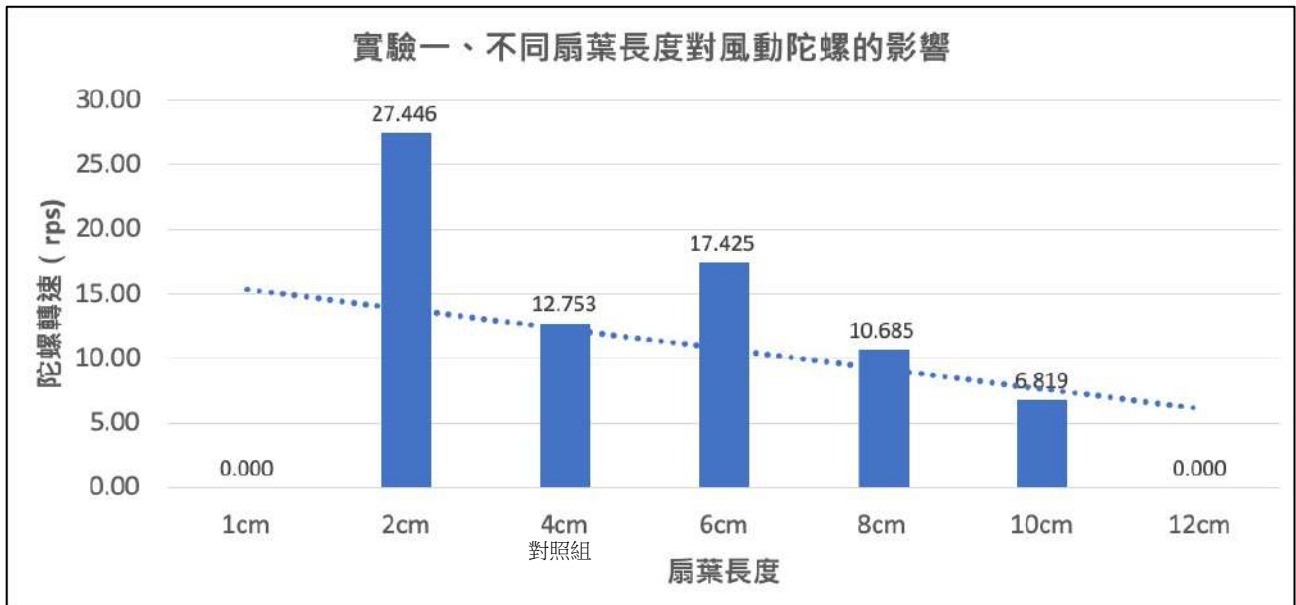
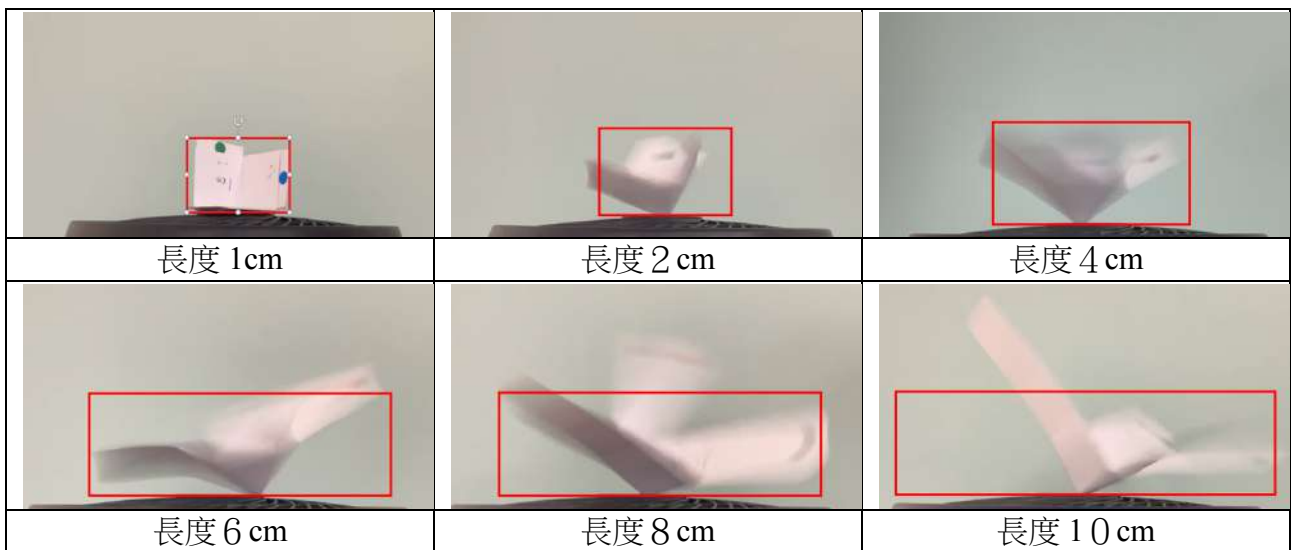


表 22 不同扇葉長度陀螺轉動情形紀錄表



(二) 結果討論：

1. 從實驗一的轉速圖表中，我們可見「扇葉長度確實會對陀螺的轉速造成影響」，陀螺平均轉速由快至慢依序為：2cm>6cm>4cm>8 cm>10 cm，其中扇葉長度 1cm 陀螺不易轉動，12cm 甚至轉不動，可見扇葉長度跟循環扇的大小之間，可能具有一定的關係。
2. 而各種扇葉長度的陀螺，雖然會影響轉速，但轉速快（2cm、6cm）穩定度不一定佳，從表 22 可見扇葉越長，轉動越容易偏斜。

二. 實驗二：研究不同扇葉寬度對風動陀螺的影響

(一) 實驗結果：

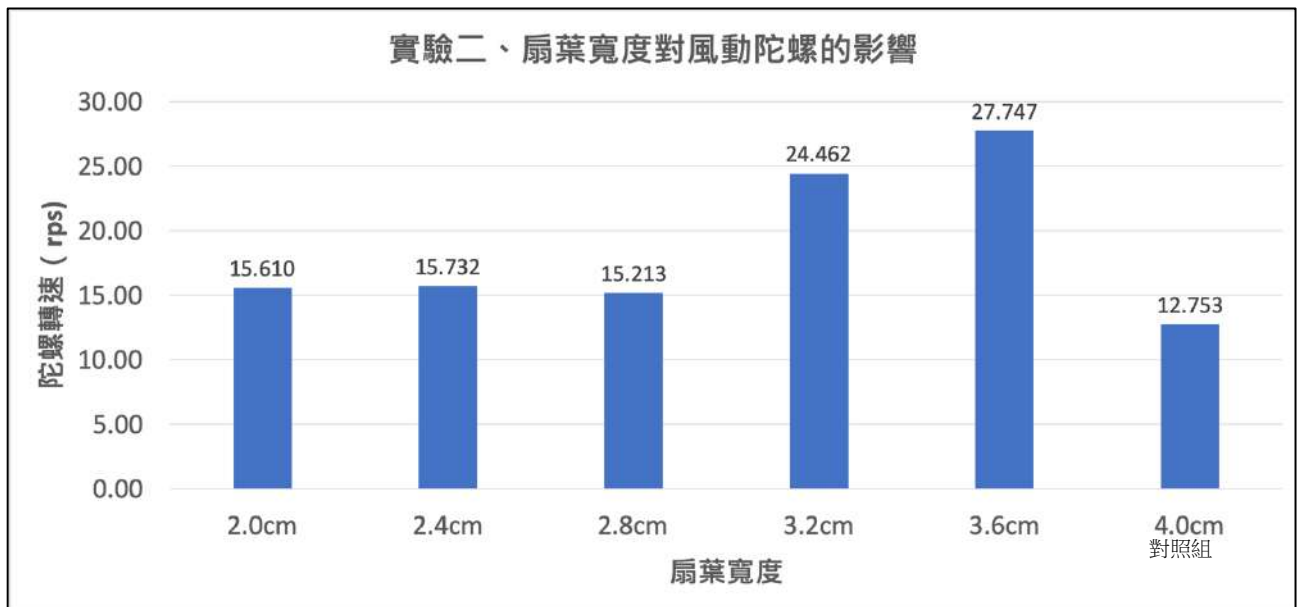
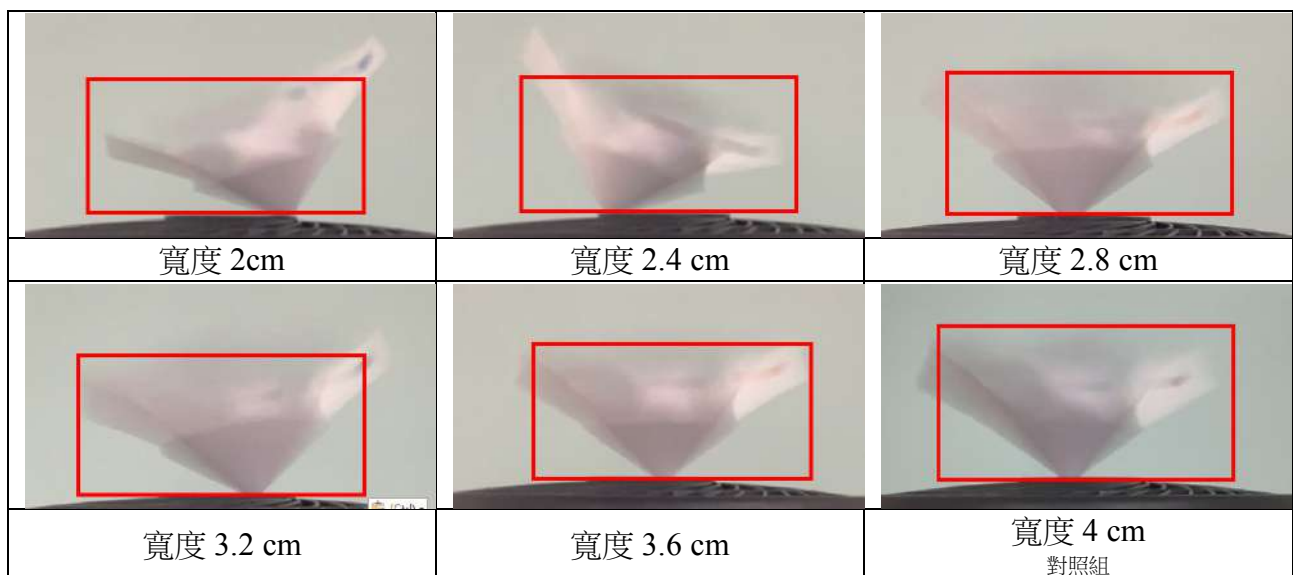


表 23 不同扇葉寬度陀螺轉動情形紀錄



(二) 結果討論

1. 實驗二的轉速結果中，扇葉寬度 3.6cm 轉速最快，但扇葉寬度 2.8cm 以下，速度反而變慢，但跟對照組相比差異不大，可見稍微裁剪扇葉，會使陀螺旋轉速度加快。表 23 的陀螺轉動情形截圖中，可見裁減扇葉對於陀螺的穩定度影響明顯，寬度越窄，轉動就越傾斜不穩定。
2. 若要有轉速快又穩定的風動陀螺，僅能稍微裁切扇葉的寬度，能提高轉速也能保持穩定，但扇葉寬度對於陀螺的穩定度影響更為明顯。

