

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：生活與應用科學

組 別：國小組

作品名稱：Ready set go! 轉，轉，轉

關鍵詞：陀螺、穩定性、質量分布

編 號：

作品名稱： Ready set go! 轉，轉，轉

壹、摘要

我們知道，當物體在運動時會有一些因素影響到物體運動的結果。爲了製作一個能運轉最持久的陀螺，我們開始研究哪些因素會影響到陀螺運轉的時間。

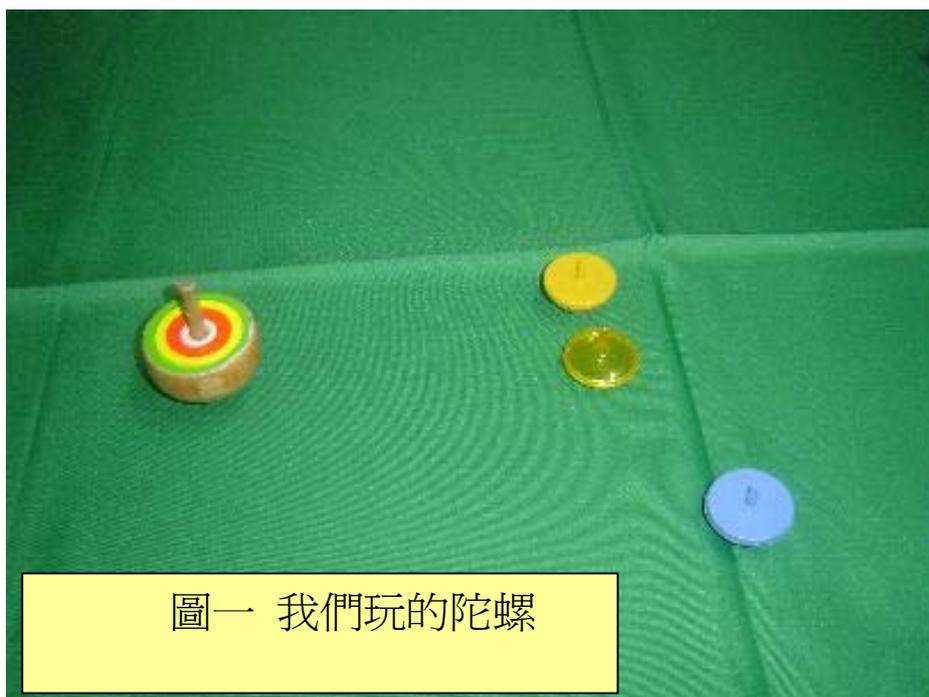
利用自製的發射器及紙陀螺，我們發現重心、本體面積、質量分佈都會影響陀螺運轉的時間；除了目測外，陀螺旋轉的軌跡及連續快速拍照來觀察陀螺是否穩定旋轉？最後從比較分析市面上的陀螺驗證本研究是可以應用在生活上達到娛樂及教育上的功能。

貳、研究動機

期末有位玩伴要出國留學，在歡送會中有一種糖果也是玩具是最受我們小朋友喜愛的，就是塑膠陀螺內裝有巧克力，把巧克力吃完就可比賽誰得陀螺轉得最久。

於是激起了我們的興趣，開始思考自己來製作陀螺，是否也可以轉得這麼久。

首先想到六年級上學期的自然課，曾經學過『生活中的工具』單元，在這單元中學到力矩，而要使陀螺運轉需要施力，就是力矩的表現，而陀螺的運轉是轉動慣性的一種現象。而爲了要控制發射陀螺力量我們想到使用砝碼、定滑輪，又爲了讓陀螺能在一定範圍運轉，我們又想到利用軌道斜面；也爲了能調整發射台的高度我們利用針筒來控制。於是我們決定以學習過的知識與經驗來設計實驗，進行研究，希望知道除了力量外，還有哪些因素會改變陀螺穩定運轉的時間，並分析這些因素，讓我們製作出運轉穩定且持久的陀螺，而且可以應用在生活上達到娛樂及教育上的功能。



