

彰化縣 102 學年度國民中小學學生獨立研究作品徵選
作品說明書（封面）

作品編號：

組別：
 國小高年級組
 (四、五、六年級)
 國中組

數學類
 自然與生活科技類
 人文社會類

作品名稱：翻轉陀螺創新模型的研究

◎封面切勿出現校名、作者、校長及指導者姓名，違者不予評審並退件。

第一階段 研究訓練階段（由教師撰寫）

獨立研究一直視為能夠激發學生潛能的一項活動，並且訓練孩子觀察日常生活中一些有趣的現象，從中找尋有興趣的題材來研究，本校一直以來重視學生個人的特色發展與獨立研究的精神及能力的發展，所以本校訓練之規劃大致如下：

一、開設菁英班課程：

本校利用第八節的時間開設菁英班的課程，聘請學校有經驗的老師，組成各科的教學團隊，共同規劃相關訓練課程，並自行製作適當的教材，提供學生更深更廣的學習內容，以激發學生對某個專題研究的動機，充實學生研究的內容。

二、週三社團課：

本校今年為第二年開設社團課，其中有三至四個社團專門研究人文社會方面的題材，例如電影文學社除了電影欣賞，還指導學生如何評析一部電影；閱讀書蟲社則是以奇幻文學、武俠小說、繪本等較特別的文學著作為主，指導學生如何賞析，本校希望藉此能夠讓學生接觸更多元化的學習內容，從中進而拓展學生獨立研究的視野。

三、開辦獨立研究說明會、複審說明會、模擬複審訓練：

本校教務處這兩年分別為學生辦理三次的獨立研究說明會，讓學生能了解獨立研究的研究過程及方法，包含如何找研究題目、找相關指導老師、研究相關書籍資料、各科研究方法的介紹、內容撰寫的架構等，並且架設本校獨立研究網站，提供指導老師及學生交流的專區。

另外這兩年教務處針對進入獨立研究複審的同學辦理複審說明會，指導學生如何製作簡報並說明複審的注意事項；另外聘請學校各科有經驗的老師、主任們共同為學生做模擬複審的答問訓練，指導學生上台的台風、口語的流暢性並且加強學生研究內容的邏輯性。

這兩年因二十年國教的推行，本校獨立研究交件數量增多，平日的耕耘已有豐碩的成果。

翻轉陀螺創新模型的研究

第二階段 獨立研究階段

壹、摘要

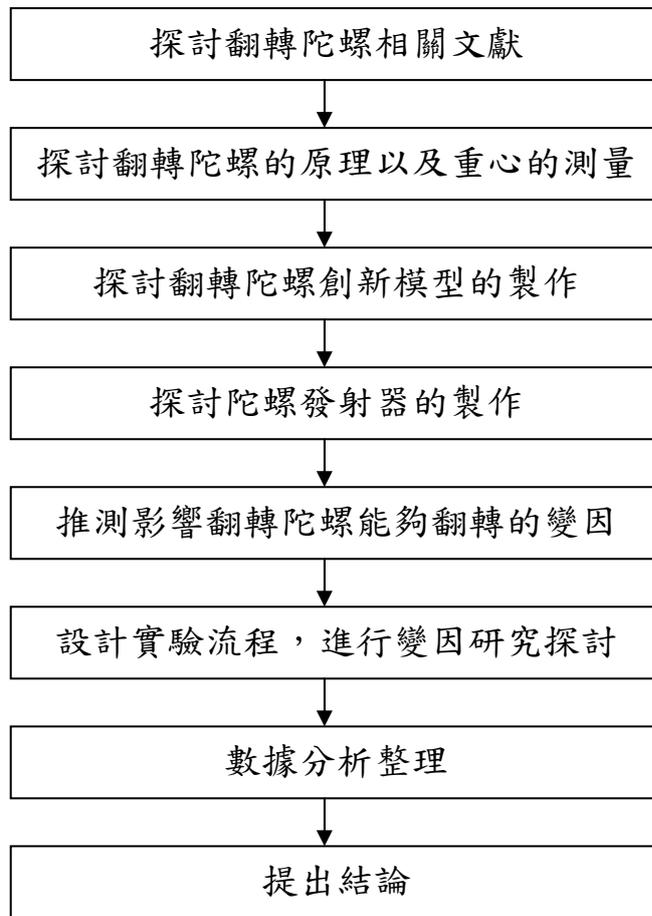
翻轉陀螺重心位置可以利用直尺、水平儀和點斜式來測量出來，比坊間傳統的懸掛法測量來得方便。翻轉陀螺要能夠翻轉，和其的重心到陀螺球心的距離有關係，坊間書籍介紹到重心至球心的距離和球體半徑的比，即偏心率在0.3左右，且陀螺的切口在北緯58.2度至48.6度，軸長外凸約1公分能達最佳的翻轉旋轉效果，但是這個數據是有誤差的。因為它的實驗是在球體底部增加黏土來改變其重心位置，沒有考慮到陀螺在改變重心位置的同時會使得陀螺重量增加，也就是沒有固定使用同一個陀螺。由本研究中發現沒有做切口的翻轉陀螺偏心率在0.102左右能達最好效果，且陀螺外凸轉軸和地面的夾角要大於30度才能翻轉。

貳、研究動機

某天下午整理房間時，翻開小時候的玩具箱，發現讀幼稚園時在科博館買的翻轉陀螺，想起小時候被它吸引的原因是……它和一般的陀螺不一樣，沒有傳統陀螺的旋轉尖頭，它卻可以在不規則翻轉之後，竟然可以倒立過來旋轉。網路上有關於翻轉陀螺的製作都是把一個空心圓球(乒乓球)一邊切掉再插入一筆管，於是抱著好奇心進行自製翻轉陀螺；不過發現要把乒乓球切成適合的大小可不容易，往往要切壞好幾個乒乓球才能製作出一個能夠翻轉陀螺，心想能不能自製一個不用把圓球切一個開口，又能夠調整重心的翻轉陀螺，來進行研究呢？

參、擬定工作進度表

一、研究流程



肆、擬定初步的研究問題

- 一、探討翻轉陀螺的原理以及重心的測量
- 二、探討翻轉陀螺創新模型的製作
- 三、探討陀螺發射器的製作
- 四、探討影響翻轉陀螺能夠翻轉的變因

伍、尋找資源

一、自製翻轉陀螺工作進度表

編號	問題項目	解決問題方式	日期
1	購買坊間的翻轉陀螺。	上網搜尋購買	102年8月10日前
2	研究坊間的翻轉陀螺之構造，提出自製陀螺模型。	提出自製陀螺的模型： 1、透明塑膠材質圓球 2、可以隨意改變陀螺重心位置 3、可以隨意伸長轉軸	102年8月11日
3	找尋透明塑膠材質的圓球	1、到各大百貨、玩具店逛逛，找尋可以使用材料。 2、找到扭蛋的外殼可以當作陀螺圓球的材料，但因為是非正半圓球的外形，所以要研磨切割。	102年8月12日~13日
4	找尋可以伸長、縮短的陀螺轉軸材料	發現可以用原子的筆管，把可以旋轉的部位切割下來，黏在陀螺半圓球的底部，就可以用旋轉的方式組裝不同長度的筆管。	102年8月12日~13日
5	不同長度的筆管就有不同的重量，所以不能控制陀螺模型有相同重量	發現可以使用5cc的注射針筒，當作外管，原子筆的筆管可當作內管，再把原子筆的旋轉螺紋切割下來，黏在針筒的內部，即可完成能伸縮的轉軸。	102年8月14日~15日
6	陀螺的重心如何隨意調整	使用4分螺帽，用橡皮筋固定在陀螺內部的筆管。	102年8月14日~15日
7	如何控制陀螺旋轉的轉速	1、在買場找到了一般的陀螺玩具，採用彈簧發射器來發射。 2、把彈簧發射器改裝成電動馬達發射器。 3、並把陀螺玩具轉軸的滑脫管切割下來，裝在自製陀螺的轉軸上，以便裝在自製的發射器上來發射。	102年8月16日~26日