三. 實驗三：研究不同扇葉形狀對風動陀螺的影響

(一) 實驗結果：

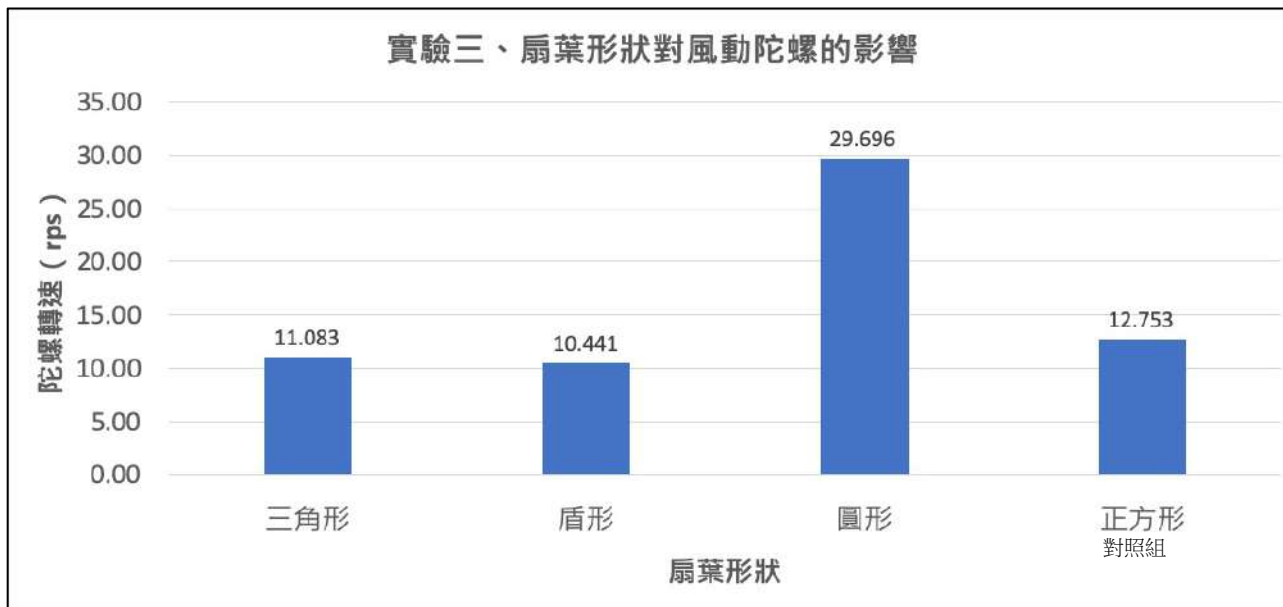
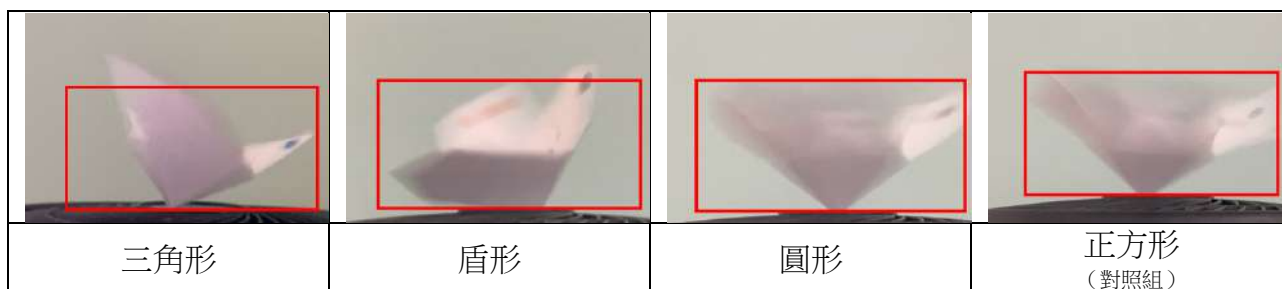


表 24 不同扇葉形狀陀螺轉動情形



(二) 結果討論：

- 實驗三陀螺轉速由快至慢依序為：圓形>正方形（對照組）>三角形=盾形，圓形扇葉轉速最快，轉速提高兩倍以上，三角形和盾形轉速跟對照組相比，變化不大。
- 表 24 中，圓形扇葉的風動陀螺不僅轉速快，且轉動更加穩定，總結實驗一、實驗二、實驗三，扇葉長度 2cm（面積 8cm^2 ）、寬度 3.6cm（面積 14.4cm^2 ）跟圓形扇葉（ 20.56cm^2 ），都是轉速快的陀螺，但是扇葉長度 2cm 最不穩定，我們推測是否跟陀螺受風的面積有關？因此我們保持扇葉面積，但是增加傾角進行近一步的討論。
- 註：
 - 扇葉長度 2cm 面積：長 4 cm X 寬 2 cm = 8cm^2
 - 扇葉寬度 3.6cm 面積：長 3.6 cm X 寬 4 cm = 14.4cm^2
 - 圓形扇葉面積：直徑 4 cm X 3.14 cm + 長 4 cm X 寬 2 cm = 20.56cm^2

四. 實驗四：研究不同扇葉傾角位置對風動陀螺的影響

(一) 實驗結果：

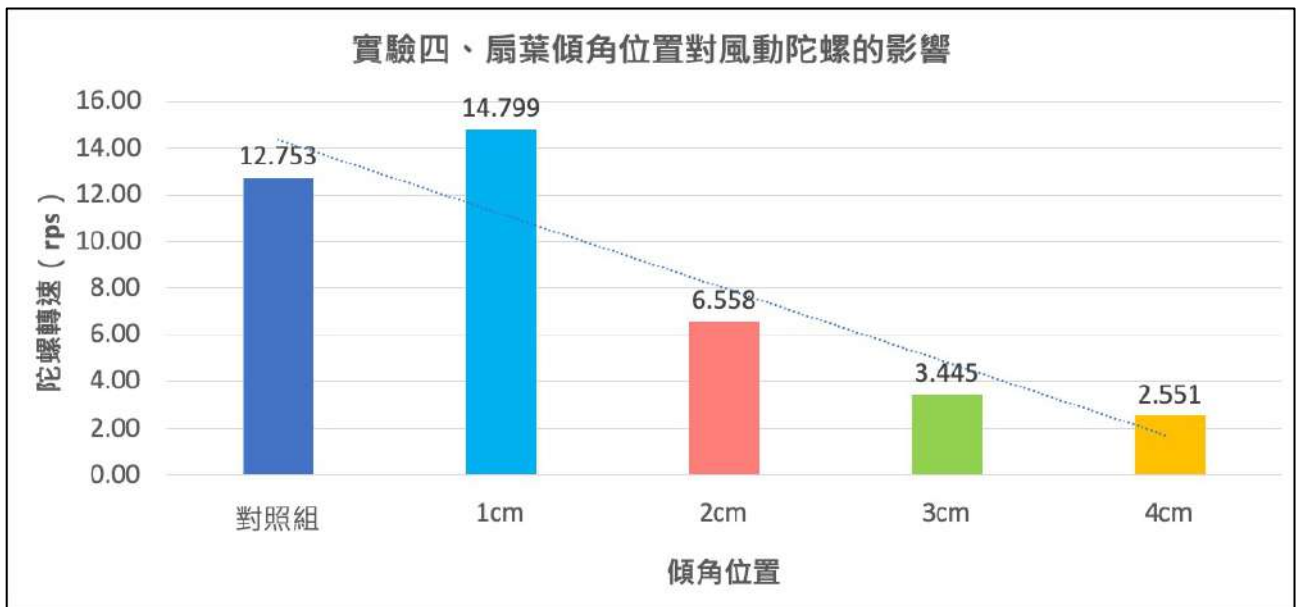
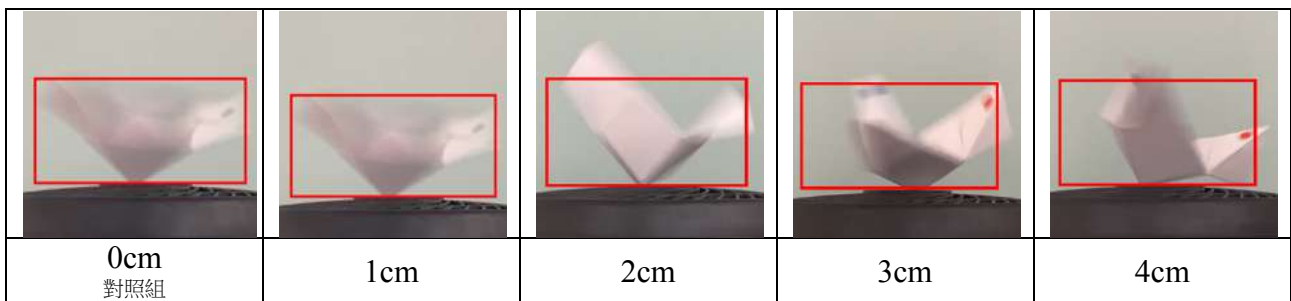


表 25 不同扇葉傾角位置陀螺轉動情形



(二) 結果討論：

1. 從實驗四轉速與表 25 結果中，傾角的位置越寬轉速越慢，傾角位置 1cm（折角 90°），轉速變快且穩定但傾角寬度 3cm 與 4cm，在旋轉時折角會接觸到循環扇扇面，因此我們想：「其他寬度的轉速變慢，是不是受接觸循環扇扇面影響？」我們更進一步討論各位置的傾斜角度。

