

風行獨樂

投稿類別：物理類

篇名：

風行獨樂

作者：

陳人豪。臺中市立西苑高級中學。高二八班

廖沅琪。臺中市立西苑高級中學。高二八班

蔡育寧。臺中市立西苑高級中學。高二八班

指導老師：

賴怡旬 老師

壹、前言

一、研究動機

去年我們參加第 27 屆遠哲科學創意競賽，其中一個比賽項目為「御風飛行」，利用紙杯製作出一款藉由吸管吹氣提供氣流推動紙面上的葉片，使其能在桌面上旋轉的風力陀螺。（遠哲科學教育基金會，2021）

相較於市面上的多樣化的陀螺，我們鮮少見到利用風力轉動的陀螺，因此我們以風力陀螺作為小論文的主題進行探討。先前我們設計各種實驗，惟因比賽時間急迫而無法製作出完整的實驗數據，比賽結束後開始將之前的實驗進行更完整的探究。希望遠哲科學趣味競賽能帶給我們的不僅僅是一個比賽，而是能創造更大的學習價值。

二、研究目的

競賽規定三人為一組需在 30 分鐘內分工，利用紙杯做出三個風力陀螺，以風力陀螺的旋轉秒數長短計分，三次旋轉秒數加總最長者勝。（遠哲科學教育基金會，2021）此篇小論文欲找出影響風力陀螺旋轉秒數的因素，為此我們上網查詢了相關資料，也從生活著手觀察具有葉扇的物體，並且開始探討各種變因對陀螺旋轉秒數長短的影響，分別針對「轉軸材質」、「葉片數量」、「葉片的分布」、「葉面大小」、「葉片距圓心之距離」、「附加物」，進行實驗。

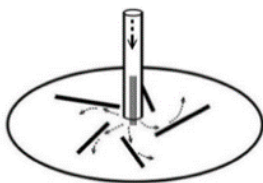
貳、文獻探討

一、相關原理介紹

(一) 陀螺效應：「重力對高速旋轉中的陀螺產生的對支撐點的力矩不會使其發生傾倒，而發生小角度的進動。」（kk，2014）

(二) 風力陀螺旋轉：以口對吸管吹氣，使其在陀螺面上產生氣流，推動風力陀螺上掀起的葉扇，促使陀螺開始轉動。（國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系，無日期）

圖一：風力環示意圖



(資料來源：國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系，無日期)

二、送風裝置

競賽時我們是以嘴對吸管吹氣使陀螺旋轉，但發現陀螺上容易累積口水，使陀螺濕掉而無法進行多次測量，且嘴吹無法控制吹出的風量，容易造成極大的誤差。為了量化實驗數據，我們參考之前別人的做法，使用可固定風速且具有冷風功能的吹風機來進行此實驗。（王嗣方、郭釋維，2018）

三、影響陀螺轉動的因素

觀察生活中的陀螺，察覺它們在旋轉的時候都不是在固定一個點上進行轉動的，可能的原因為「**陀螺並非垂直立於地面之上，而是對地面法線有一定的偏離，向地面有一些傾斜。**」（機械 cax360，2017）但也有相關的文獻指出重力可以對陀螺的轉軸產生一個力矩，讓陀螺不易傾斜而發生小角度的進動。（kk，2014）對此，我們好奇究竟是哪一方的敘述更接近事實而進行探討。