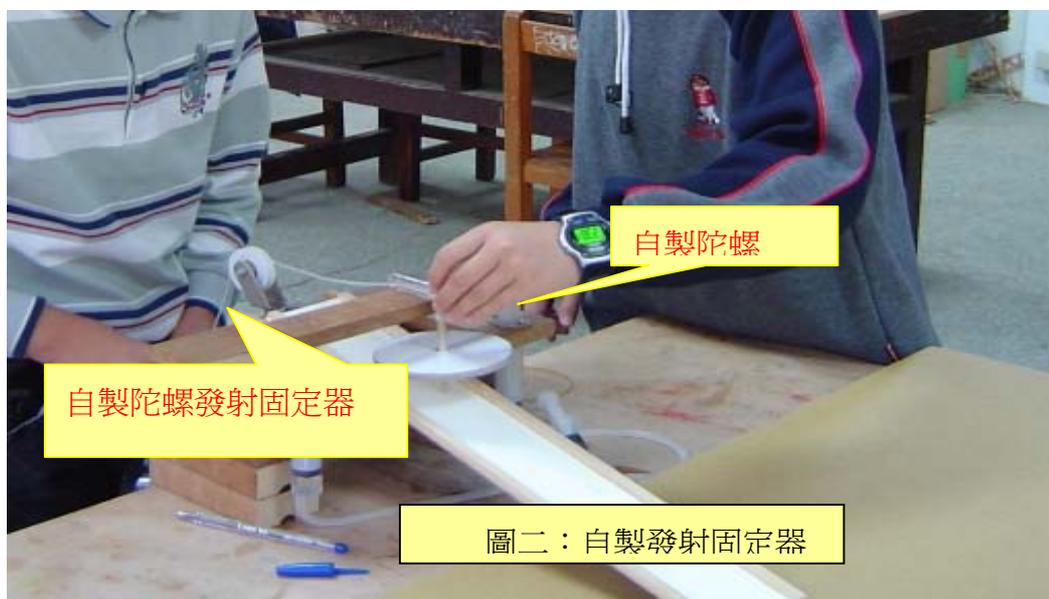
圖一 我們玩的陀螺

參、研究目的

- 一、分析相同拉力對本體距離軸尖不同高度的陀螺之關係？（研究一）
- 二、分析相同拉力對質量分佈不同的陀螺之關係？（研究二）
- 三、分析相同拉力對不同本體大小的陀螺之關係？（研究三）
- 四、分析相同拉力對形狀不同的陀螺之關係？（研究四）
- 五、分析不同的拉力對陀螺的關係？（研究五）
- 六、從陀螺運轉的軌跡及快速拍照結果，分析陀螺旋轉的穩定性。（研究六）
- 七、搜集並比較分析市面上各種陀螺，從陀螺的製作方法、陀螺旋轉的穩定性、陀螺的發射方法及陀螺的競賽方法，研究自製陀螺及發射器的研發推廣的可行性。（研究七）

肆、研究設備及器材

- 一、自製陀螺發射固定器（木板、空針、壓克力管、定滑輪、三路活塞）
- 二、不同重量的水瓶（250 公克、350 公克、450 公克、550 公克、650 公克、750 公克、850 公克、950 公克、1050 公克）
- 三、自製陀螺（厚紙板、木筷、剪刀、帽蓋）
- 四、碼錶
- 五、棉線
- 六、一元硬幣
- 七、複寫紙
- 八、白紙
- 九、直尺





圖三：自製發射固定器的組件

伍、研究過程或方法

首先，我們製作各式的陀螺，每人用手去旋轉各式陀螺，每一種陀螺五次，並記錄其旋轉時間，發現所得結果不規則且陀螺無法控制。原來每個人旋轉陀螺的方法及力量不一樣，所以無法控制陀螺旋轉情形及時間。