五. 實驗五：研究不同扇葉各位置傾角角度對風動陀螺的影響

(一) 實驗結果：

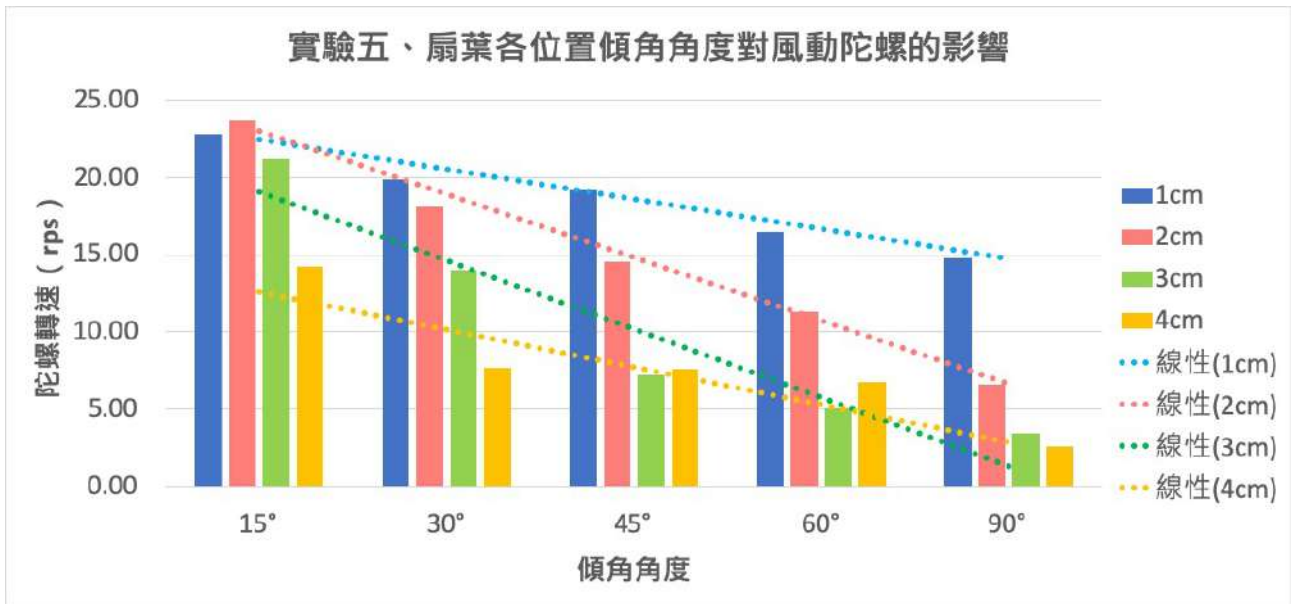


表 26 各位置傾角角度陀螺轉動情形

	1cm	2cm	3cm	4cm
	← 穩定			不穩定 →
15°				
30°				
45°				
60°				
90°				
	↑ 不穩定			

(二) 結果討論：

1. 從實驗五的結果中，折角角度越大，轉動速度越慢，而折角位置 1cm 在任何傾角轉速都是最快的。表 26 中的陀螺轉動情形，更可以看到折角位置越寬、傾角越大都不穩定，所以陀螺傾角位置為 1cm 角度 15 度時，可增加陀螺的轉速與穩定度。我們進一步想探討：「如果增加轉速不一定穩定，那增加配重，是不是就能改變陀螺轉動穩定度的情形？」

六. 實驗六：研究陀螺中心配重重量對風動陀螺的影響。

(一) 實驗結果：

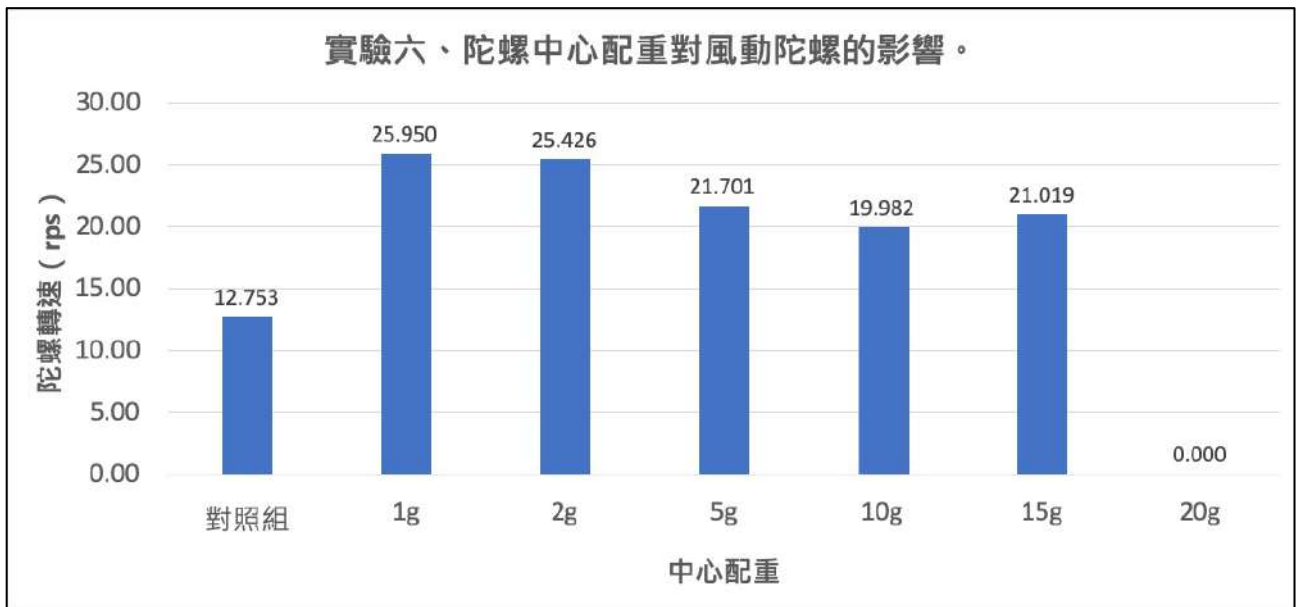
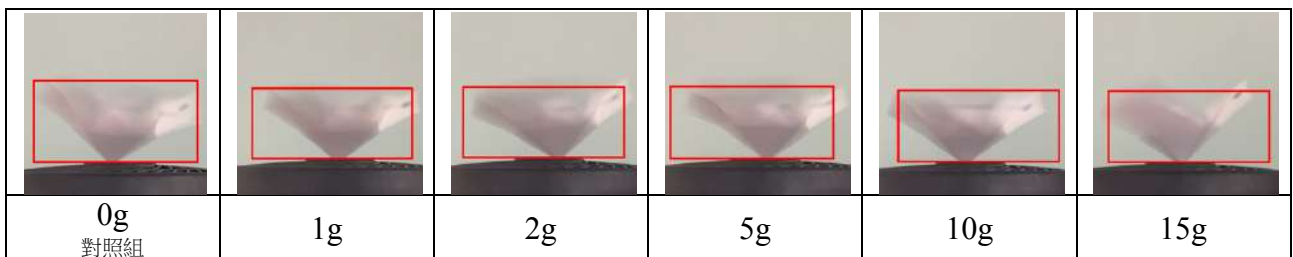


表 27 各陀螺中心配重轉動情形



(二) 結果討論：

1. 從實驗六結果，於陀螺中心增加質量都會明顯提升轉速，我們認為是因為在中心配重，重心穩定，所以旋轉時比較不會偏斜，而 1~2g 的質量，能幫助陀螺旋轉時重心在中間，轉速加快且穩定。
2. 表 27 中可見，當中心配重越重 (5g 以上)，陀螺在旋轉一段時間後，旋轉範圍會慢慢加大，且重量為 20g 陀螺轉不動，所以陀螺配重不能太重，需在陀螺轉動力量可承重的範圍，因此我們進一步討論：「如果在扇葉配重在扇葉不同位置又會有什麼影響呢？」

七. 實驗七：研究陀螺扇葉配重位置對風動陀螺的影響。

(一) 實驗結果

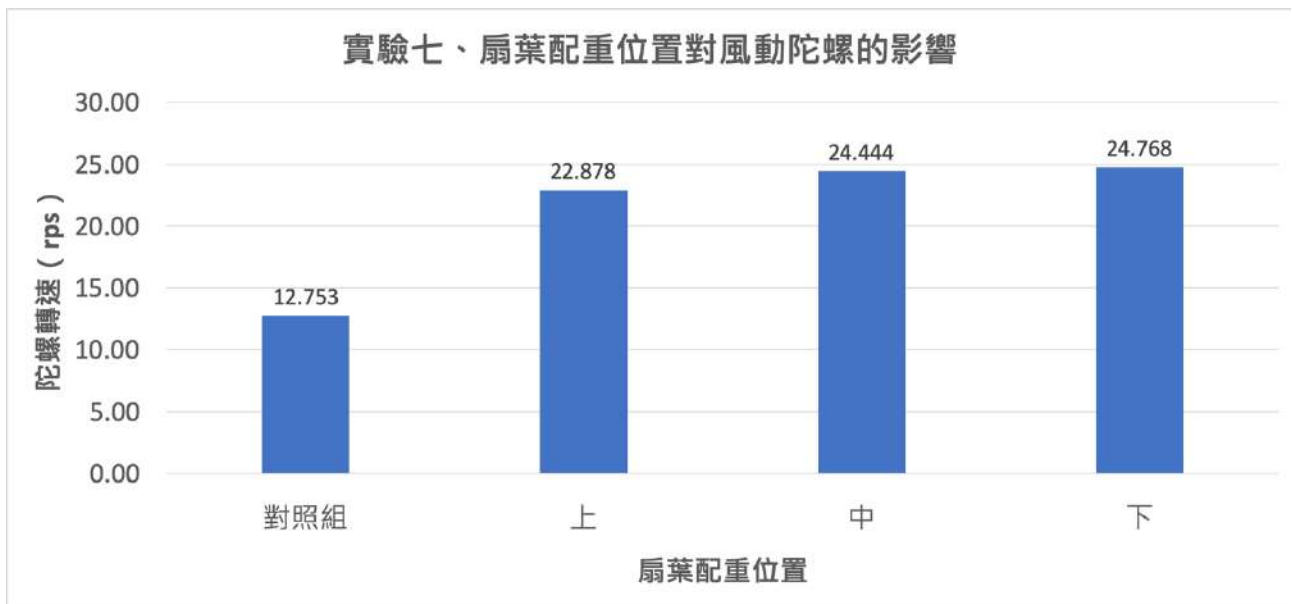
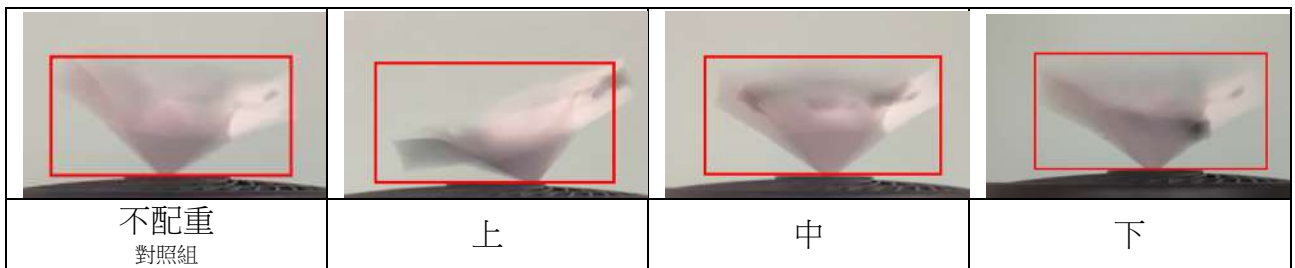


表 28 不同扇葉配重位置陀螺轉動情形



(二) 結果討論：

1. 實驗七結果跟實驗六相同，在風動陀螺上增加配重都能夠使陀螺轉速變快，而表 28 中，當在扇葉上方增加配重時，雖然轉速快也可以無限旋轉，但陀螺的轉動傾斜，可見增加扇葉配重於下方，重心越集中陀螺中央，更增加風動陀螺的轉速與穩定度。