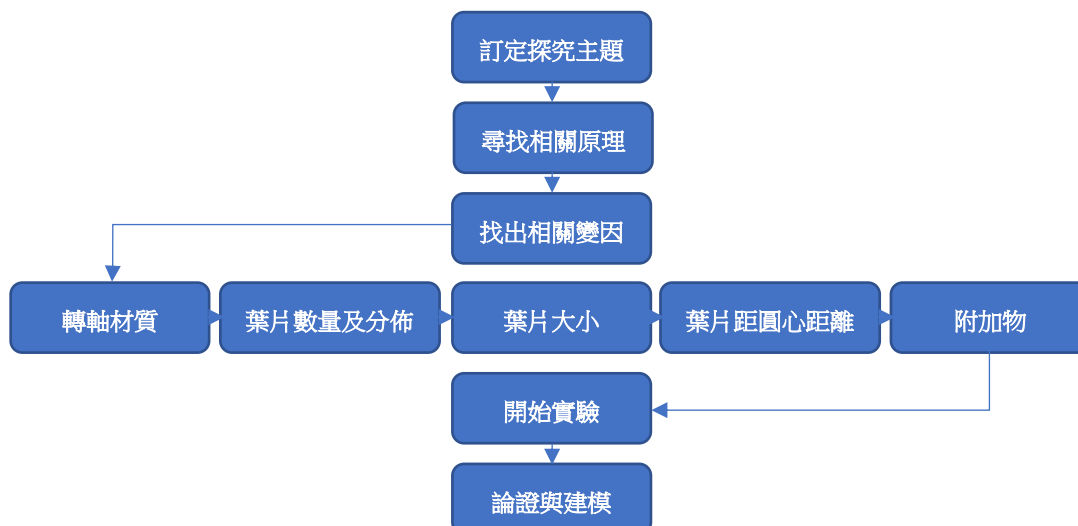
此外，葉片數量也是影響陀螺旋轉秒數的因素之一。一提到風力發電的風車多半會想葉扇越多會越好，但學者們的研究結果卻顯示葉片數量越多容易互相干擾而降低效能，為了高效能發電，生活中的風力發電皆以三片葉扇為主，而汲水或磨麵粉的風車，因需要較大的力矩去推動，則是選用多片葉扇。（牛山泉，2020）欲找出影響風力陀螺旋轉時間的最佳葉片片數，我們分別對不同的葉片數量進行實驗。

最後，在實作過程中發現轉軸材質對陀螺旋轉會造成影響，相關文獻也指出：陀螺轉軸與桌面接觸的面積越小越平坦，其旋轉時間越久。（蔡沂穎，2015）因此我們找尋各種轉軸材質，從底部尖的到圓的，以找出轉軸材質和陀螺旋轉秒數之間的關聯性。

參、研究方法

一、研究流程

圖二：實驗流程圖（研究者自繪）



研究流程如圖二所示，我們先尋找原理，找出可能對陀螺旋轉時間造成影響的變因，並提出假設，分別針對「轉軸材質」、「葉片數量」、「葉面大小」、「葉片距圓心距離」、「葉片的分布」、「附加物」進行實驗，並將得到的數據整理成圖表進行分析與論證。









二、實驗設計

- (一) 實驗一：探討轉軸材質的不同對旋轉時間的影響
- (二) 實驗二：探討葉片數量的不同及葉片分佈對旋轉時間的影響
- (三) 實驗三：探討葉面大小的不同對旋轉時間的影響
- (四) 實驗四：探討葉片距圓心距離的不同對旋轉時間的影響
- (五) 實驗五：探討附加物對旋轉時間的影響

三、實驗準備與進行

- (一) 研究設備及器材

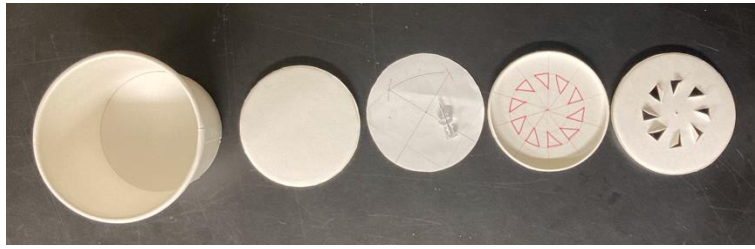
圖三：實驗器材圖（資料來源：研究者拍攝）

			
風速計	手機—計時器	漏斗	三角架
			
轉軸—由左而右 圖釘、釘子 珠針、雙腳釘、牙籤	紙杯（200ml）	吹風機（冷風） 弱風風速 9 km/h 中風風速 12 km/h	文具

- (二) 實驗器材加工

1. 先將紙碗底部剪下，另拿一張白紙在其上用尺規作圖找出圓心在碗底戳洞，劃分角度測量準確長度並畫上記號沿記號處割下，再將割好的葉扇折起呈 90 度。
2. 將吹風機前端加上紙碗及漏斗，以固定漏斗傾斜角度及控制距離陀螺高度。