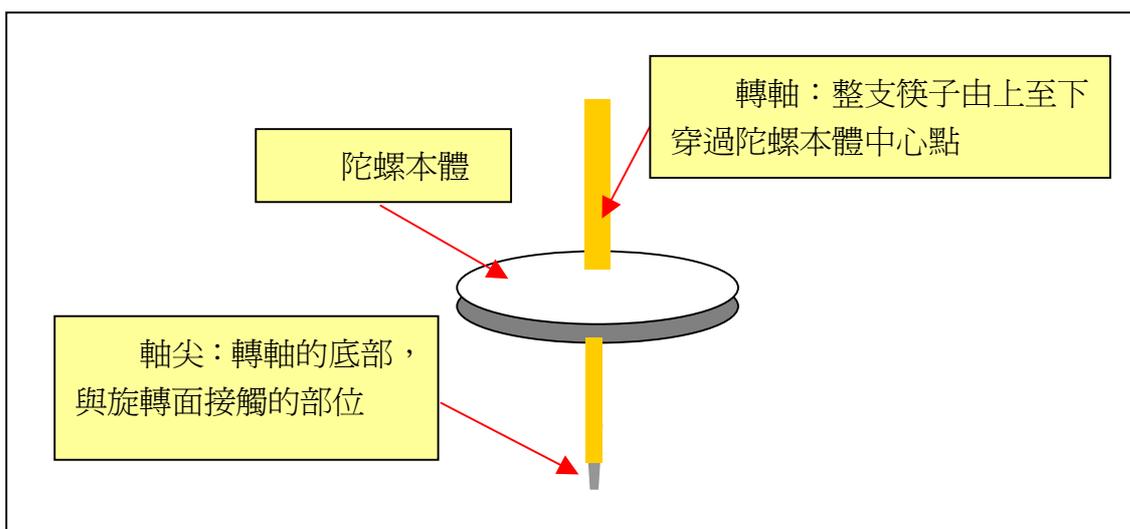
後來，我們發現家中有一利用棉線手拉陀螺，來控制拉力大小。所以我們想到必須製作發射器來控制力量，才能讓陀螺旋轉得以控制。

我們製作第一代發射固定器（如圖四）：利用 C 型夾、木板、沙、定滑輪；發射時發現陀螺常會撞到發射器及無法在一定範圍旋轉，又因不同陀螺而要增加木塊高度，而沙因氣候不一重量會改變；因而又改良製作發射固定器（如圖五）：木板、定滑輪、水瓶重量、斜面、空針。