二、翻轉陀螺重心如何測量

編號	問題項目	解決問題方式	日期
1	搜尋網路或書本如何測量陀螺的重心	使用棉線及膠帶來黏貼固定，待陀螺呈水平時，即可以找到重心位置。	102年8月27日 ~31日
2	實際利用棉線及膠帶來黏貼固定，來找重心。	實驗結果： 1、膠帶、棉線不易黏在陀螺對稱的兩側，且要花費很長的時間來調整。 2、陀螺如果是市售不透光的，就無法使用雷射筆來估測重心位置。	102年8月27日 ~31日
3	找尋新式測量陀螺重心的方法	1、觀察陀螺放在桌面上，不管如何擺最後都會停在相同的位置。 2、陀螺的重心和桌面的接觸點(支點)，會呈鉛垂線。 3、如果改變支點位置，陀螺會如何?支點位置如何改變?	102年9月1日 ~3日
4	陀螺支點位置如何改變?	1、想像陀螺的支點往內部移動(向上且向前偏)，陀螺的重心和內部的支點也會呈現鉛直線，但是此時陀螺的轉軸就會呈現非水平的狀態。 2、利用兩支直尺是否能達成有不同的支點?	102年9月1日 ~3日
5	如何利用直尺來改陀螺支點位置?	1、當兩支直尺水平張開時，發現陀螺放在上面，陀螺會無法立在上面，會滾下來。 2、當兩支直尺張開某一角度時，陀螺會依不同的擺放位置，呈現不同的傾斜角度。	102年9月1日 ~3日
6	如何利用陀螺不同的傾斜角度，來計算出其重心位置?	發現可利用雷射筆固定在簡易水平儀，可測出陀螺傾斜的角度，透過點斜式計算，即可算出重心位置。	102年9月1日 ~3日
7	開始實驗測量蒐集數據		102年9月4日 ~30日

陸、研究計畫

一、研究器材

扭蛋外殼(直徑6.3公分×2個、直徑8公分×2個)、原子筆筆管數支、4分螺帽、橡皮筋、透明膠帶、快乾膠、平面砂輪機、水平儀、雷射筆、直尺2支、直角三角板、圖釘、攝子

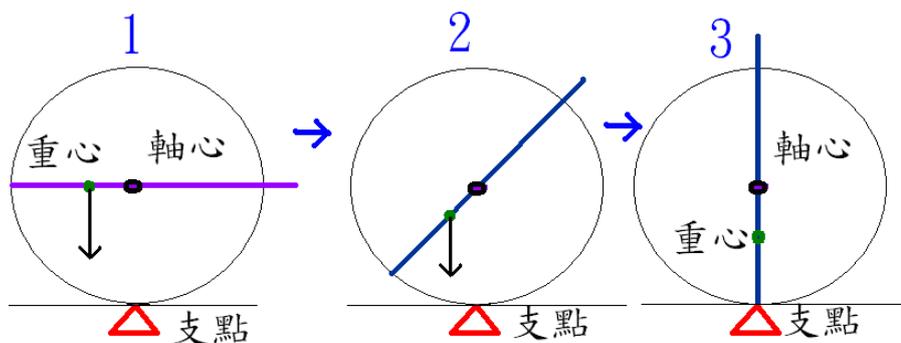


二、名詞解釋

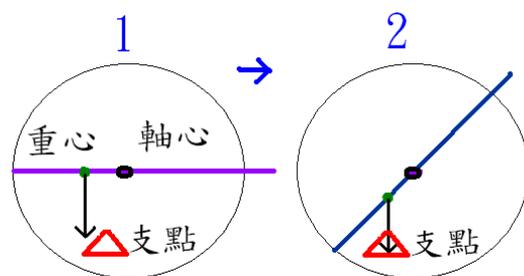
- (1) 陀螺軸心中點：陀螺轉軸的中心點(球心)。
- (2) 陀螺重心：陀螺整體的質量中心。
- (3) 偏心率：圓球的中心到圓球重心的距離除以圓球的半徑。所以，圓球的重心和其中心點是同一點，所以偏心率 = 0。

三、探討翻轉陀螺的旋轉原理及偏心率測量

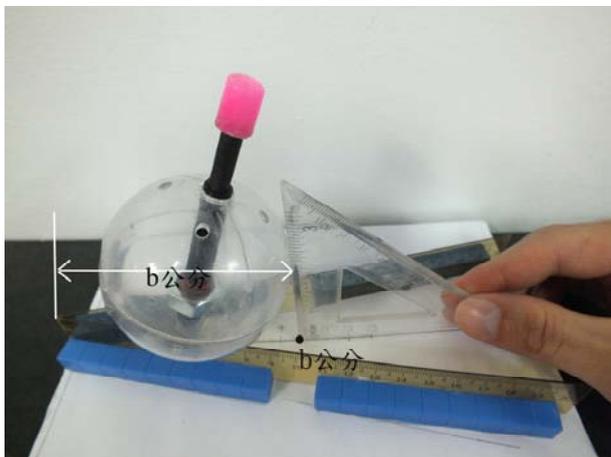
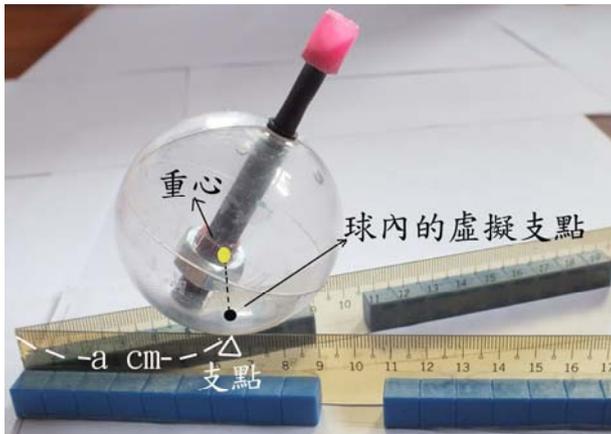
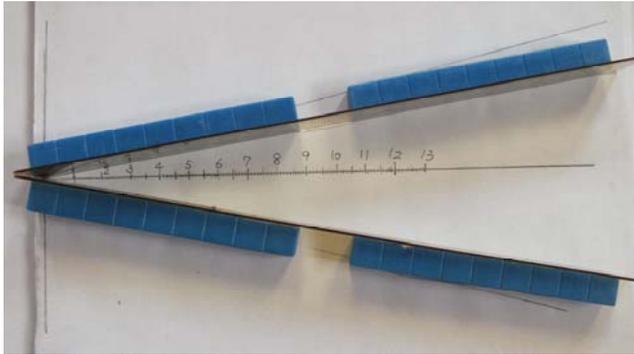
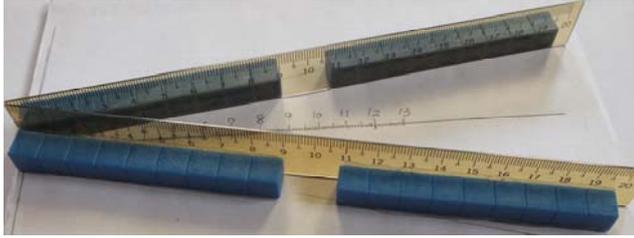
- 1、傳統陀螺的旋轉原理，其重心在陀螺中心點的上方，由文獻中知道陀螺的重心愈高旋轉的更穩定。
- 2、翻轉陀螺的旋轉方式剛開始和傳統陀螺不一樣，其重心在陀螺中心點的下方，剛開始旋轉時，陀螺軸心會由垂直移動成水平旋轉，一直到軸心碰觸到地面就會直立起來，整個陀螺會呈現倒立旋轉，其重心由原本的下方移到上方來，此時和傳統陀螺的旋轉方式一樣。
- 3、翻轉陀螺的重心測量方式，網路上有人採用棉線懸掛式來測量，當翻轉陀螺成水平狀態時，再用雷射光去定位，目測出其重心位置。不過這個方式有很大的誤差，尤其是把棉線綁在球體上時很困難。
- 4、經由觀察翻轉陀螺放置在水平面上的情形，發現翻轉陀螺最後軸心會停在垂直的方向，原因是：球體的支點位於滾動時的球面上，而其重心在轉軸上，透過合力距及桿槓原理，最後的重心位置會和支點在同一鉛垂線上。如圖示說明。