八. 實驗八：研究循環扇上限制陀螺旋轉半徑對風動陀螺的影響

(一) 實驗結果：

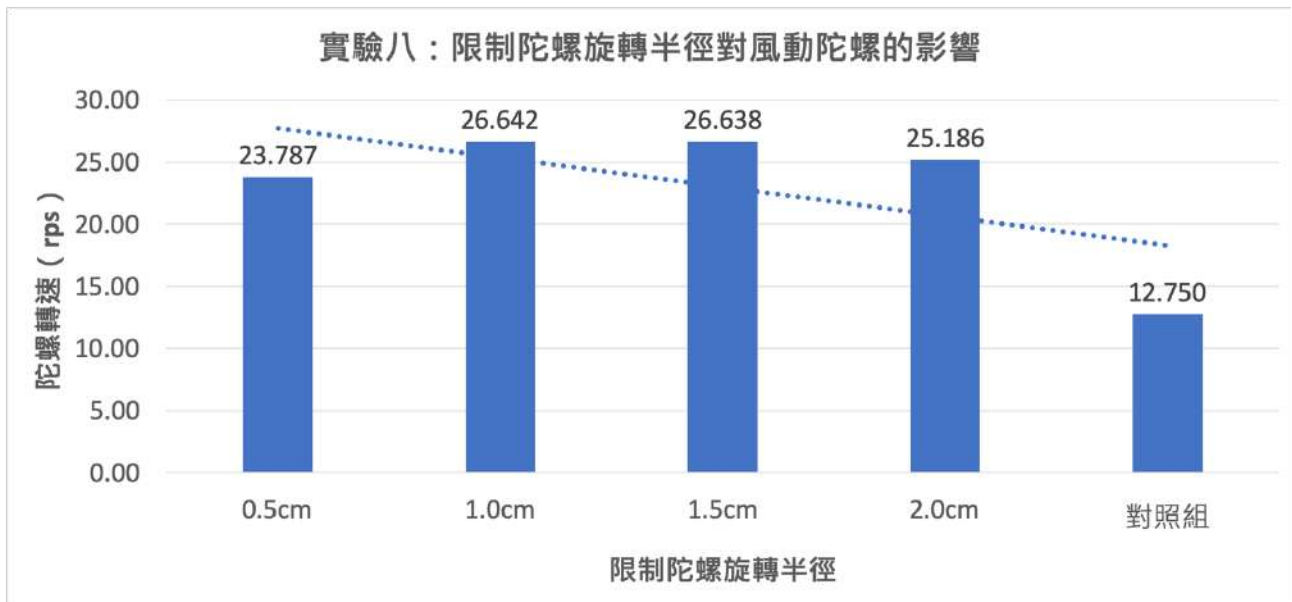
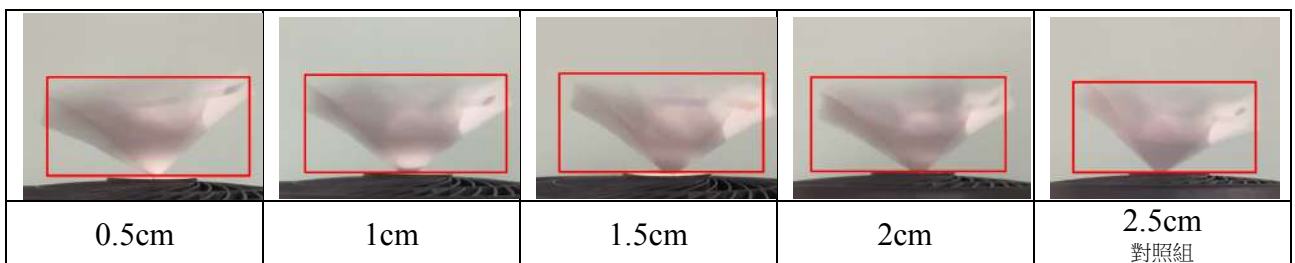


表 29 限制陀螺旋轉半徑轉動情形



(二) 結果討論：

1. 實驗八與表 29 的結果，我們可以得出**限制陀螺旋轉半徑，都能提升轉速。且旋轉半徑越小，陀螺轉動速度越快**，但旋轉半徑為 1cm~0.5cm 時，可能因轉速過快陀螺常常轉出循環扇，而 1.5 公分能集中旋轉，提升轉速又不至於讓陀螺轉出循環扇。
2. 從實驗一的結論中，我們推測出風位置跟扇葉之間的關係，或許會影響風動陀螺的轉速與穩定度，所以我們進一步探討：「如果增加循環扇的遮風板半徑，控制它的出風位置，是不是能了解循環扇的出風位置對風動陀螺有所影響？」

九. 實驗九：研究不同循環扇遮風板面積對風動陀螺的影響

(一) 實驗結果

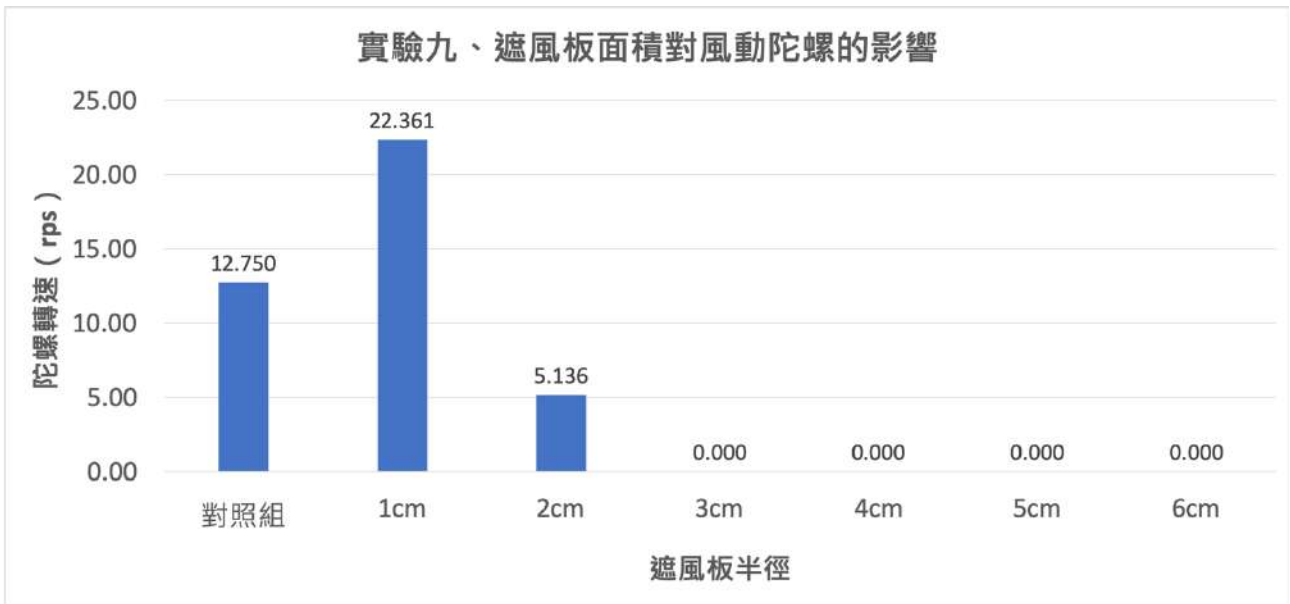


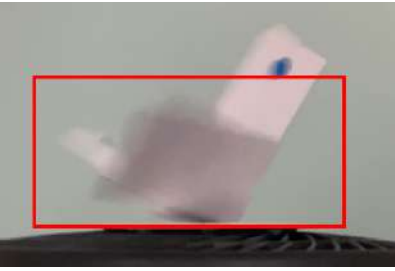


表 30 不同循環扇遮風板面積的陀螺轉動情形

		
0cm 對照組	1cm	2cm

(二) 結果討論：

1. 從實驗九結果可見，當遮風板半徑為 1cm 時，陀螺轉速變快，當半徑為 2cm 時，陀螺明顯轉速變慢，甚至轉動力量變差，尤其在遮風板半徑 3cm 時，根本就轉不動。
2. 雖然遮風板半徑 1cm 時轉速變快，但陀螺的穩定度變差（表 30），旋轉一段時間後會離開旋轉中心。可見風動陀螺跟循環扇出風位置有很大的關係，所以我們推測：「是不是陀螺扇葉跟循環扇出風位置，會有個最佳比例關係？」

十. 實驗十：研究循環扇大小跟風動陀螺的關係

(一) 實驗結果：

表 31 各扇葉長度的陀螺於各尺寸循環扇旋轉情形紀錄表

陀螺	扇葉長度	1cm	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm
循環扇	6吋	不易轉	○	○	斜轉	斜轉	X	X
	8吋	X	○	○	○	斜轉	斜轉	X
	10吋	X	斜轉	○	○	○	斜轉	斜轉

表 32 陀螺扇葉長度與各尺寸循環扇結果紀錄表

陀螺	扇葉長度	1cm	2cm	4cm	6cm	8cm	10cm	12cm
循環扇比	6吋	0.53	0.60	0.80	0.93	1.20	1.40	1.80
	8吋	0.4	0.45	0.6	0.7	0.9	1.05	1.35
	10吋	0.32	0.36	0.48	0.56	0.72	0.84	1.08

(二) 結果討論：

- 從表 31 的結果中，我們可以看見各扇葉長度尺寸在不同尺寸的循環扇上，會有不同的轉動結果，表 32 的實驗記錄統整分析，在固定風速 (4.2~4.3m/s) 的情形下，「陀螺的扇葉長度迴轉半徑」與「循環扇扇面半徑」的比，範圍在 **0.5~0.8** 都是最佳的旋轉範圍，其中 **0.6** 是平均最佳。可見風動陀螺若沒有在扇葉或配重部分增加設計，在陀螺跟循環扇的大小比例中，仍有幫助陀螺旋轉與穩定的最佳尺寸比例關係。

十一. 延伸探討：

綜合以上實驗結果，我們以 8 吋循環扇作為實驗裝置，選擇轉速快但不穩定「扇葉長度 2cm 與 6cm」的陀螺，進一步驗證「扇葉圓形、位置 1cm 傾角 15°、中心配重 1g、配重扇葉下方、陀螺旋轉半徑 1.5cm」，是否能對於陀螺穩定度造成影響，並且探討延伸應用的可能性。

(一) 實驗結果：

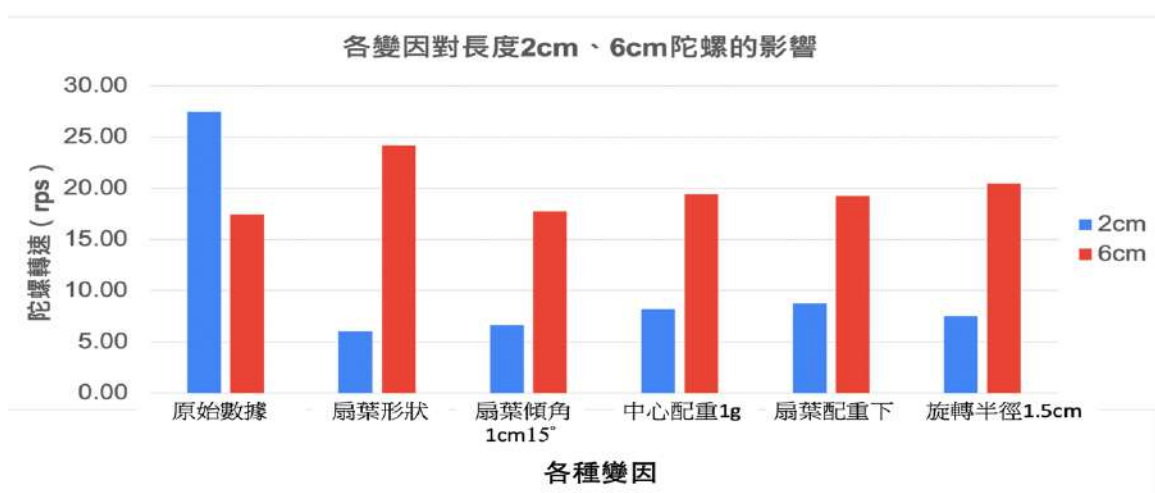
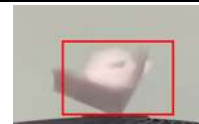