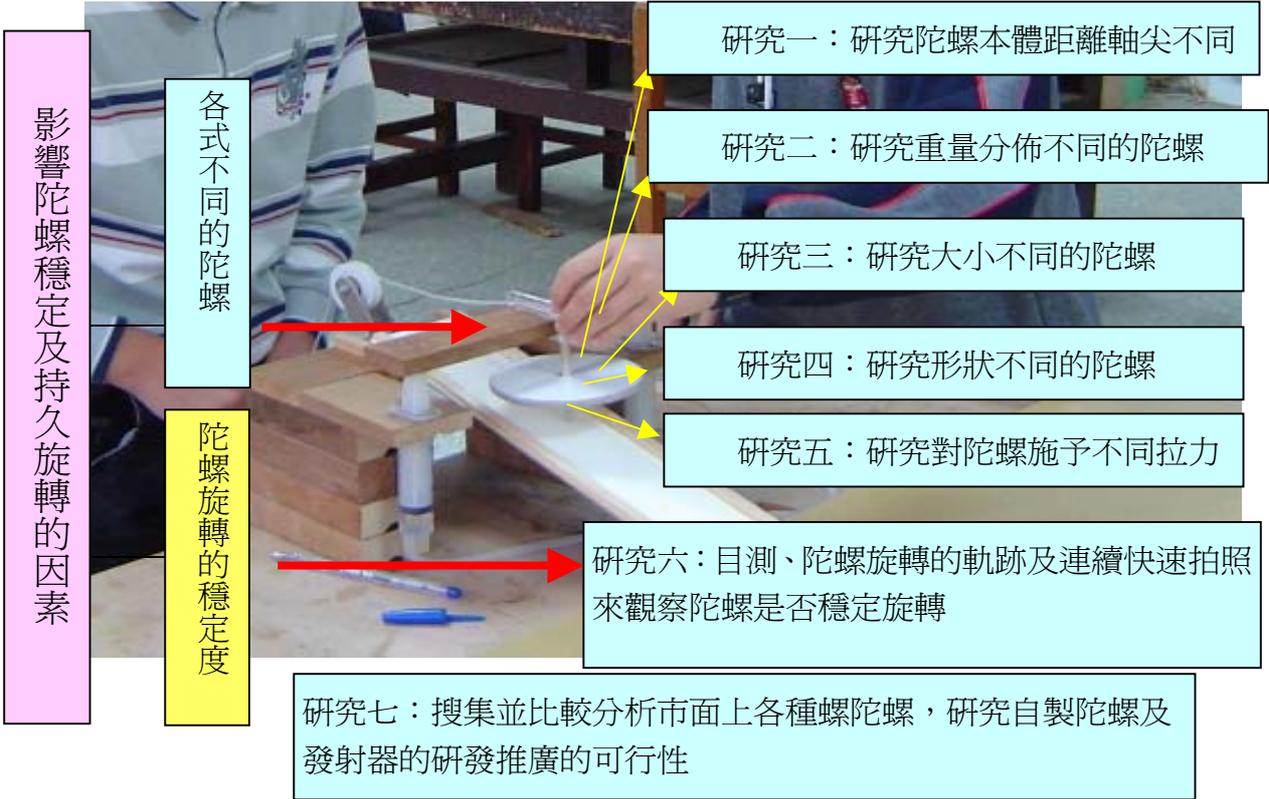


圖四：第一代發射固定器

圖五：改良後的發射固定器



圖六：陀螺各部位的名稱



圖七：研究架構圖

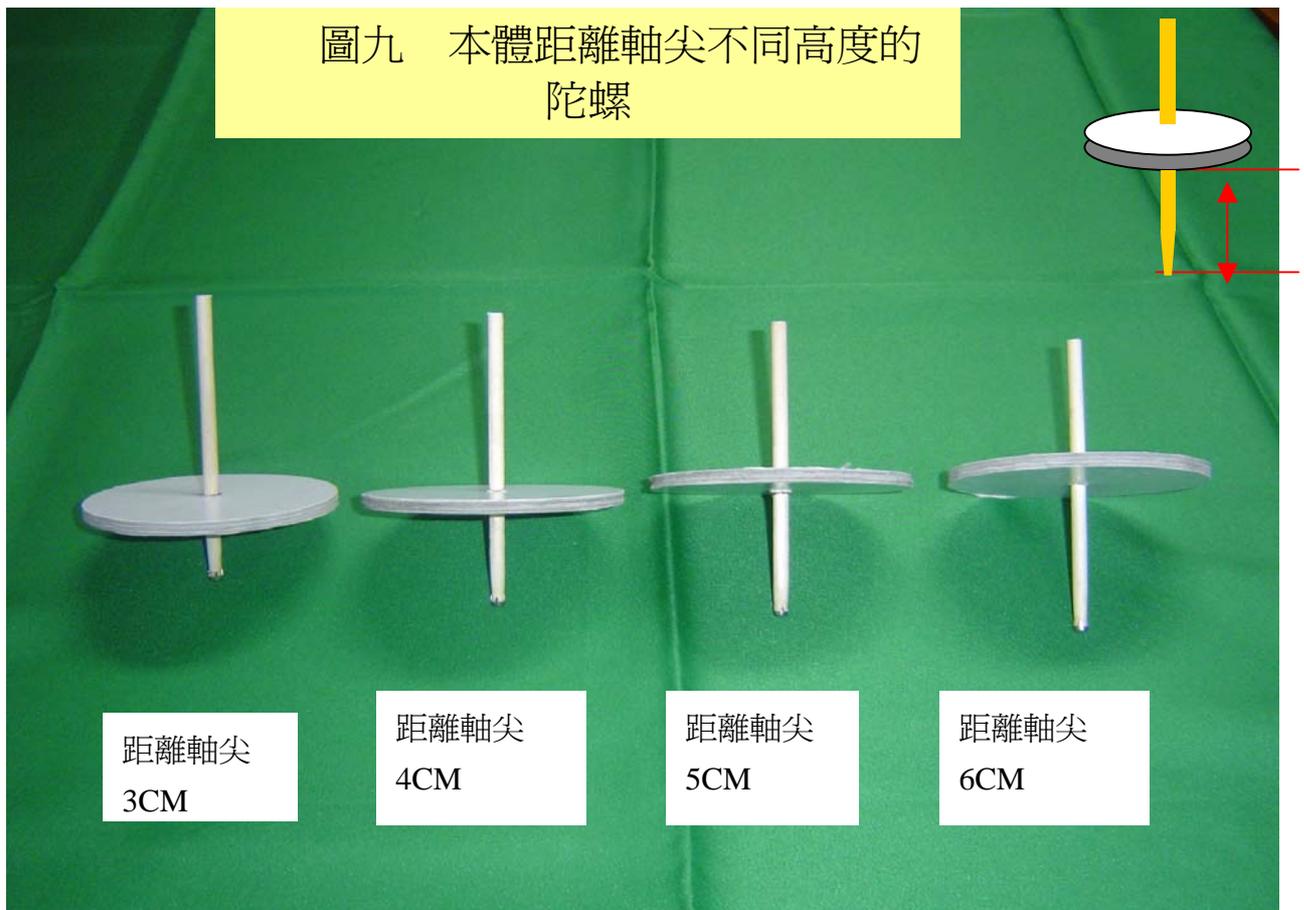


圖八：發射陀螺的程序

陸、研究結果

一、研究一：分析相同拉力與本體距離軸尖不同高度的陀螺之關係