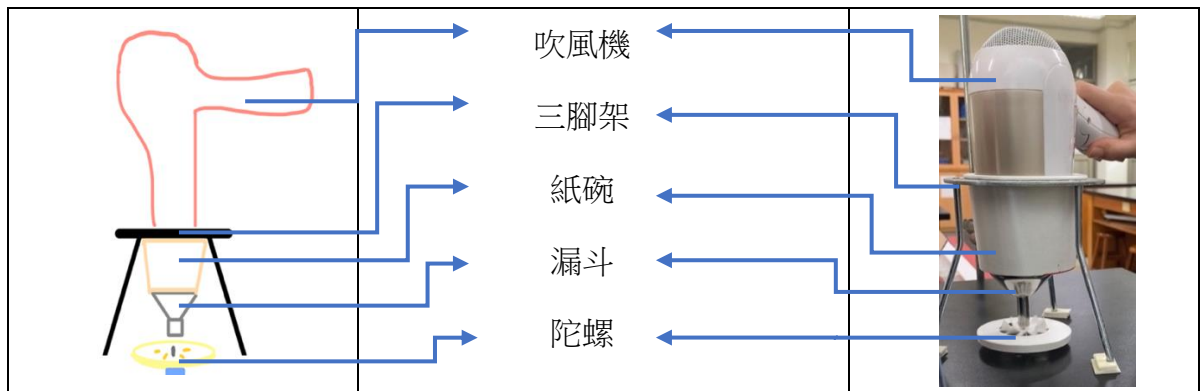
圖四：實驗器材加工流程示意圖（研究者拍攝）



（三） 實驗方法

將陀螺放置於實驗桌上，三腳架將陀螺罩住，以固定風速的吹風機吹一定的秒數後，將三角架及吹風機拿起，測量其轉動秒數，實驗 15 次後取平均。

圖五：實驗器材（研究者自繪、攝影）



肆、研究分析與結果

一、實驗一：探討轉軸材質的不同對旋轉時間的影響

（一） 實驗設計

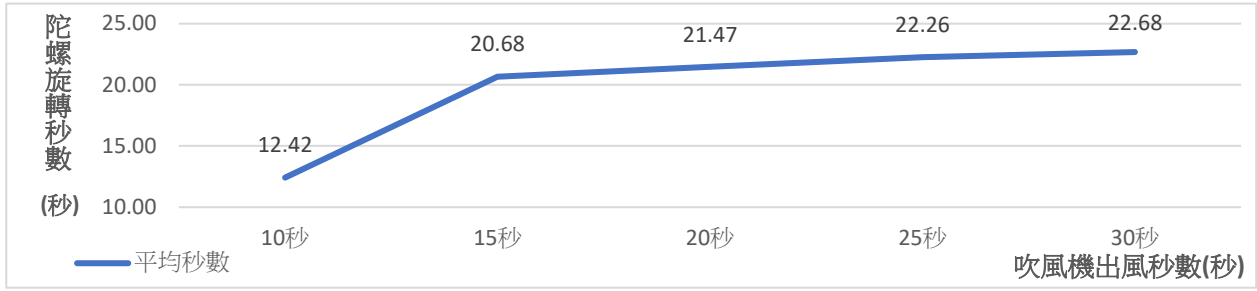
遠哲比賽期間當時是以人使用吸管吹氣的方式對轉軸材質進行探討，為了增加實驗的準確性，我們改用吹風機控制我們的風量及風速。實驗前我們先製作一個簡單的陀螺，改變吹風機的出風秒數，將每個實驗進行 15 次再取其平均值，找出風量及風速能達到穩定最佳秒數後，再接續轉軸材質的實驗。

（二） 實驗結果

表一：出風秒數的長短不同對陀螺旋轉的影響

出風秒數	10 秒	15 秒	20 秒	25 秒	30 秒
風力陀螺旋轉平均秒數(秒)	12.42	20.68	21.47	22.26	22.68
標準差	0.640	0.605	0.847	0.718	0.641