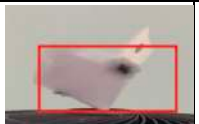
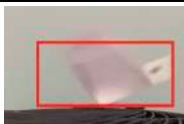








表 33 扇葉長度 2cm、6cm 陀螺轉動表

長度	對照組	扇葉		配重		循環扇 旋轉半徑 1.5cm
		圓形	傾角 1cm15°	中心 1g	扇葉下方	
2 cm						
6 cm						


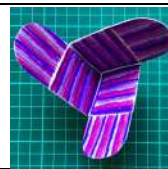

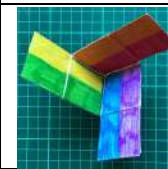
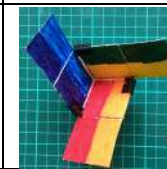
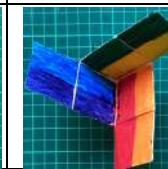


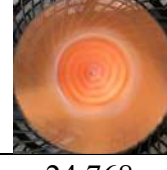
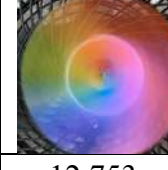
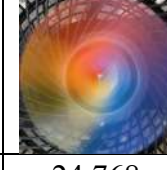
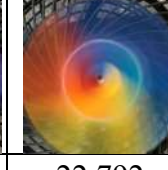
(二) 結果討論：

1. 扇葉 6cm 陀螺在「扇葉圓形、扇葉傾角位置 1cm 傾角 15°、扇葉配重」都能增加陀螺的轉速，而中心配重 1g、陀螺旋轉半徑 1.5cm 沒有明顯的改變，從表 33 中，若要增加穩定度，在陀螺「扇葉下方配重跟圓形扇葉」能夠有比較顯著的改變，從實驗六得知配重重量跟陀螺轉動力量，有顯著關係，我們認為此實驗結果為中心配重 1g，轉速更為增加但重量不足以抓住陀螺的重心。
2. 從實驗結果跟表 33 中，扇葉 2cm 長度的陀螺，除了中心配重，其他皆不易轉起，如果有順利轉動，相較對照組，轉動情形穩定，可見這些變因應能影響轉動穩定度。但陀螺要有一定的扇葉長度，才有足夠的受風面積，轉動後可再進一步利用其他變因，幫助風動陀螺的轉動穩定。

(三) 延伸應用－陀螺光譜藝術

轉動快速的風動陀螺，材料易取得又容易準備，彩繪風動陀螺，不僅可以享受風動陀螺的樂趣，過程也相當有趣。我們從色盤轉轉的實驗中得到靈感，嘗試在陀螺上彩繪不同粗細線條，並利用變因調整陀螺轉速，細線條速度較慢能看見完整的線條光譜，當陀螺轉速增加時，外圈顏色則會混合，達到非常驚豔的效果！

表 34 彩繪陀螺光譜轉動成果

	對照組	圓形扇葉	下方配重	對照組	下方配重	傾角 1cm15°
靜態照						
動態照						
轉速 rps	12.753	29.696	24.768	12.753	24.768	22.792

陸、結論

一、扇葉設計部分：

- (一) 扇葉長度確實會對陀螺的轉速造成影響，扇葉越長，轉動越容易偏斜。
- (二) 扇葉寬度越窄，轉動時就越傾斜不穩定，但稍微裁切一點扇葉寬度（3.6cm），能增加風動陀螺轉速與轉動穩定度。
- (三) 圓形扇葉轉速能提高兩倍以上且轉動穩定，可見圓形扇葉是最佳扇葉設計。
- (四) 扇葉傾角位置越窄（1cm）與傾角角度越小（15°）轉速快且穩定，因此當陀螺傾角位置為 1cm 傾角為 15 度時，陀螺轉速最快最穩定。
- (五) 配重都能增加陀螺的轉速，於「陀螺中心增加 1~2g，扇葉配重於下方」，都能幫助陀螺旋轉重心在中間，不僅轉速快且穩定，但陀螺中心配重為 20g 陀螺，反而轉不動，所以陀螺配重需考慮陀螺轉動力量可承重的範圍，才能提升轉速與穩定度。

二、循環扇部分：

- (一) 限制陀螺旋轉半徑，都能提升轉速。旋轉半徑越小，陀螺轉動速度越快，當旋轉半徑為 1cm~0.5cm 時，陀螺常常轉出循環扇，而 1.5 公分能集中旋轉，提升轉速又不至於讓陀螺轉出循環扇。
- (二) 遮風板面積，遮風半徑越寬，轉速越慢甚至轉不動，當遮風板半徑為 1cm 時，陀螺轉速變快，但陀螺的穩定度變差。
- (三) 在固定風速（4.2~4.3m/s）的情形下，「陀螺與循環扇的半徑比」，範圍在 0.5~0.8 都是最佳的旋轉範圍，其中 0.6 是平均最佳。

三、總結：

- (一) 在陀螺設計部分：
 1. 「扇葉圓形、扇葉傾角位置 1cm 傾角 15°、配重於陀螺中心與扇葉下方、陀螺旋轉半徑 1.5cm」都能明顯影響風動陀螺的轉速，但在配重要有適當的重量才能幫助風動陀螺的穩定，而在陀螺「扇葉下方配重跟圓形扇葉」對陀螺的穩定度有顯著的影響。
- (二) 若不針對陀螺進行設計，在製作風動陀螺時，考量「陀螺與循環扇的半徑比」，也能達到不錯轉動效果！
- (三) 本實驗使用免費的分析軟體與簡單的影像分析，是即時又連續性很高的測量技術，能提供精確且有效的數據，卻提供未來欲檢測轉速與穩定度的參考。

柒、參考文獻資料

- 一. 林正鴻、辜莉婷、楊昕（民 98）。風車轉轉轉。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會。民 98 年 7 月，取自國立台灣科學教育館：<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=307&sid=5321>
- 二. 吳聲聖、孫大智、溫文台（民 104）。給陀螺一點點的改變，把那旋轉變成永遠。中華民國第五十五屆中小學科學展覽會。民 104 年 7 月，取自國立台灣科學教育館：<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=&a=0&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=144&sid=12481>
- 三. 王嗣方、郭釋維（民 107）。風兒圓舞曲---風力環轉動之研究。中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。民 107 年 7 月，取自國立台灣科學教育館：
<https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?cat=53&a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=5&sid=15329>
- 四. 國小自然與生活科技（2018）。第一冊。第三單元看不見的空气。臺北：康軒出版社。
- 五. 國小自然與生活科技（2018）。第五冊。力與運動。臺北：康軒出版社。
- 六. 阿駿日常（2021, Dec 17）。無限旋轉紙陀螺!. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=NgP5W4bE7Oc>
- 七. 周鑑恆（2020）。風車與帆船的原理探討與科學教育。物理教育學刊,21,23-42。

【評語】 080107

風動陀螺一直是一個相當吸引人的現象與科學玩具。其中所涉及的原
理與機制卻是不簡單。該團隊透過建立一套可控的研究環境，觀察風
動陀螺的動態行為。利用手邊可得的日常器具，試圖系統性的控制環
境變因，以了解其轉動動力學，具有科學研究方法的精神。雖然受限
於團隊本身所具有的物理知識，無法全面掌握所觀察到的現象與原理
間的聯繫，但其研究精神與細膩的心思，十分令人激賞。

作品海報

摘要

針對風動陀螺的「扇葉設計、陀螺配重和循環扇」三個部分，探討影響陀螺轉速與穩定度的因素，並以Tracker軟體進行影像分析。研究結果揭示了風動陀螺設計要素和影響因素，對優化陀螺至關重要，實驗結果發現如下：

1. 扇葉長度影響轉速，對穩定度無明顯改變。
2. 扇葉寬度越窄轉動越不穩定。
3. 扇葉形狀以圓形表現最佳。
4. 傾角位置1cm、角度15度時陀螺表現最佳。
5. 於陀螺中心或扇葉下方配重能優化轉速與穩定度。
6. 陀螺旋轉半徑越小，轉速越快但越不穩定。
7. 循環扇遮風板半徑，會影響轉速和穩定度。
8. 陀螺與循環扇的半徑比最佳範圍在0.5~0.8。

壹、動機

看到「無限旋轉陀螺」影片，僅以風扇就能讓陀螺不停旋轉，引起我們破解它無限旋轉的興趣！

貳、目的

分析風動陀螺無限旋轉主因為「轉動速度和穩定度」與「對稱結構」，且啟動陀螺旋轉的動力源為「風力」。因此聚焦探討下列三個實驗變因對風動陀螺的影響：

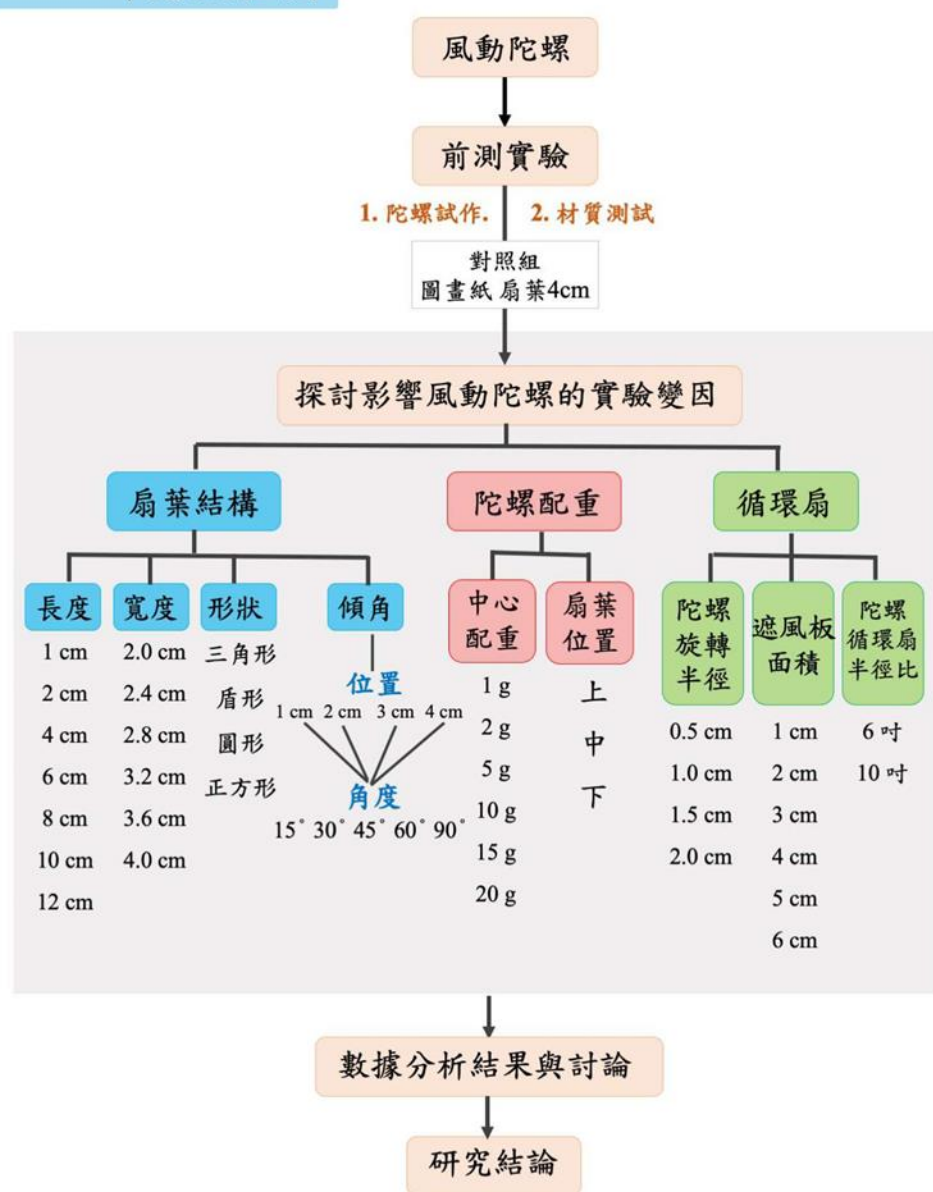
- 一、陀螺扇葉之結構變因：主要探討扇葉長度、扇葉寬度、扇葉形狀、扇葉傾角位置與角度等變因。
- 二、陀螺體配重方式：不同質量配重於陀螺中心、配重於陀螺扇葉上不同位置。
- 三、循環扇實驗參數：限制陀螺旋轉範圍半徑、循環扇中央遮風板面積、循環扇大小與陀螺的關係。