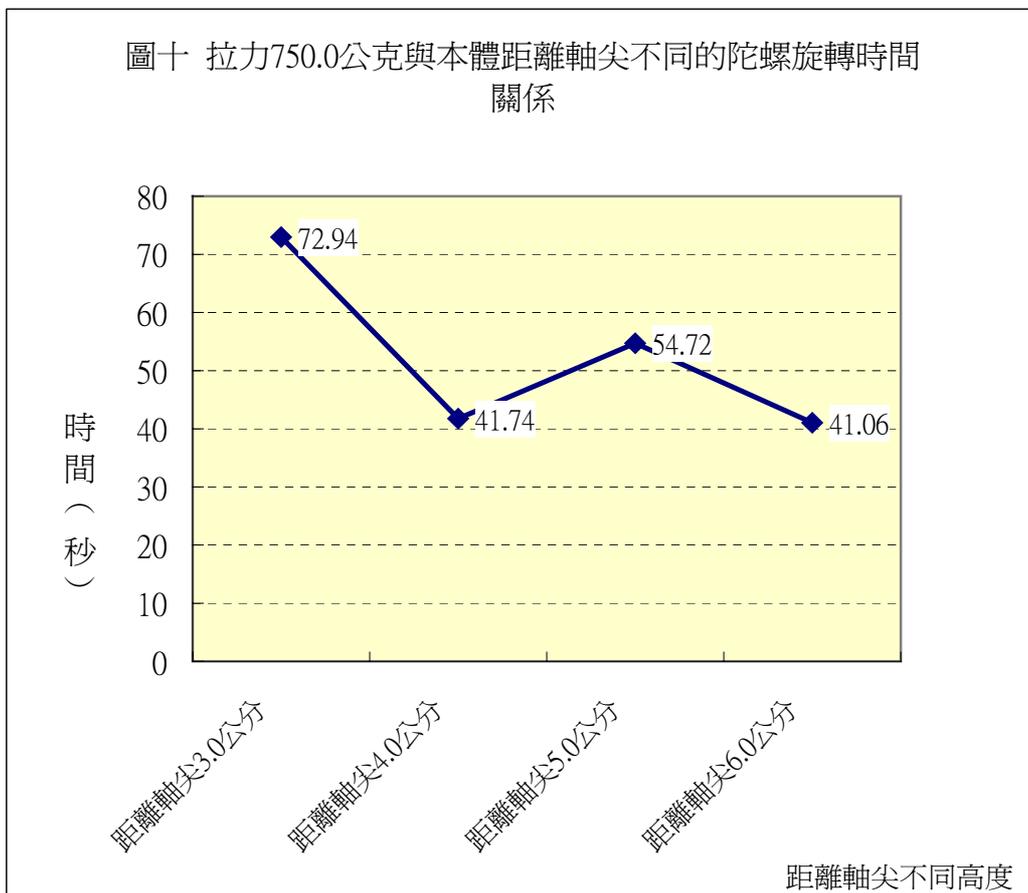
- (一) 直徑 10cm 的圓形紙板 4 個
- (二) 轉軸距離軸尖不同高度的 4 根木筷
- (三) 發射固定器
- (四) 750.0 公克公克的水瓶
- (五) 測量及記錄五次，並求平均值
- (六) 利用 EXCEL 分析相同拉力與本體距離軸尖不同高度陀螺旋轉關係。