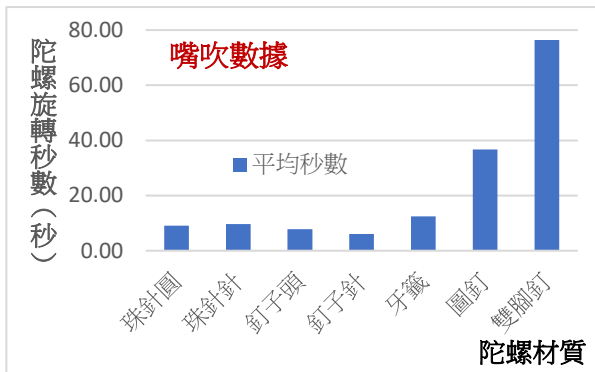
圖六：出風秒數對陀螺旋轉的影響



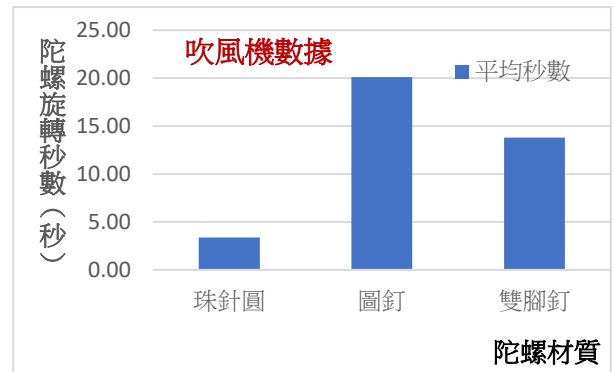
表二：轉軸材質對陀螺旋轉秒數的影響

轉軸材質 (人吹)	珠針圓	珠針針	釘子頭	釘子針	牙籤	圖釘	雙腳釘
平均秒數(秒)	9.05	9.67	7.77	6.05	12.50	36.69	76.40
轉軸材質 (吹風機)	珠針圓	珠針針	釘子頭	釘子針	牙籤	圖釘	雙腳釘
平均秒數(秒)	3.39					20.09	13.81

圖七：不同轉軸材質下的陀螺旋轉秒數



圖八：不同轉軸材質下的陀螺旋轉秒數



在圖六中我們可以發現陀螺在吹風機吹 15 秒後開始穩定旋轉，且 15 秒的標準差最小亦省時，故之後實驗我們皆採用出風秒數 15 秒當作接下來實驗的控制變因。

底部太圓，容易造成大幅度晃動；底部太尖，不容易轉動。從圖七嘴吹數據及後來的吹風機數據圖八中可發現，圖釘與雙腳釘的旋轉秒數優於其他的材質，兩者的底部雖然較為平坦，但帶有微微的弧度。推測是圓弧使摩擦力降低，而平坦使陀螺容易旋轉。

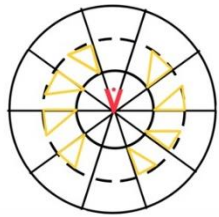
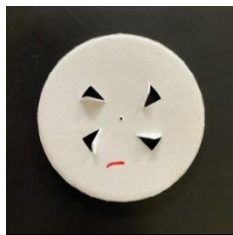


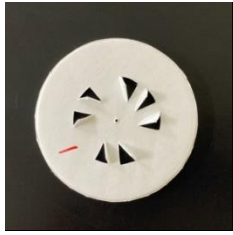
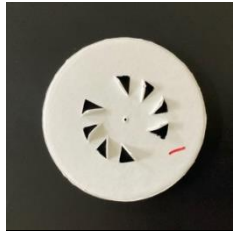
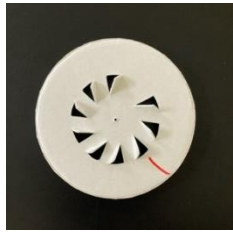
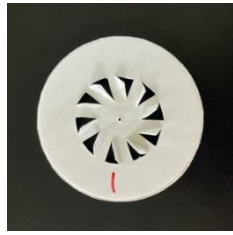
在用吹風機做轉軸材質的數據時，我們發現轉軸底部偏尖的材質無法轉動起來，原因和文獻探討中提及的一樣，陀螺在旋轉時並不是正立著旋轉的，而是會向桌面些微傾斜（機械 *cax360*，2017），這導致偏尖的轉軸材質在陀螺轉動不穩定時，因傾斜使轉盤碰到桌面而難以旋轉起來，但這也不代表此理論與文獻探討中提到的另一個互相衝突，相反的我們認為兩個描述都是對的，只是重力可以對陀螺的轉軸產生一個力矩，讓陀螺不易傾斜而發生小角度的進動（kk，2014）的這個敘述成立在陀螺高速旋轉時。