參、實驗器材

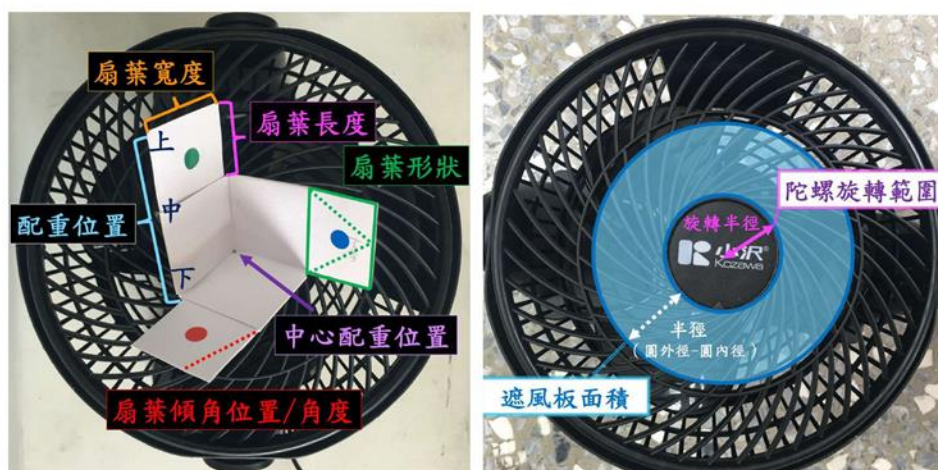
以「圖畫紙」作為製作陀螺實驗組材料、不同尺寸(6、8、10吋)循環扇、Sony相機 RX100IV、iPad 9th、測風計(GM816)、Tracker-6.1.3、Ms. Excel、SDI長尾夾 15 mm (重2g：扇葉配重實驗用)、環保黏土(陀螺中心配重實驗用)、量角器、相機腳架。

肆、研究方法

一、研究流程圖



二、風動陀螺設計過程

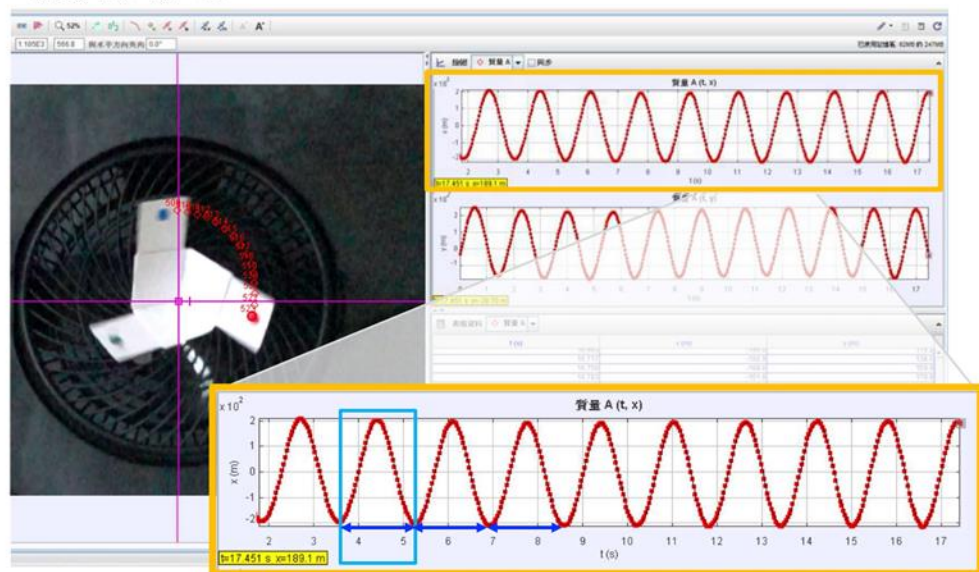


1. 扇葉長度：1、2、4、6、8、10、12 cm。
2. 扇葉寬度：2.0、2.4、2.8、3.2、3.6 cm
3. 扇葉形狀：三角形、盾形、圓形。
4. 傾角位置與角度：扇葉末端1~4 cm處對角線對折傾角角度為15°、30°、45°、60°、90°。
5. 陀螺中心配重：1、2、5、10、15、20 g。
6. 陀螺配重位置：在扇葉的上、中、下方。
7. 限制陀螺旋轉半徑：陀螺在不同半徑0.5~2 cm圓形內圈中心旋轉。
8. 遮風板面積：製作不同面積半徑(圓外徑-圓內徑)1~6 cm的遮風板。

三、分析方法

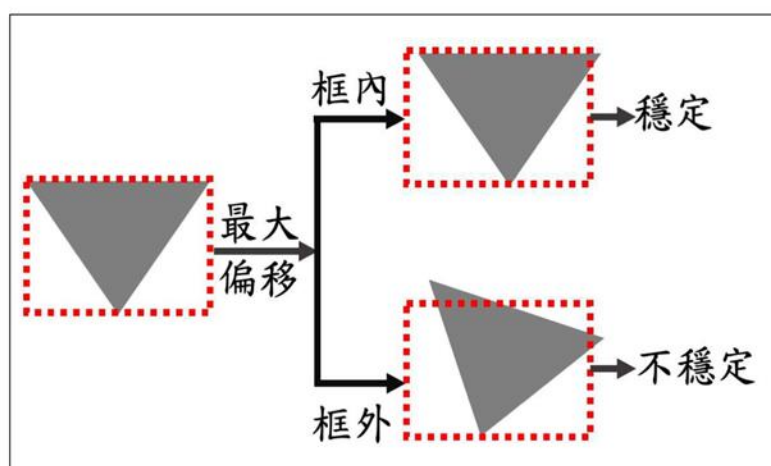
1. 以Tracker測轉動速度

分析陀螺旋轉影像，取一完整波形，並推算出陀螺實際轉速。



2. 對轉動穩定度的界定

以紅色虛線方框，框住水平旋轉的陀螺，記錄陀螺最大偏移情形並截圖。



四、實驗操作步驟

實驗前置

- 無風實驗環境與實驗裝置
- 根據實驗目的製作風動陀螺

實驗過程

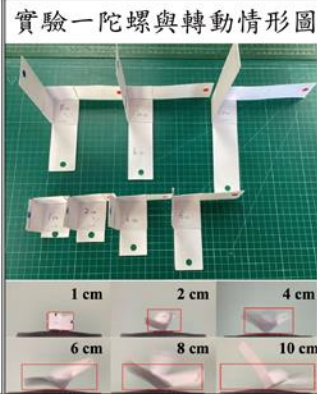
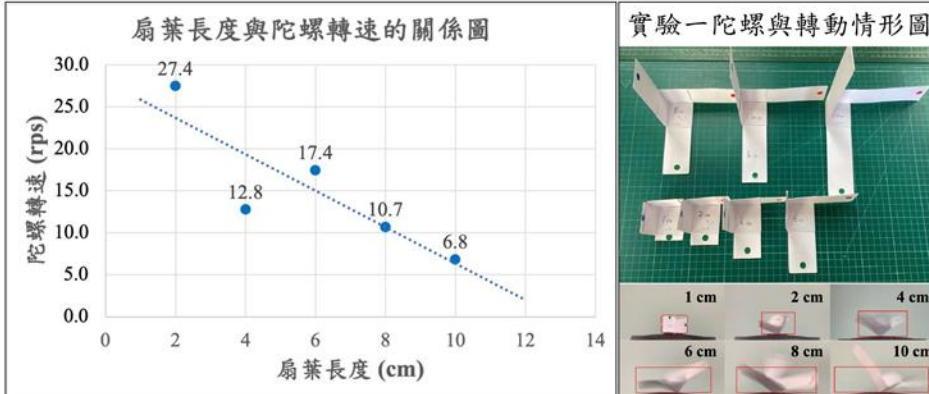
- 開啟循環扇中心放上風動陀螺
- 以相機進行慢速攝影
- 重複以上動作5次
- 以ipad進行側拍紀錄旋轉情形

實驗結果分析

- tracker軟體分析影像推算轉速
- 分析陀螺轉動穩定度

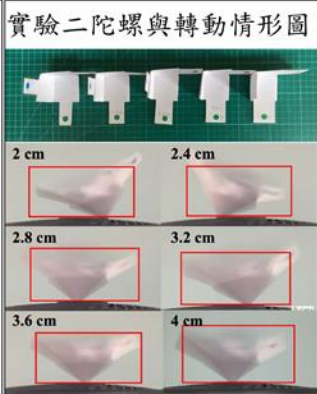
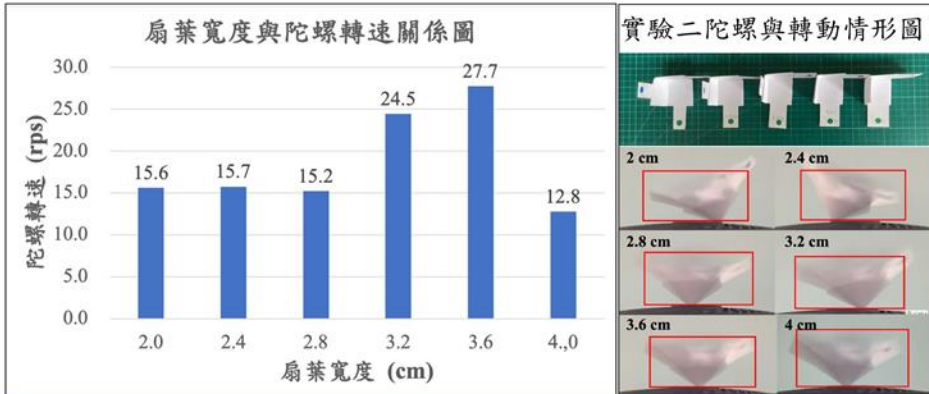
伍、研究結果與討論