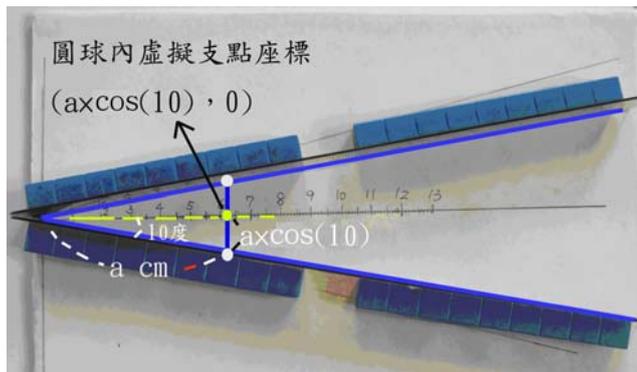
- 5、如果把支點的位置往上移動到球體內部時，如下圖示的位置時，翻轉陀螺的軸就會呈現某一個傾斜的角度。



6、使用兩支尺張開約20度角，直立於平板上，把球體放在尺上面，翻轉陀螺的軸會傾斜平衡，在球面和兩支尺有兩個接觸點即為兩個支點為a公分，球面右邊鉛垂線到原點的距離為b公分。



7、由三角函數，算出圓球內之虛擬支點的座標為： $(a \times \cos(10^\circ), 0)$



8、把雷射筆固定在水平儀左側，來測量軸心的傾斜角度 θ 。

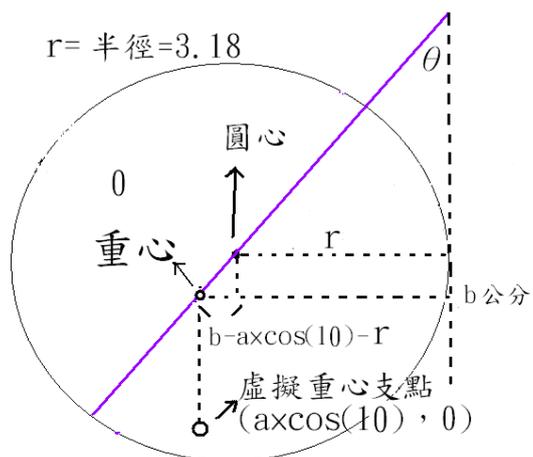


9、原點到虛擬支點的長度 = 原點到重心的長度 = $a \times \cos(10^\circ)$

原點到球面右端的長度 = b

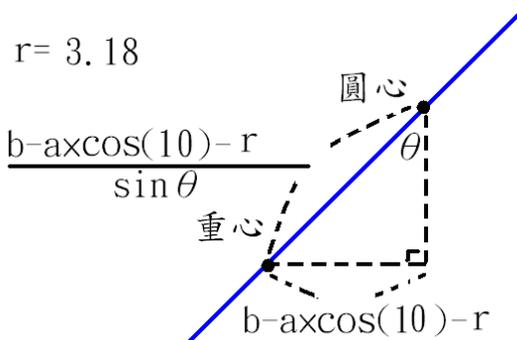
圓的半徑 = 3.18cm

重心到圓心的水平距離 = $b - a \times \cos(10^\circ) - 3.18$



10、計算圓心到重心的長度

$$= [b - a \cos(10^\circ) - r] / \sin \theta$$



11、

$r = \text{圓球半徑} = 3.18$

重心離球心距離 $= [b - a \cos(10^\circ) - r] / \sin \theta$

偏心率 $= \{ [b - a \cos(10^\circ) - r] / \sin \theta \} / r$

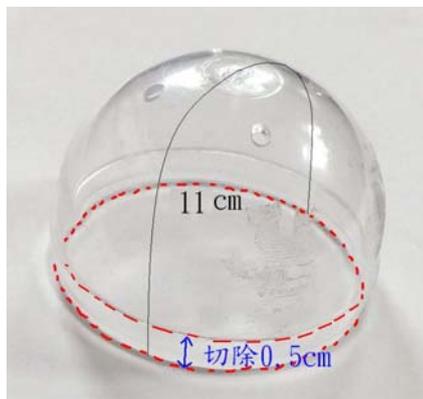
四、探討翻轉陀螺的製作

經由上述的分析，要去分析陀螺的重心、軸長、質量三個變因對陀螺旋轉的影響，所以在製作翻轉陀螺模型時要能夠同時調整重心、軸長、質量。於是，我們考慮使用空心的球體—扭蛋的塑膠殼，因為扭蛋的一邊是類似半圓的球殼，所以要拿兩個扭蛋類似半圓的球殼來製作。