二、實驗二：探討葉片數量的不同及葉片分佈對旋轉時間的影響

(一) 葉片數量對旋轉時間的影響

1. 實驗設計：為了方便製作，我們將圓形分成十等分，再改變不同葉片數量，最後將每個實驗進行 15 次再取其平均值。

圖九：葉片片數分佈圖

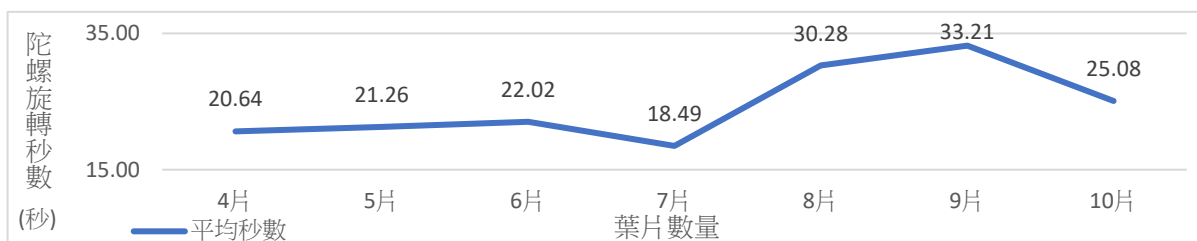
固定中心角皆為 36°，以確保等分一致	四片	五片	六片
			
七片	八片	九片	十片
			

2. 實驗結果

表三：葉面數量的不同對旋轉時間的影響

葉片數量	4片	5片	6片	7片	8片	9片	10片
平均秒數 (秒)	20.64	21.26	22.02	18.49	30.28	33.21	25.08
標準差	1.956	1.932	2.053	1.827	1.437	1.869	2.622

圖十：葉面大小與旋轉時間的關係



從圖十中發現在 4-9 片中，葉片數量多寡與平均旋轉時間呈正相關，但 7 片因較不平衡導至旋轉時間下降。推測葉片有一定的極限，在十片時因葉片數太多，造成風阻太大，讓轉動時間下降。此處結合文獻所，可推測風力陀螺如同汲水的風車，皆是需要較大的力矩去推動整個裝置，因此適合多片葉扇。（牛山泉，2020）

(二) 葉片數量對旋轉時間的影響

1. 實驗設計

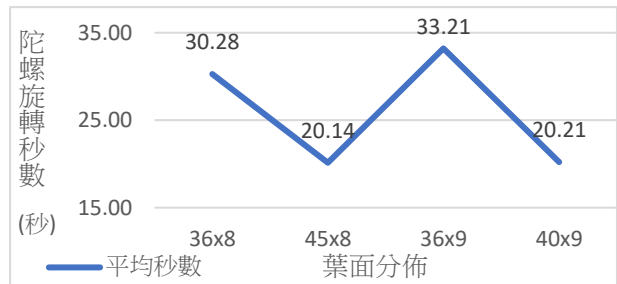
從圖九中可以發現並非每一個陀螺的扇葉都是對稱分布，為此我們從前一個實驗數據中抓出八片和九片兩款旋轉時間較長的陀螺，將圓平均分成八和九等分，讓45度8片和40度9片完整分佈在陀螺上，讓葉扇之間的空隙都一樣。

2. 實驗結果

表四：葉片分布對旋轉時間的影響

葉片的分布	平均秒數	標準差
36度8片	30.28	1.437
45度8片	20.14	1.214
36度9片	33.21	1.869
40度9片	20.21	1.979

圖十一：葉片分布與旋轉時間的關係



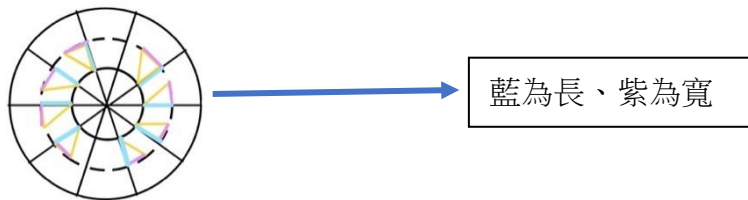
從圖十一中觀察到較不平衡的36度8片及36度9片反而比其他兩個較平衡的好。對比平衡的另外兩個，較不平衡的陀螺在停止前的轉動因會有小幅度的傾斜晃動，搭配上圖釘側邊微弧度的部分能使旋轉時間秒數增加。之後進行的實驗皆選用36度8片，因標準差較小且容易製作。