表一 拉力 750.0 公克與本體距離軸尖不同的陀螺旋轉時間比較

時間 本體距離軸尖不同	陀螺旋轉 第一次時 間 (秒)	陀螺旋轉 第二次時 間 (秒)	陀螺旋轉 第三次時 間 (秒)	陀螺旋轉 第四次時 間 (秒)	陀螺旋轉 第五次時 間 (秒)	陀螺旋轉 平均值 (秒)
距離軸尖 3.0 公分	79.1	75	70	75	65.6	72.94
距離軸尖 4.0 公分	46.2	40.5	40	42	40	41.74
距離軸尖 5.0 公分	58.8	50.4	52.6	55.4	56.4	54.72
距離軸尖 6.0 公分	38.7	44	43	40.6	39	41.06

說明：1.研究發現，本體與軸尖距離大小和陀螺旋轉時間沒有絕對的關係。
2.經由 EXCEL 分析，發現本體距離軸尖 3cm 的陀螺是旋轉最久而且最穩定。



二、研究二：探討陀螺質量分布不同與陀螺旋轉關係？

- (一) 質量分布不同但總質量相同的陀螺 4 個
- (二) 發射器
- (三) 750.0 公克公克的水瓶
- (四) 測量及記錄五次，並求平均值
- (五) 利用 EXCEL 分析質量分布不同與陀螺旋轉關係。