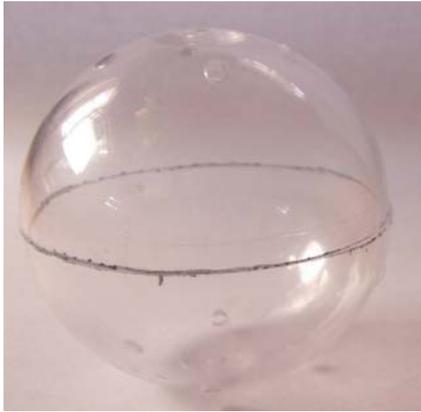
1、製作翻轉陀螺的球殼：

(1) 經由皮尺的測量扭蛋球殼的半圓周長為10公分，而其另一邊測得半個圓

周長為11公分，利用砂輪機把多餘的外殼切除，使其成為一半圓球殼。



(2)切割出兩個半圓，能組成一個圓形球殼。



2、製作軸心

(1)裁切原子筆筆管：把可以旋轉的部份切割開來。



(2)把半圓球的頂端挖一個孔，剛好筆管能穿過。

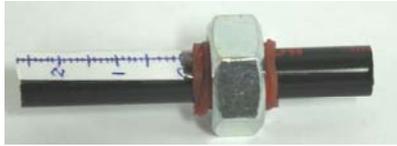


(3)把筆管穿過上半圓球的小孔，以確定筆管為鉛垂後，用快乾膠黏在圓球的內部，乾了之後筆管能旋轉拆除。



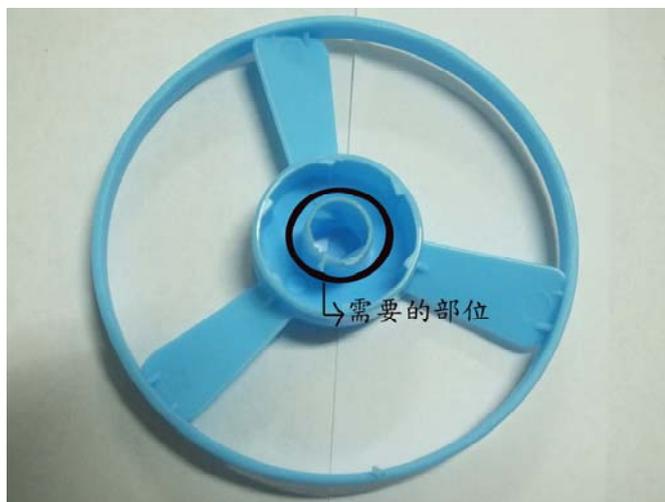
3、製作可調整式重心裝置

在筆管的軸心中點(圓心)畫上公分刻度尺，使用4分螺帽穿過筆管，並用橡皮筋來固定螺帽。



4、製作陀螺發射器轉軸的滑脫管

觀察市面上的陀螺發射器，能夠把陀螺發射出去的裝置，是依靠著陀螺轉軸上的滑脫管，於是把陀螺上的滑脫管切下來，以便裝上自製的陀螺轉軸筆管上。



5、軸心製作

(1)將10cc針筒裁切成適當長度，把原子筆管內部有螺紋的部份切割下來，

用快乾膠固定在裁切好的針筒管內部如圖示。



(2)把原子筆管切割適當長度，用快乾膠把滑脫管黏在筆管上，並在筆管上

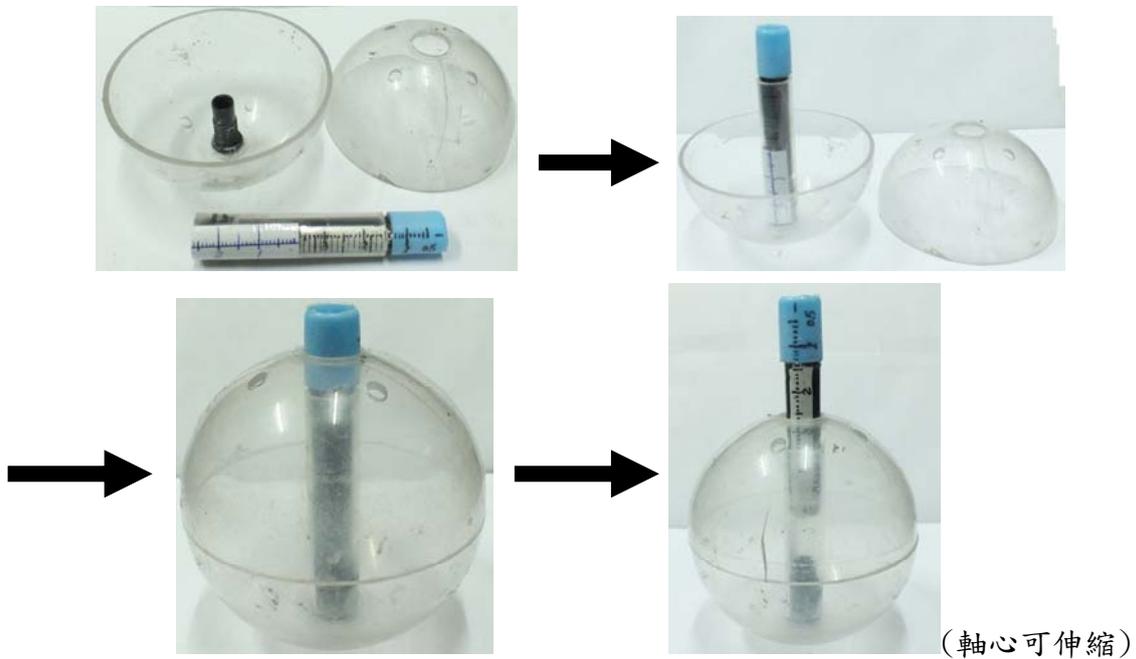
畫上刻度尺，以作為轉軸伸出的長度測量用。



(3)伸縮筆管組裝：外管內有螺紋可以利旋轉的方式固定在陀螺下半球內部



6、自製翻轉陀螺組裝

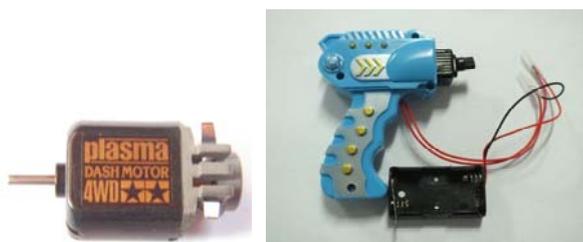


五、探討陀螺發射器的製作

1、市面的陀螺玩具，採用拉繩的方式來旋轉。



2、裝入馬達(轉速為25000rpm)，把發射槍的轉頭有用的部位切割下來，裝在馬達的轉軸，改裝成為電動發射器。



六、推測影響翻轉陀螺能夠翻轉的變因

(一)操縱變因

- (1)翻轉陀螺不一定要切口，設計一個沒有切口的翻轉陀螺來驗證。
- (2)翻轉陀螺的重心位置，即偏心率會影響陀螺是否會翻轉及翻轉的時間。
- (3)翻轉陀螺的軸心長度會影響陀螺是否會翻轉及翻轉的時間。
- (4)翻轉陀螺的轉速會影響陀螺是否會翻轉及翻轉的時間。
- (5)翻轉陀螺的轉軸直徑大小會影響陀螺是否會翻轉及翻轉的時間。
- (6)翻轉陀螺的質量會影響陀螺是否會翻轉及翻轉的時間。