三、實驗三：探討葉面大小的不同對旋轉時間的影響

(一) 實驗設計：

本實驗我們固定了先前的轉軸材質（圖釘）及葉片分佈（36度八片），只改變了圖十二中藍色與紫色的長度與黃色線條構成扇葉，藉以改變面積和比例，欲得之其與旋轉秒數的關係。

圖十二：扇葉長寬示意圖

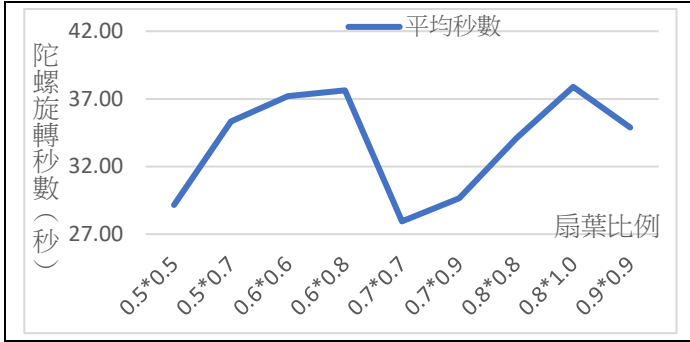


(二) 實驗結果

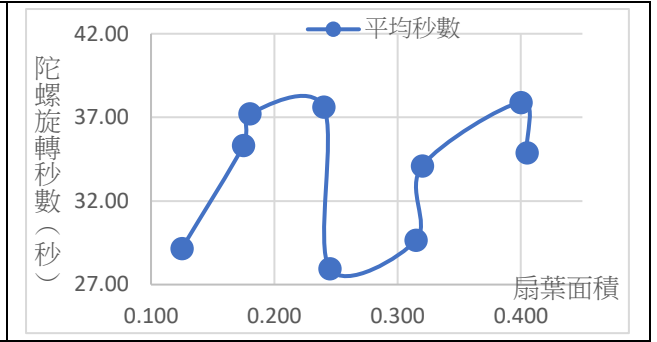
表五：扇葉比例、面積對旋轉秒數的影響

葉扇面積 (cm ²)	0.125	0.175	0.180	0.240	0.245	0.315	0.320	0.400	0.405	
葉面比例	長(cm)	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9
	寬(cm)	0.5	0.7	0.6	0.8	0.7	0.9	0.8	1.0	0.9
平均秒數(秒)	29.16	35.33	37.21	37.62	27.94	29.65	34.09	37.89	34.89	

圖十三：扇葉比例與旋轉秒數的關係



圖十四：扇葉面積與旋轉秒數的關係

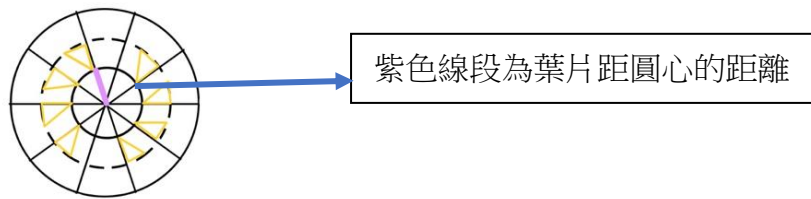


從圖十四可以發現陀螺的旋轉秒數與面積沒有一定的相關性，反而是跟葉扇比例較為相關。如圖十三所示，非等腰三角形的旋轉秒數相較於等腰三角形好，其中又以葉扇長寬比例 0.8cm*1.0cm 為最好。