實驗一：不同扇葉長度對風動陀螺的影響



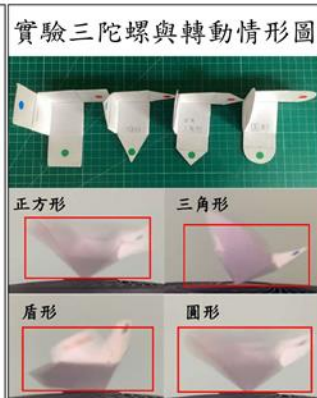
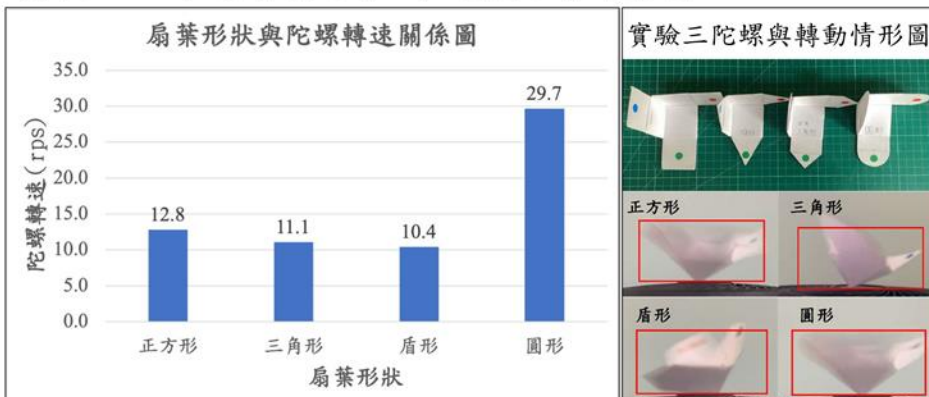
實驗一表明扇葉長度對陀螺轉速有明顯影響。扇葉越長則轉速變慢且呈偏斜旋轉。

實驗二：不同扇葉寬度對風動陀螺的影響



扇葉寬度越窄轉速越慢，但與對照組差異不大，可見扇葉寬度對陀螺穩定度影響更為顯著。

實驗三：不同扇葉形狀對風動陀螺的影響



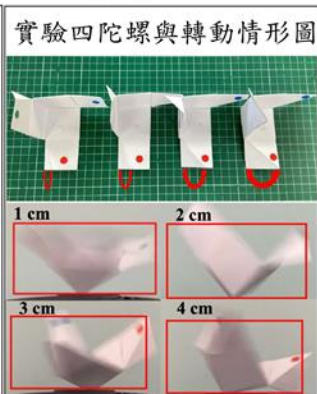
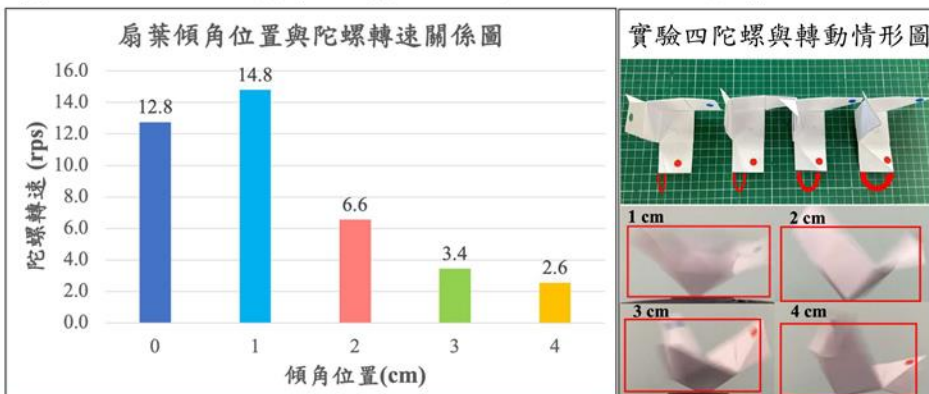
圓形扇葉不僅轉速快且轉動穩定，三角形扇葉和盾形扇葉和對照組相比，轉速變化不大，但轉動穩定度大大降低。

以上實驗結果小結：

扇葉長度 2.0 cm、寬度 3.6 cm 和圓形扇葉轉速最快。但 2.0 cm 長度轉動最不穩定，推測與受風面積(註1)有關，因此保持扇葉面積，增加傾角進一步討論。

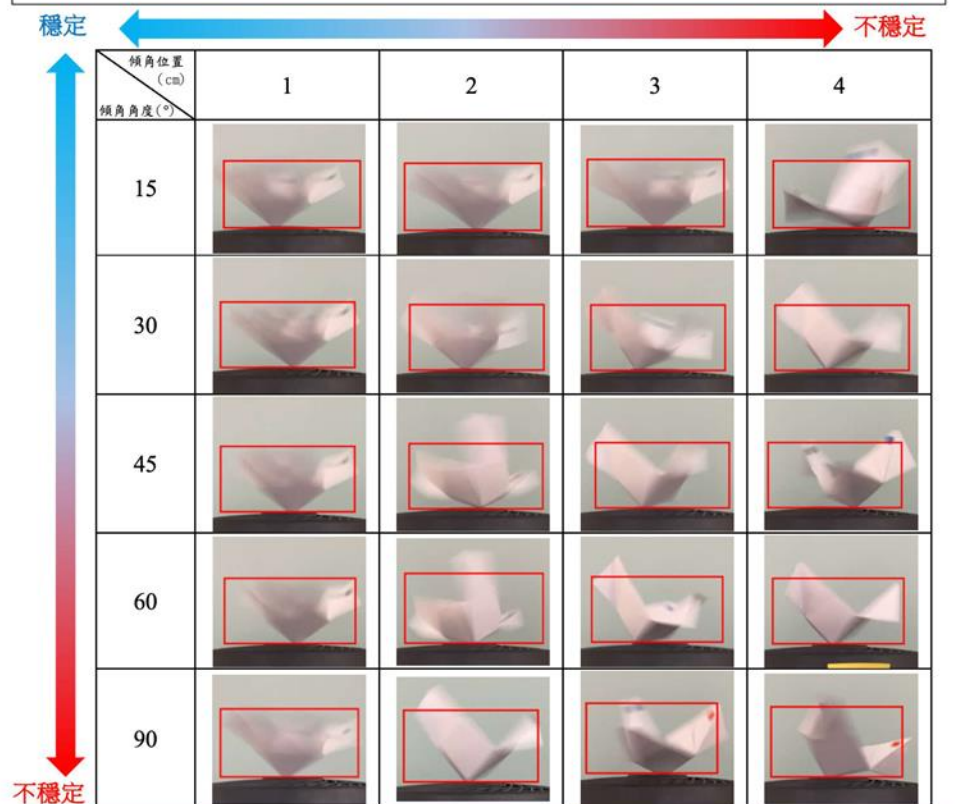
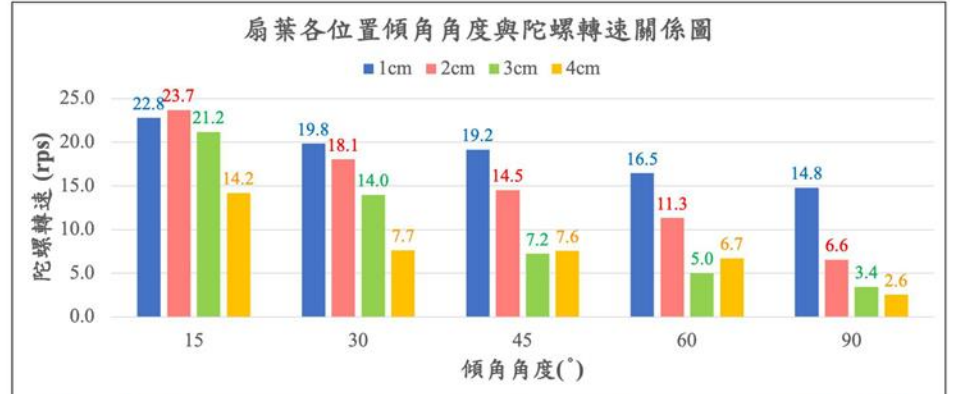
註1：扇葉面積計算結果如下：扇葉長度 2.0 cm (8.0 cm²)、3.6 cm 寬度 (14.4 cm²) 和圓形扇葉 (20.6 cm²)。

實驗四：不同扇葉傾角位置對風動陀螺的影響



傾角位置越寬，轉速越慢。傾角位置 1 cm 時，轉速變快且穩定。傾角位置越寬，旋轉時易接觸到扇面。故進一步探討各位置的傾斜角度。

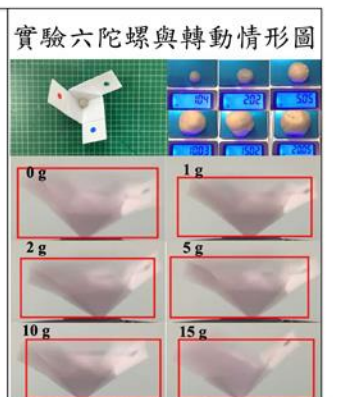
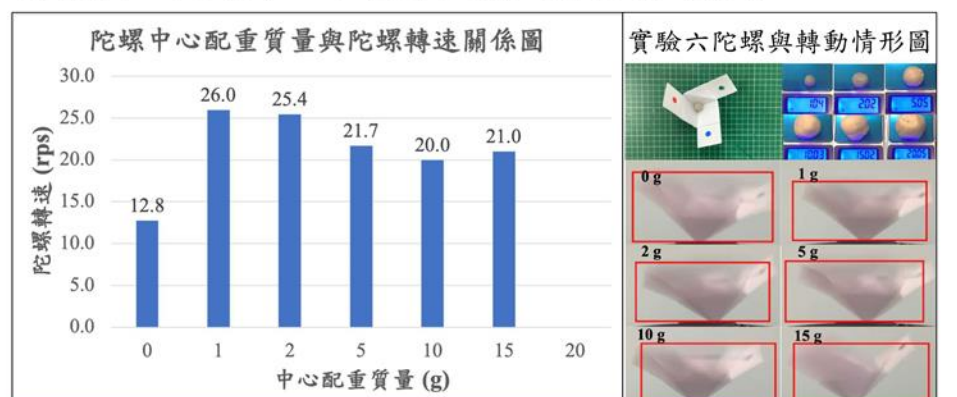
實驗五：各位置傾角角度對風動陀螺的影響