(二)應變變因：

- (1)陀螺是否會翻轉。
- (2)陀螺翻轉的時間長短。

(三)控制變因

- (1)使用同一個陀螺，陀螺的質量固定。
- (2)使用陀螺發射器，固定陀螺發射的轉速。

七、實驗活動

本研究實驗活動分為：

實驗一：自製圓球重心測量器準確度驗證。

實驗二：翻轉陀螺轉軸外凸長度不同的影響

實驗三：同一陀螺模型每一次翻轉時間、旋轉時間是否相同。

實驗四：陀螺不同重心位置，是否會影響陀螺翻轉及轉動的時間。

實驗五：固定螺帽位置(固定重心位置)時，不同軸長的影響。

實驗六：不同轉速對陀螺翻轉時間的影響

實驗七：陀螺轉軸直徑不同對翻轉時間的影響。

實驗八：同重心位置、不同質量的陀螺，其翻轉時間的影響。

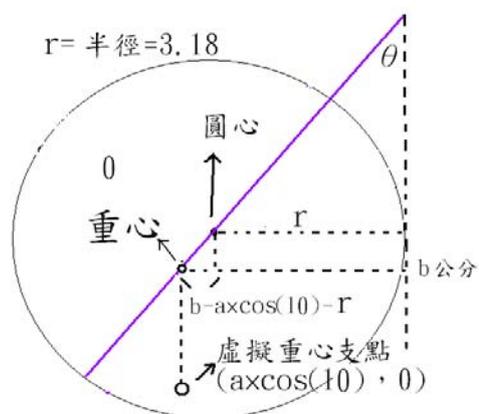
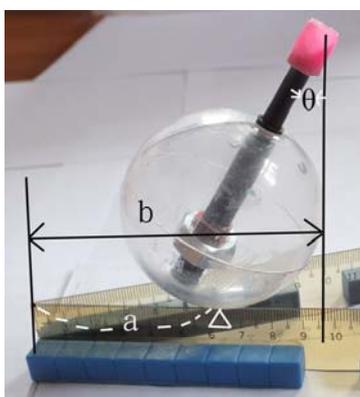
實驗九：陀螺翻轉後改變重心降至下方，是否會影響陀螺的轉動。

實驗十：和市售的翻轉陀螺比較。

實驗十一：大小翻轉陀螺的比較。

實驗一：自製圓球重心測量器準確度驗證

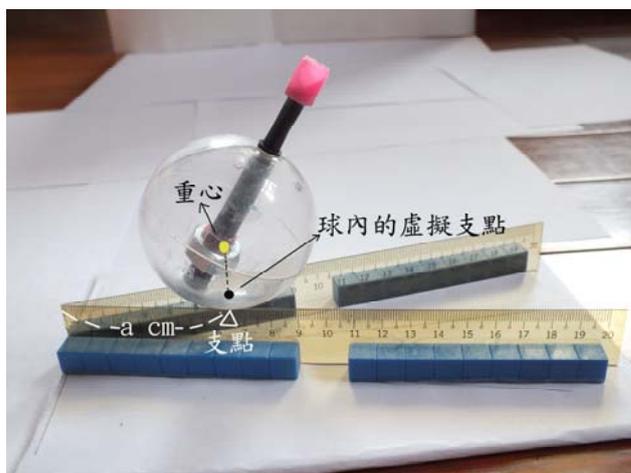
1、在進行實驗前要先測量陀螺的重心位置，並算出偏心率。



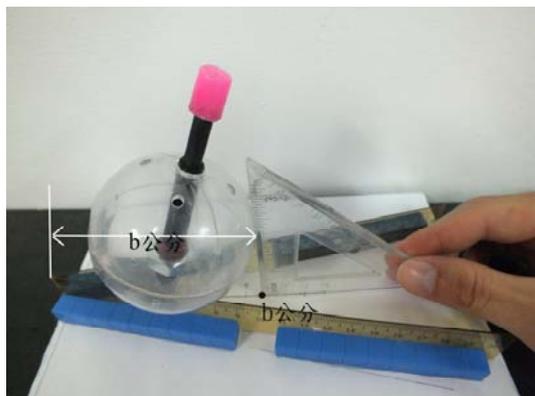
$$\text{偏心率} = \{ [b - ax\cos(10^\circ) - r] / \sin\theta \} / r$$

$\cos(10^\circ)$ ：為尺張開的角度=20度÷2

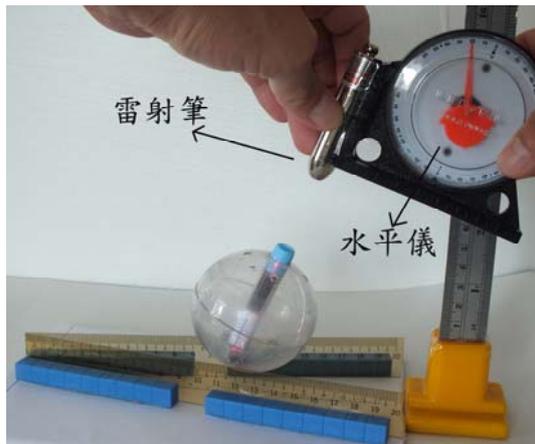
2、把翻轉陀螺放在自行研發的直尺測量器，測得球體和直尺兩側的支點距離都相等時的長度為a公分。



3、利用直角三角板測得球體右側面的距離b公分。



4、把雷射筆固定在水平儀左側，來測量軸心的傾斜角度 θ 。



5、驗證自製圓球重心測量器準確度

使用翻轉陀螺模型如下：

翻轉陀螺圓球半徑=3.18公分

軸心外突長=0.5公分

螺帽位置距離球心2.0公分

(1)首先利用槓桿原理來測量，把圖釘固定在攝子的兩尖端。



(2)利用攝子夾住陀螺找到陀螺轉軸水平時的支點，再用雷射筆來估測出陀螺重心位置到球心的距離。



(3)找到陀螺重心位置至球心的位置約0.7公分，測量時發現圖釘不易固定球體，會滑動，花了好長的時間才完成測量工作。

(4)利用自創的測量方式來測量，結果如下：

改變支點a的值，測得不同的b值、 θ 值，計算重心至球心距離。

$$\text{公式：重心至球心距離} = [b - a \cos(\theta) - r] / \sin \theta$$

測量	a值(cm)	b值(cm)	θ 值(度)	重心至球心距離(cm)	備註
測量1	小於或等於5	--	--	--	無法判斷a值正確的數值。
測量2	6.25	9.4	15	0.25	
測量3	7.35	10.6	18	0.59	
測量4	8.45	11.75	23	0.64	
測量5	9.35	12.7	27	0.69	
測量6	10.4	13.75	28	0.70	
測量7	12	15.3	29	0.62	容易滑動不易測量
測量8	大於12	--	--	--	容易滑動不易測量