四、 實驗四：探討葉片距圓心距離的不同對旋轉時間的影響

(一) 實驗設計：改變葉片距圓心的距離，將每個實驗進行 15 次再取其平均值。

圖十五：葉片距圓心距離示意圖



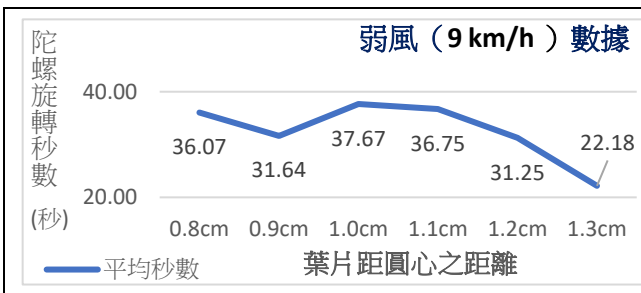
紫色線段為葉片距圓心的距離

(二) 實驗結果

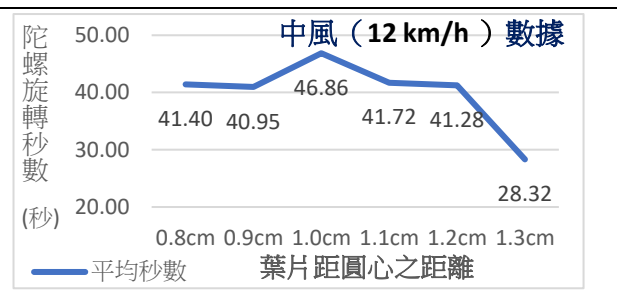
表六：葉片距圓心距離（弱風風速 9 km/h、中風風速 12 km/h）對旋轉秒數的影響

葉片距圓心距離(弱風)	0.8cm	0.9cm	1.0cm	1.1cm	1.2cm	1.3cm
平均秒數(秒)	36.07	31.64	37.67	36.75	31.25	22.18
葉片距圓心距離(中風)	0.8cm	0.9cm	1.0cm	1.1cm	1.2cm	1.3cm
平均秒數(秒)	41.40	40.95	46.86	41.72	41.28	28.32

圖十六：葉片距圓心距離與旋轉秒數的關係



圖十七：葉片距圓心距離與旋轉秒數的關係



從圖十六觀察到弱風（風速 9 km/h）的數據極值發生在 1 公分時，超過 1 公分後秒數開始下降。又因我們覺得葉片與圓心的距離與力矩有些關係，我們做了下一個實驗，好奇在較高風速下是否能讓風傳遞的更遠，讓葉片距圓心距離的數據極值延伸。

圖十七中觀察到中風（風速 12 km/h）數據因風速增強，使得旋轉秒數增加，但中風的數據極值並沒有因此往後，反而更明顯地發生在 1cm 處，與我們的推測不符。原因可能是因為吹風機提供的風在靠近陀螺邊緣時與外圍的無風處接觸，產生亂流，影響轉動秒數，而 1 公分便是我們觀察到最適合的距離。

五、實驗五：探討附加物對旋轉時間的影響

（一）實驗設計

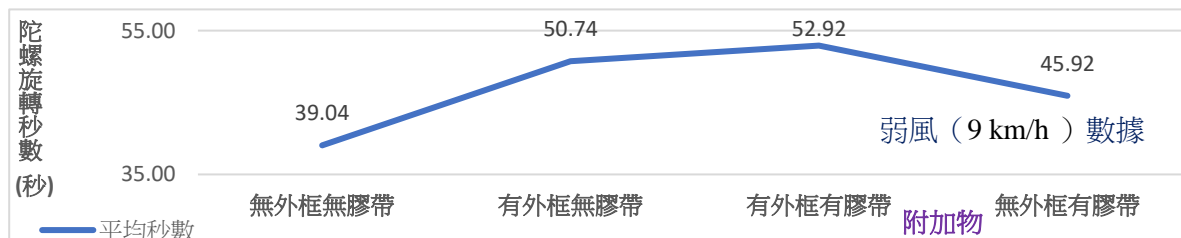
在比賽期間突發起想的廢料利用，將陀螺邊框加重，或額外加上膠帶，是否會影響旋轉秒數，以下分別就風力陀螺是否加邊框與扇葉出風口貼上膠帶與研究其與旋轉秒數的關係，每個實驗進行 15 次再取其平均值。

（二）實驗結果

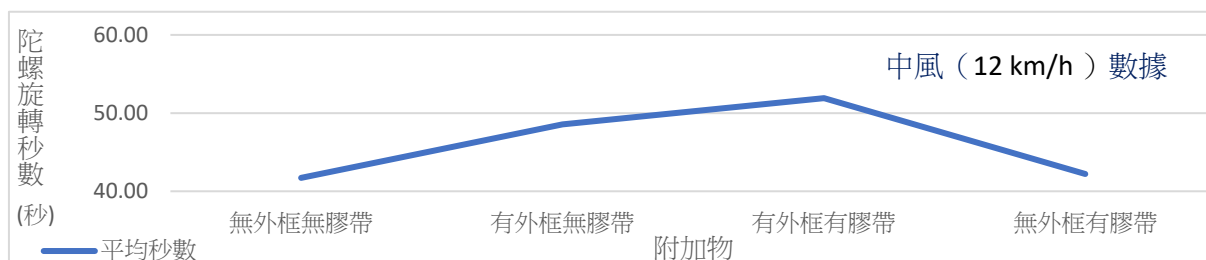
表七：附加物（弱風風速 9 km/h、中風風速 12 km/h）對旋轉秒數的影響