當傾角角度越大，轉速越慢。

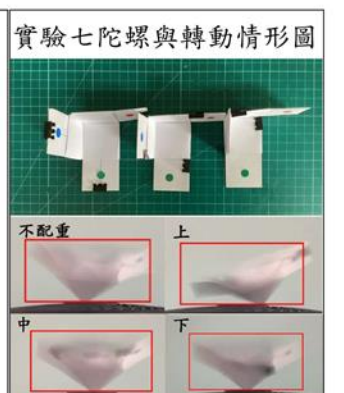
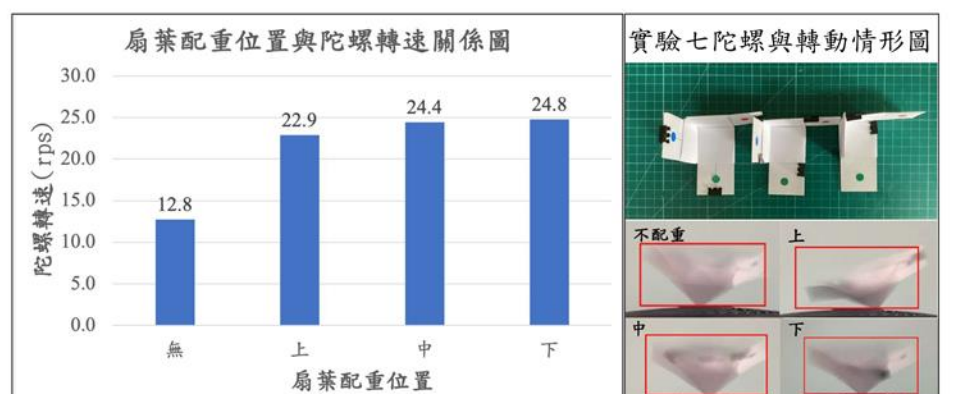
綜合實驗四與實驗五結果顯示，當傾角位置越寬、傾角角度越大時，陀螺轉動情形則越不穩定。陀螺傾角位置與傾角在轉速與穩定度，最佳表現是在傾角位置 1 cm、傾角 15°。

實驗六：陀螺中心配重質量對風動陀螺的影響。



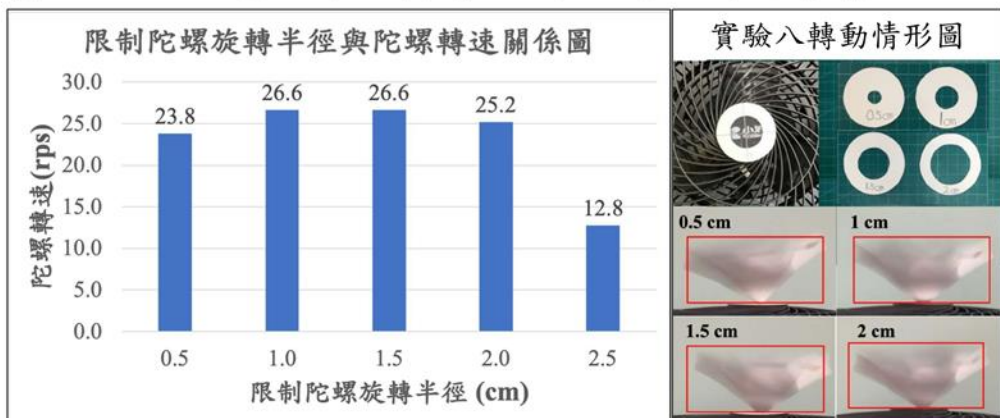
在陀螺中心增加質量明顯提升轉速。這是因為中心配重使重心穩定，陀螺旋轉時不易偏斜。1~2g 的質量有助於保持重心在中間，增加轉速且穩定。

實驗七：扇葉配重位置對風動陀螺的影響



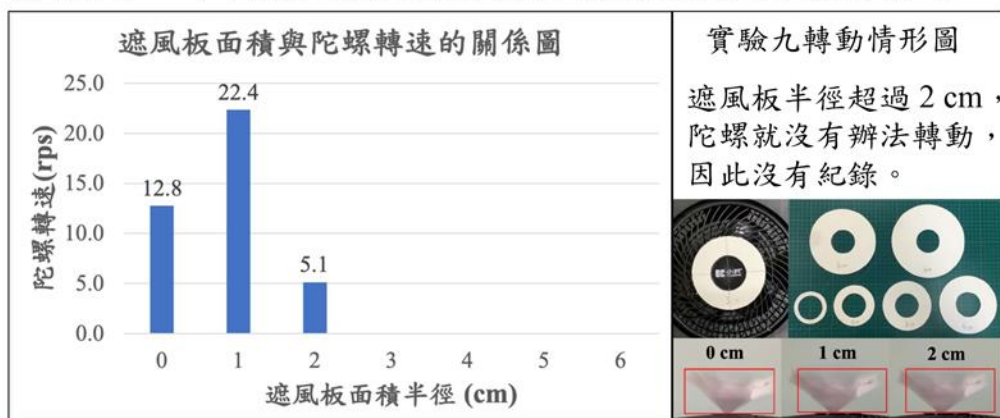
實驗七結果同實驗六。增加配重可提高陀螺轉速。增加配重在扇葉上方提升轉速但轉動不穩定。而配重於扇葉下方，能使重心集中，提高轉速與穩定度。

實驗八：限制陀螺旋轉半徑對風動陀螺的影響



結果顯示，陀螺旋轉半徑越小越能提升轉速。但轉速高，陀螺反而易轉出循環扇。

實驗九：不同循環扇遮風板面積對風動陀螺的影響



結果揭示陀螺轉動與循環扇密切相關。遮風板半徑影響轉速穩定度，半徑越大則陀螺轉動能力越弱。故加入研究循環扇和陀螺尺寸比例的關係。

實驗十：循環扇大小跟風動陀螺的關係

各扇葉長度 (cm)	1	2	4	6	8	10	12	
各尺寸循環扇 (寸)	半徑 (cm)	4	4.5	6	7	9	10.5	13.5
6	7.5	0.5	0.6	0.8	0.9	1.2	1.4	1.8
8	10	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.4
10	12.5	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.1

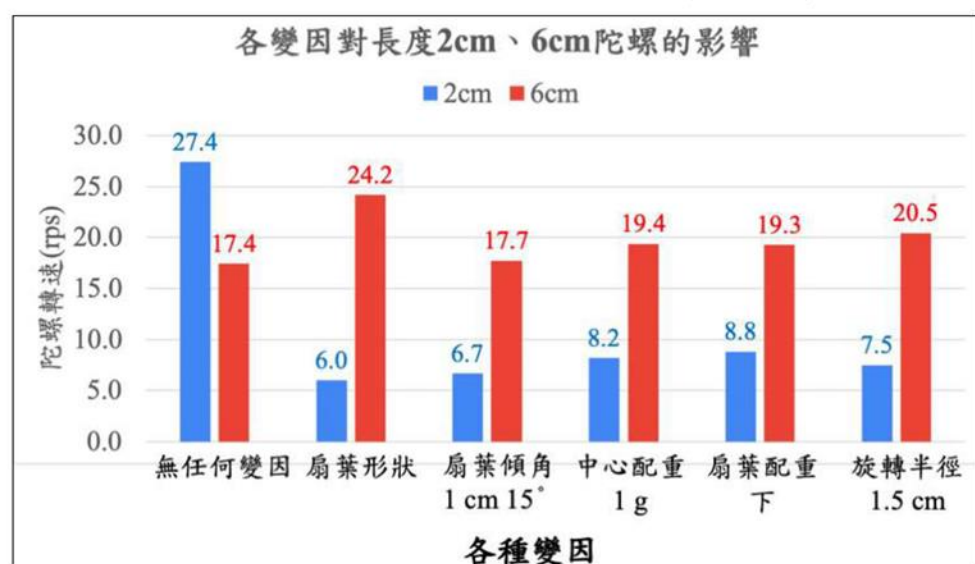
不會轉 偏斜轉動 順利轉動

陀螺循環扇半徑比(註2)，會影響風動陀螺旋轉結果。在固定風速下(4.2~4.3 m/s)，陀螺循環扇半徑比 0.5~0.8 為最佳旋轉範圍，0.6 為最佳比例平均值。

註2：陀螺循環扇半徑比指的是「不同扇葉長度陀螺旋轉時的所畫的圓半徑」：「循環扇的半徑」。

延伸討論

根據實驗結果，我們以扇葉長度2 cm和6 cm的陀螺在8吋循環扇上驗證變因，並延伸應用實驗結果。



各種變因 (cm)	對照組	扇葉		配重		循環扇 旋轉半徑 1.5cm
		圓形	傾角 1 cm 15°	中心 1 g	扇葉下方	
2						
6						

「以上所有變因」都能提升轉速，而「扇葉下方配重和圓形扇葉」增加穩定度。因此可利用這些變因增加陀螺轉速與穩定性。

延伸應用—陀螺光譜應用

各種變因	細條紋			粗條紋		
	對照組	圓形扇葉	下方配重	對照組	下方配重	傾角 1cm 15°
靜態照						
動態照						
轉速(rps)	12.8	29.7	24.8	12.7	24.8	22.8

彩繪風動陀螺易製作，轉速快且有趣。繪製不同線條，調整轉速觀察。轉動慢時光譜完整，高速時顏色混合，創造驚豔的視覺效果！

陸、研究結論

本研究針對三個實驗變因對風動陀螺的影響，深入探討結論如下：

一. 扇葉設計部分：

1. 扇葉長度會對陀螺轉速有影響，且扇葉越長越易偏斜。
2. 扇葉寬度對陀螺穩定度影響更為顯著。稍微裁切扇葉寬度(3.6 cm)可增加風動陀螺轉速和穩定度。
3. 扇葉形狀以圓形表現最佳，不僅能提高轉速並幫助陀螺轉動穩定。
4. 扇葉傾角位置 1 cm和傾角角度 15°，可實現更快且穩定的陀螺轉動情形。

二. 關於陀螺體配重：

1. 在陀螺體配重都能提升風動陀螺轉速。
2. 陀螺中心配重 1~2 g 質量或在扇葉下方增加配重，都有助於提升轉速和穩定度，但需考慮陀螺轉動時的承重範圍。

三. 循環扇部分：

1. 限制陀螺的旋轉半徑範圍可以提高轉速，半徑越小轉速越快但越不穩定。
2. 循環扇遮風板半徑 1 cm時，轉速最快，加大遮風面積，陀螺轉動力量銳減。
3. 陀螺與循環扇半徑比最佳範圍在 0.5~0.8，0.6 是最佳比例平均值。

四. 其他：

此實驗結果提供優化風動陀螺條件，並應用於視覺藝術，使用免費分析軟體和影像分析技術能提供即時且精確的測量，提供未來欲檢測轉速和穩定度的有效參考。

柒、參考文獻

1. 林正鴻、辜莉婷、楊昕 (民98)。風車轉轉轉。中華民國第四十九屆中小學科學展覽會。民98年7月，取自國立台灣科學教育館：<https://pse.is/559plj>
2. 吳聲聖、孫大智、溫文台 (民104)。給陀螺一點點的改變，把那旋轉變成永遠。中華民國第五十五屆中小學科學展覽會。民104年7月，取自國立台灣科學教育館 <https://is.gd/jMPG2Z>
3. 王嗣方、郭釋維 (民107)。風兒圓舞曲---風力環轉動之研究。中華民國第五十八屆中小學科學展覽會。民107年7月，取自國立台灣科學教育館：<https://is.gd/GdseJq>
4. 阿駿日常 (2021, Dec 17)。無限旋轉紙陀螺!. YouTube. <https://is.gd/tb3LU6>
5. 周鑑恆 (2020)。風車與帆船的原理探討與科學教育。物理教育學刊, 21, 23-42。