由以上八次的測量發現把陀螺放置在7~11公分的位置，較能測出正確值。和利用槓桿原理的方式所測得的值0.7公分相當的接近。

(5)翻轉陀螺圓球半徑=3.18公分

軸心外突長=1.0公分

螺帽位置距離球心1.5公分

利用攝子夾住測得重心距離球心約0.5公分

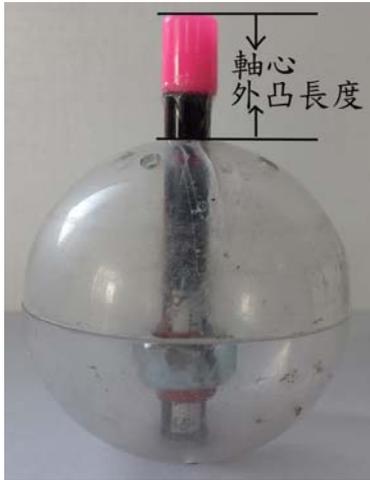
利用自創的測量方式來測量，結果如下：

測量	a值(cm)	b值(cm)	θ 值(度)	重心至球心距離(cm)	備註
測量1	7.6	10.9	28	0.50	
測量2	8.7	12	30	0.50	
測量3	9.65	12.95	32	0.50	
測量4	10.65	13.95	35	0.49	

由以上四次的測量發現把陀螺放置在7~10公分的位置，測出的結果和用攝子所測出的結果是一致的，所以這個自製重心測量器是有一定的準確度。

實驗二：翻轉陀螺轉軸外凸長度不同的影響。

1、調整不同軸心外凸長度。



2、測量軸心和水平面夾角



3、利用手來轉動陀螺，測試陀螺是否能翻轉。



4、利用電動發射器來轉動陀螺，測試陀螺是否能翻轉。



5、測試時，調整螺帽位置來改變重心位置，想辦法使陀螺翻轉，利用照相機來錄影後，用電腦播放計算其成功翻轉的秒數。

陀螺半徑3.18公分						
測試項目	軸心外凸長度(cm)	軸心和水平面夾角	手轉動陀螺方式		利用陀螺電動發射器	
			翻轉是否成功	翻轉秒數(秒)	翻轉是否成功	翻轉秒數(秒)
1	0.5	50	成功	2.5	成功	3.5
2	0.6	49	成功	2.7	成功	3.8
3	0.7	48	成功	2.8	成功	3.1
4	0.8	47	成功	3.0	成功	3.9
5	0.9	46	成功	3.2	成功	3.0
6	1	45	成功	3.5	成功	3.2
7	1.1	44	成功	3.6	成功	3.3
8	1.2	43	成功	4.0	成功	3.6
9	1.3	42	成功	4.5	成功	4.0
10	1.4	41	成功	4.7	成功	4.2
11	1.5	40	成功	4.1	成功	4.6
12	1.6	38	成功	4.6	成功	4.8
13	1.7	37	成功	4.9	成功	4.7
14	1.8	36	成功	4.3	成功	4.5
15	1.9	35	成功	4.6	成功	4.8
16	2	34	成功	4.1	成功	4.4
17	2.1	32	失敗	--	成功	4.8
18	2.2	30	失敗	--	失敗	--

陀螺半徑4公分						
測試項目	軸心外凸長度(cm)	軸心和水平面夾角	手轉動陀螺方式		利用陀螺電動發射器	
			翻轉是否成功	翻轉秒數(秒)	翻轉是否成功	翻轉秒數(秒)
1	2.5	35	成功	3.5	成功	2.5
2	2.7	30	失敗	--	成功	3.1

資料分析：

發現大小陀螺其軸心和地面接觸的角度要大於30度時，陀螺翻轉才能翻轉。

實驗三：同一陀螺模型每一次翻轉時間、旋轉時間是否相同。

1、陀螺模型：螺帽位置距離球心0.7公分，軸心外凸長度為0.5公分。

2、進行五次實驗。

實驗 序號	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	翻轉秒數 (秒)	翻轉後旋轉 的時間(秒)
1	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	3.32	22.98
2	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	3.60	24.00
3	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	3.72	25.00
4	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	3.20	23.90
5	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	4.00	20.80

數據分析：

同一個陀螺每一次翻轉時間是不同的，誤差值約0.8秒。所以，在進行實驗後翻轉時間在0.8秒上下的差值，可視為結果相同。

實驗四：陀螺不同重心位置，是否會影響陀螺翻轉及轉動的時間。

1、陀螺模型：軸心外凸長度為0.5公分。

2、移動螺帽位置每次移動0.1公分，並用照相機來錄影計算陀螺翻轉的時間，及翻轉後旋轉的時間。

3、重心離球心距離= $[b-ax\cos(10^0)-r]/\sin\theta$

偏心率= $\{[b-ax\cos(10^0)-r]/\sin\theta\}/r$

實驗 序號	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	翻轉秒數 (秒)	翻轉後旋轉 的時間(秒)
1	0.00	0.50	---	---	---	---	---	---	---
2	0.10	0.50	8.20	11.40	57.00	0.17	0.054	4.82	18.03
3	0.20	0.50	8.30	11.50	54.00	0.18	0.057	4.63	23.08
4	0.30	0.50	9.10	12.30	50.00	0.21	0.065	4.79	20.40
5	0.40	0.50	9.65	12.85	48.00	0.22	0.070	4.30	15.10
6	0.50	0.50	9.40	12.60	34.00	0.29	0.092	4.24	16.55
7	0.60	0.50	9.30	12.50	32.00	0.30	0.096	4.09	23.93

實驗 序號	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	翻轉秒數 (秒)	翻轉後旋轉 的時間(秒)
8	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	3.32	22.98
9	0.80	0.50	10.95	14.15	35.00	0.32	0.102	3.65	13.45
10	0.90	0.50	9.15	12.35	29.00	0.33	0.103	3.83	20.05
11	1.00	0.50	7.50	10.70	24.00	0.33	0.104	4.16	23.69
12	1.10	0.50	7.90	11.10	23.00	0.36	0.113	3.95	12.95
13	1.20	0.50	8.10	11.30	24.00	0.35	0.111	4.20	12.80
14	1.30	0.50	8.45	11.60	16.00	0.36	0.112	4.10	12.90
15	1.40	0.50	8.10	11.30	20.00	0.42	0.132	4.00	12.00
16	1.50	0.50	12.00	15.20	28.00	0.43	0.136	4.31	6.69
17	1.60	0.50	10.15	13.35	23.00	0.45	0.140	---	---

數據分析：

- 1、偏心率大於0.14時，陀螺就無法翻轉。
- 2、陀螺發射到落地到翻轉的時間大約3~4秒。
- 3、重心位置距離球心為0.32公分時，偏心率0.102時，陀螺可以翻轉後持續時間較長。

實驗五：固定螺帽位置(固定重心位置)時，不同軸長的影響。

實驗 序號	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	翻轉秒 數(秒)	翻轉後 旋轉的 時間 (秒)
1	0.7	0.5	10.6	13.8	34	0.324	0.102	3.32	22.98
2	0.7	0.6	10.5	13.7	34	0.321	0.101	3.45	20.45
3	0.7	0.7	10.8	14	35	0.321	0.101	4.12	18.56
4	0.7	0.8	11.1	14.3	36	0.321	0.101	3.98	14.3
5	0.7	0.9	10.5	13.7	35	0.313	0.098	4.02	15.23
6	0.7	1	10.7	13.9	36	0.311	0.098	4.14	10.86
7	0.7	1.1	10.8	14	36	0.313	0.098	4.23	11.25
8	0.7	1.2	10.5	13.7	35	0.313	0.098	4.32	9.45
9	0.7	1.3	10.8	14	37	0.306	0.096	3.45	8.52
10	0.7	1.4	11	14.2	38	0.304	0.096	4.12	9.1
11	0.7	1.5	10.6	13.8	36	0.308	0.097	3.92	8.75