附加物（風速 9 km/h）	無外框無膠帶	無外框有膠帶	有外框無膠帶	有外框有膠帶
平均秒數(秒)	39.04	45.92	50.74	52.92
附加物（風速 12km/h）	無外框無膠帶	無外框有膠帶	有外框無膠帶	有外框有膠帶
平均秒數(秒)	41.72	42.19	48.54	51.91

圖十七：附加物與旋轉秒數的關係



圖十八：附加物與旋轉秒數的關係



相較於中風（風速 12 km/h），在弱風（風速 9 km/h）時有無膠帶的差異較為明顯（如圖十七所示）。推測是膠帶填補了風往扇葉下空隙散逸的機會，而到了中風（風速 12 km/h）時（如圖十八），風速較強，風本就不易往空隙外流，因此增加幅度不大。

陀螺的轉盤背面加上從紙碗上剪下的外框，「是為了增加質量，使陀螺的轉動慣量變大，以增加轉動的時間，使陀螺可以轉動更多圈。」（國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系，2010）我們也確實觀察到在陀螺外緣加重後陀螺轉得更平穩。根據文獻我們推斷是重力讓陀螺穩定，傾斜程度減少而增加轉動時間。（kk，2014）

伍、研究結論與建議

一、結論：總結上述實驗結果，得出：

- （一）圓弧使摩擦力降低，而平坦使陀螺不易傾斜且較好旋轉。
- （二）風力陀螺需要較大的力矩使其轉動，因此葉片數量的多寡與旋轉秒數呈正相關，此外陀螺轉動需些微傾斜，以增加陀螺旋轉秒數。
- （三）葉扇距圓心 1 公分時，可使陀螺旋轉最久。
- （四）膠帶有效阻擋風往扇葉下空隙流出的機會，增加陀螺轉動的時間。
- （五）陀螺增加質量，能使其轉動慣量變大而旋轉秒數增加。

二、實驗建議與發現

- （一）查詢文獻過程中發現有人把附加物這個實驗做的更加完善，並且他們將轉軸高度納入了實驗，之後我們也會嘗試將外框換成黏土或迴紋針改變陀螺重量和轉軸高度，進一步探討這些變因與陀螺旋轉時間之間的關聯性。
- （二）原先我們的實驗是探討葉片面積，但結果顯示與葉片葉扇比例較為相關，但因時間的關係無法完整做出，未來我們會將葉扇比例納入實驗進行完整的探討。

陸、參考文獻

- 一、國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系（無日期）。風力環。2022 年 3 月 10 號，取自 <https://reurl.cc/MboGDm>
- 二、遠哲科學教育基金會（2021）。第 27 屆遠哲科學趣味競賽-總錦標賽錦標賽實施手冊。 <https://reurl.cc/9O9a18>
- 三、kk（2014）。角動量守恆定律陀螺效應。<https://reurl.cc/xO8A7E>
- 四、國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系（無日期）。風力環。2022 年 3 月 10 號，取自 <https://reurl.cc/MboGDm>
- 五、國立台中教育大學 NTCU 科學教育與應用學系（無日期）。迴轉陀螺。 2022 年 3 月 10 號，取自 <https://reurl.cc/k7WQkG>
- 六、王嗣方、郭釋維（2018）。風兒圓舞曲---風力環轉動之研究。<https://reurl.cc/Ddp88Q>
- 七、蔡沂頤（2015）。旋轉吧，孩子們！。<https://reurl.cc/EpvaWa>
- 八、牛山泉（2020）。一張圖讀懂風力發電。世茂出版有限公司
- 九、機械 cax360（2017）。小小的陀螺為什麼能長時間轉動不倒呢？<https://reurl.cc/X4bNd3>