實驗 序號	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	翻轉秒 數(秒)	翻轉後 旋轉的 時間 (秒)
12	0.7	1.6	10.5	13.7	37	0.298	0.094	4.8	10.2
13	0.7	1.7	10.8	14	40	0.286	0.090	4.25	8.75
14	0.7	1.8	9.3	12.5	35	0.281	0.088	4.15	10.65
15	0.7	1.9	9.8	13	44	0.243	0.076	---	---
16	0.7	2	9.55	12.75	44	0.238	0.075	---	---

數據分析：

- 1、轉軸外凸長增加時，重心到球心距離會減少，偏心率會減少。
- 2、偏心率減少到 0.076 以下時，陀螺就無法翻轉了。
- 3、陀螺轉軸的長度愈長時，陀螺的偏心率要大一點才能翻轉，即偏心率的範圍較小。陀螺轉軸的長度較短時，能夠翻轉的偏心率範圍較大。

實驗六：不同轉速對陀螺翻轉時間的影響

實驗 序號	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	電動 發射器		彈簧 發射器	
								翻轉 秒數 (秒)	翻轉 後旋 轉的 時間 (秒)	翻轉 秒數 (秒)	翻轉 後旋 轉的 時間 (秒)
1	0.00	0.00	-	-	-						
2	0.10	0.50	8.20	11.40	57.00	0.17	0.054	4.82	18.03	0.00	0.00
3	0.20	0.50	8.30	11.50	54.00	0.18	0.057	4.63	23.08	0.00	0.00
4	0.30	0.50	9.10	12.30	50.00	0.21	0.065	4.79	20.40	2.11	5.99
5	0.40	0.50	9.65	12.85	48.00	0.22	0.070	4.30	15.10	2.13	6.59
6	0.50	0.50	9.40	12.60	34.00	0.29	0.092	4.24	16.55	3.05	6.75
7	0.60	0.50	9.30	12.50	32.00	0.30	0.096	4.09	23.93	2.17	7.85
8	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	3.32	22.98	3.19	9.11
9	0.80	0.50	10.95	14.15	35.00	0.32	0.102	3.65	13.45	3.11	11.00
10	0.90	0.50	9.15	12.35	29.00	0.33	0.103	3.83	20.05	2.14	5.23
11	1.00	0.50	7.50	10.70	24.00	0.33	0.104	4.16	23.69	2.78	12.18
12	1.10	0.50	7.90	11.10	23.00	0.36	0.113	3.95	12.95	2.45	11.00

實驗 序號	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	電動 發射器		彈簧 發射器	
								翻轉 秒數 (秒)	翻轉 後旋 轉的 時間 (秒)	翻轉 秒數 (秒)	翻轉 後旋 轉的 時間 (秒)
13	1.20	0.50	8.10	11.30	24.00	0.35	0.111	4.20	12.80	2.90	9.10
14	1.30	0.50	8.45	11.60	16.00	0.36	0.112	4.10	12.90	3.60	11.00
15	1.40	0.50	8.10	11.30	20.00	0.42	0.132	4.00	12.00	3.10	9.57
16	1.50	0.50	12.00	15.20	28.00	0.43	0.136	4.31	6.69	4.69	7.85
17	1.60	0.50	10.15	13.35	23.00	0.45	0.140	-	-	-	-

數據分析：

- 1、使用彈簧發射器射出的陀螺轉速較慢，但是翻轉的時間比用電動發射器來得短，2~5秒的時間就能翻轉。
- 2、利用電動發射器射出的陀螺轉速快、動能也較大，翻轉後旋轉的時間較長。

實驗七：陀螺轉軸直徑不同對翻轉時間的影響。

把紙卡剪成適當的長條狀，黏在轉軸外面一圈來增加轉軸的直徑。

實驗 序號	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	轉軸 直徑 (公分)	電動 發射器	
									翻轉 秒數 (秒)	翻轉 後旋 轉的 時間 (秒)
1	0.7	1	10.7	13.9	36	0.311	0.098	1	4.14	10.86
2	0.7	1	10.5	13.7	40	0.279	0.088	1.15	3.77	9
3	0.7	1	10.3	13.5	45	0.250	0.078	1.2	4.6	7.2
4	0.8	1	—	—	—	—	—	1.25	—	—
5	0.9	1	—	—	—	—	—	1.25	—	—
6	1	1	—	—	—	—	—	1.25	—	—
7	1.1	1	—	—	—	—	—	1.25	—	—
8	1.2	1	—	—	—	—	—	1.25	—	—
9	1.3	1	—	—	—	—	—	1.25	—	—
10	1.4	1	—	—	—	—	—	1.25	—	—

數據分析：

- 1、轉軸直徑加粗時轉軸會變重，偏心率會因轉軸變重而減小。
- 2、轉軸直徑加粗不利陀螺翻轉。

實驗八：同重心位置、不同質量的陀螺，其翻轉時間的影響。

利用黏土來增加陀螺底部的重量，每次增加2立方公分，並調整陀螺的螺帽位置使其重心位置相同。

實驗 序號	增加 黏土 (cm^3)	螺帽位置 離球心幾 公分	轉軸 外凸 長度 (公分)	a	b	θ 度	重心 距離 軸心 距離	偏心率	電動 發射器	
									翻轉秒 數(秒)	翻轉 後旋 轉的 時間 (秒)
1	0	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	3.32	22.98
2	1	0.60	0.50	10.00	13.20	33.00	0.32	0.099	4.52	10.41
2	2	0.50	0.50	10.00	13.20	30.00	0.34	0.108	4.12	10.32
3	3	無法調整	—	—	—	—	—	—	—	—
4	4	無法調整	—	—	—	—	—	—	—	—
5	2	0.60	0.50	10.20	13.40	27.00	0.39	0.121	3.00	13.80
6	4	0.60	0.50	11.80	15.00	20.00	0.58	0.183	3.00	10.00
7	8	0.60	0.50	13.10	16.30	18.00	0.71	0.223	3.00	8.00

數據分析：

增加了陀螺的重量偏心率跟著變大，但是陀螺翻轉的時間只快了0.7秒，但是翻轉後持續轉動的時間變短了。所以增加陀螺重量對陀螺翻轉的影響不大。

實驗九：陀螺翻轉後改變重心降至下方，是否會影響陀螺的轉動。

螺帽沒有固定在轉軸上，當陀螺翻轉後螺帽會由上方降落至下方。

實驗項目	螺帽位置離球心幾公分	轉軸外凸長度(公分)	a	b	θ 度	重心距離軸心距離	偏心率	電動發射器	
								翻轉秒數(秒)	翻轉後旋轉的時間(秒)
螺帽固定	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	3.32	22.98
螺帽沒固定會降至下方	0.70	0.50	10.60	13.80	34.00	0.32	0.102	2.74	10.00

數據分析：

- 1、螺帽降至下方時，發現陀螺轉動時左右擺動的幅度明顯的加大，導致翻轉後旋轉的時間明顯的減少。
- 2、經由觀察陀螺在旋轉時，其重心在上方時比較穩定。

實驗十：和市售的翻轉陀螺比較。

- 1、市售的翻轉陀螺的半徑1.9公分，測得其偏心率為0.137。
- 2、選擇自製陀螺模型的偏心率為0.101來進行比較。
- 3、都使用手動旋轉陀螺的方式來進行測試。

實驗項目	螺帽位置離球心幾公分	轉軸外凸長度(公分)	a	b	θ 度	重心距離軸心距離	偏心率	手動發射	
								翻轉秒數(秒)	翻轉後旋轉的時間(秒)
自製陀螺(第1次)	0.7	0.8	11.1	14.3	36	0.321	0.101	1.85	5.00
自製陀螺(第2次)	0.7	0.8	11.1	14.3	36	0.321	0.101	2.3	4.8
自製陀螺(第3次)	0.7	0.8	11.1	14.3	36	0.321	0.101	2.02	5.2
市售陀螺(第1次)			4.4	6.4	40	0.26	0.137	2.00	3.00
市售陀螺(第2次)			4.4	6.4	40	0.26	0.137	1.17	4.67
市售陀螺(第3次)			4.4	6.4	40	0.26	0.137	3.00	5.10

數據分析：

挑選偏心率和市售陀螺相近的自製陀螺模型，其翻轉的時間差不多，翻轉後持續旋轉的時間也差不多。

實驗十一：大小翻轉陀螺的比較。

自製較大的翻轉陀螺，陀螺模型如下：

陀螺半徑4公分，轉軸外凸2.5公分，偏心率調整為0.4

實驗項目	轉軸外凸長度(公分)	a	b	θ 度	重心距離軸心距離	偏心率	電動發射器發射	
							翻轉秒數(秒)	翻轉後旋轉的時間(秒)
大陀螺(第1次)	2.5	5.5	9.7	60	1.27	0.401	2.50	7.50
大陀螺(第2次)	2.5	5.5	9.7	60	1.27	0.401	3.1	6.5
大陀螺(第3次)	2.5	5.5	9.7	60	1.27	0.401	2.8	7.8

數據分析：

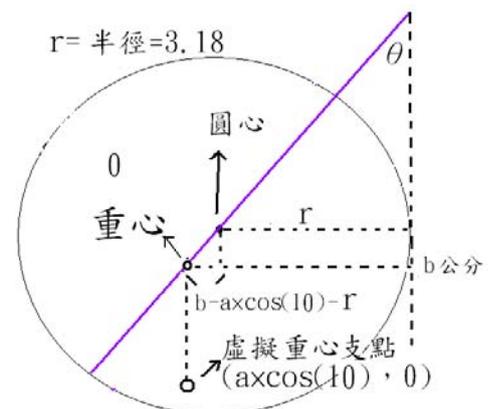
- 1、半徑較大的陀螺其偏心率可調整為較大的數值。
- 2、較大的陀螺其翻轉的速度並沒有比較慢，不過翻轉後可以旋轉的時間明顯的較短。

柒、研究結果與討論

- 1、本研究「使用同一個陀螺」，只要改變螺帽位置、轉軸長短，就能進行控制變因與操作變因的實驗，有別於以往文獻的實驗。
- 2、左右對稱之陀螺的重心位置，可以利用自製的測量尺、座標及斜率來計算出來，並可算出偏心率。(如第7頁~第10頁所描述的方法)

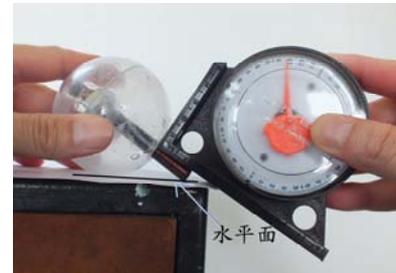
$$\text{偏心率} = \{ [b - a \cos(\theta) - r] / \sin \theta \} / r$$

θ ：為尺張開的角度=20度÷2



4、翻轉陀螺不需要有切口也能翻轉，只需要在球體中的下半部增加一些重量，就能使翻轉陀螺翻轉。

5、翻轉陀螺可以不做切口處理，陀螺能夠翻轉的重要因素是陀螺的轉軸和地面的夾角有關係，陀螺軸心和地面的夾角要大於 30 度。和坊間的教材所提出切口為北緯 58 度~48 度，換算成和水平夾角約為 32~42 度是相符合的。



6、同一個陀螺每一次翻轉時間是不同的，誤差值約 0.8 秒。

7、不同重心位置的翻轉陀螺其翻轉的時間就不同，大約是 3 秒至 5 秒就能夠翻轉，如果超過 5 秒還沒有翻轉者就無法翻轉了。

8、可翻轉的陀螺偏心率為 0.076~0.14，和坊間的書籍介紹的偏心率在 0.37~0.39 差很多，可能原因是：有切口處理的翻轉陀螺，其偏心率較大。

9、陀螺轉軸的長度愈長時，陀螺的偏心率要大一點才能翻轉，即偏心率的範圍較小。陀螺轉軸的長度較短時，能夠翻轉的偏心率範圍較大。

10、陀螺轉速的快慢，對翻轉的時間沒有影響，但是轉速快的陀螺其動能較大，翻轉後旋轉的時間較長。

11、陀螺的轉軸加粗不利於陀螺翻轉。

12、同重心位置但重量較重的陀螺，其偏心率較大，翻轉的時間較短，但是翻轉後持續的時間也較短。

13、翻轉陀螺翻轉後讓內部的螺帽由上方降落至下方，即改變重心位置至底部，陀螺的轉動的狀況較搖晃，旋轉的時間也縮短，證明了陀螺在旋轉時，其重心在上方時比較穩定。

14、市售陀螺和自製陀螺，其翻轉的時間差不多，翻轉後持續旋轉的時間也差不多。

15、大小不同陀螺當其偏心率相近時，其翻轉時間相差不多。但半徑較大的陀螺翻轉後旋轉的時間明顯的較短。

捌、評鑑與檢討：

1、翻轉陀螺重心的測量利用點斜式來測量，比傳統的方法省時。

2、本研究的陀螺採用沒有切口的方式製作，有別於市售有切口的陀螺，重心的

偏心率位置明顯的較小，不過和市售的陀螺翻轉的狀況沒有明顯的差異。

3、可調式重心的翻轉陀螺，可以讓使用者透過操作不同的重心位置，了解到翻轉陀螺的翻轉和重心有關係。

4、本研究的陀螺外殼要用膠帶來接合連貼，這是較費時的；如果市面上能夠找到用旋轉就能接合的球體外殼，對實驗的方便性會有明顯的幫助。

玖、參考資料：

1、中興大學物理系，普物演示廳。

<http://experiment.phys.nchu.edu.tw/device/exp33.html>

2、台中教育大學應用科學推廣系，重心的襖秘。

http://scigame.ntcu.edu.tw/Sitel/Game_power11.html#3

3、酒井高男(2000)。力學的趣味實驗。新竹市：凡異。