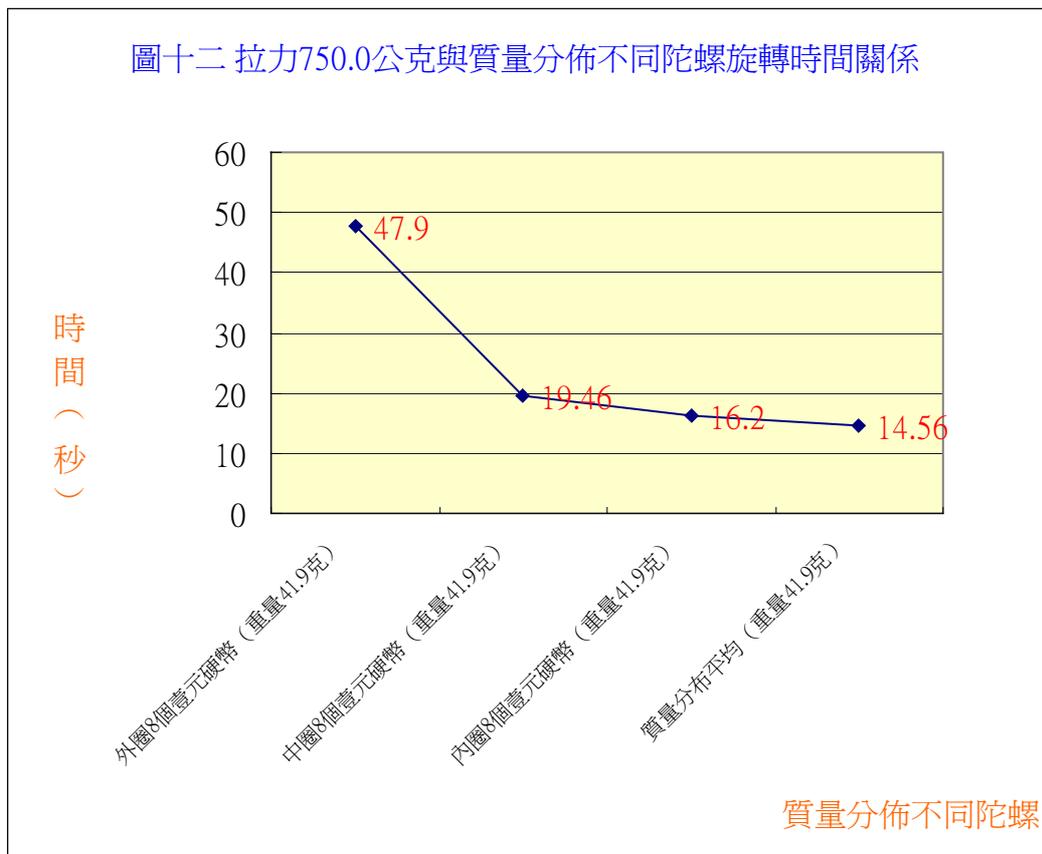


圖十一 質量分布不同的陀螺

表二 拉力 750.0 公克與質量分布不同陀螺旋轉時間比較

質量分布不同範圍	陀螺旋轉第一次時間 (秒)	陀螺旋轉第二次時間 (秒)	陀螺旋轉第三次時間 (秒)	陀螺旋轉第四次時間 (秒)	陀螺旋轉第五次時間 (秒)	陀螺旋轉平均值 (秒)
外圈 8 個壹元硬幣 (重量 41.9 克)	47.3	47.5	42.6	55.3	46.8	47.9
中圈 8 個壹元硬幣 (重量 41.9 克)	15.6	22.4	22.2	19.6	17.5	19.46
內圈 8 個壹元硬幣 (重量 41.9 克)	18.5	10.3	12.8	21.5	17.9	16.2
質量分布平均(重量 41.9 克)	15.3	15.1	13.1	17.3	12	14.56

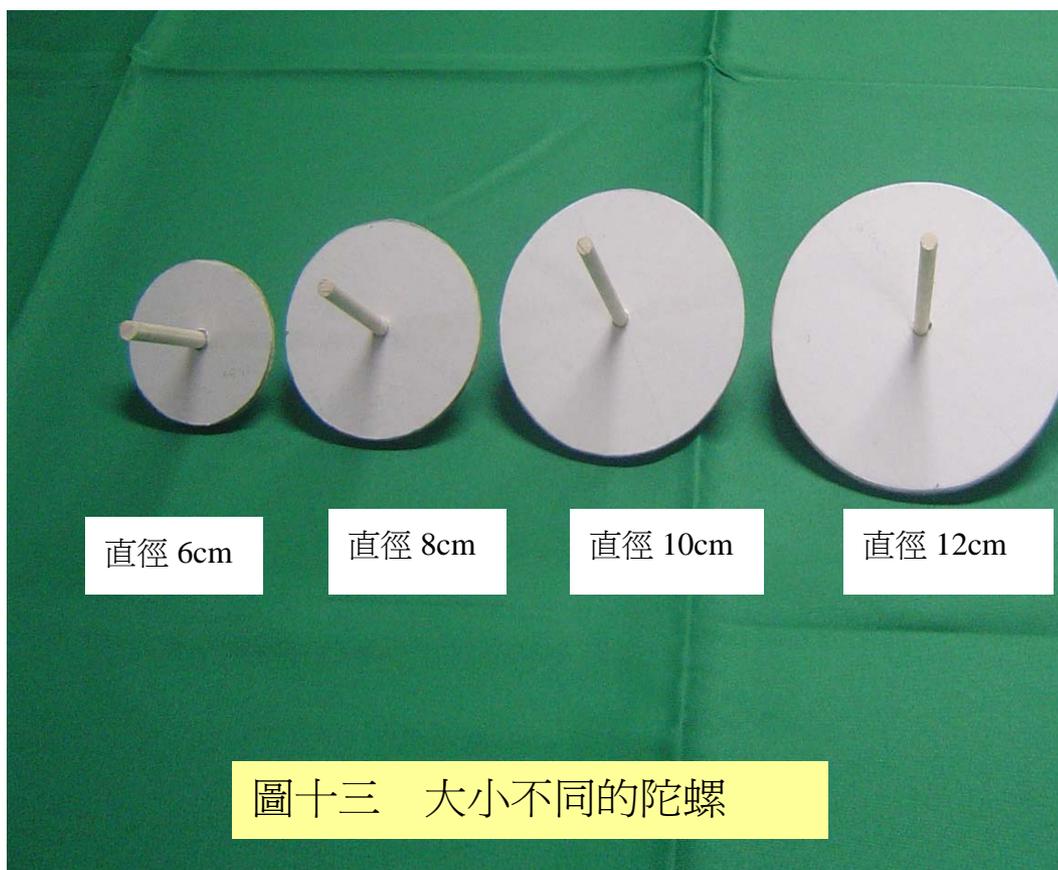
圖十二 拉力750.0公克與質量分佈不同陀螺旋轉時間關係



說明：1.研究發現，質量分布外圈，陀螺旋轉愈久。
2.經由 EXCEL 分析，質量分布外圈，陀螺旋轉愈久。

三、研究三：探討陀螺本體大小與陀螺旋轉關係？

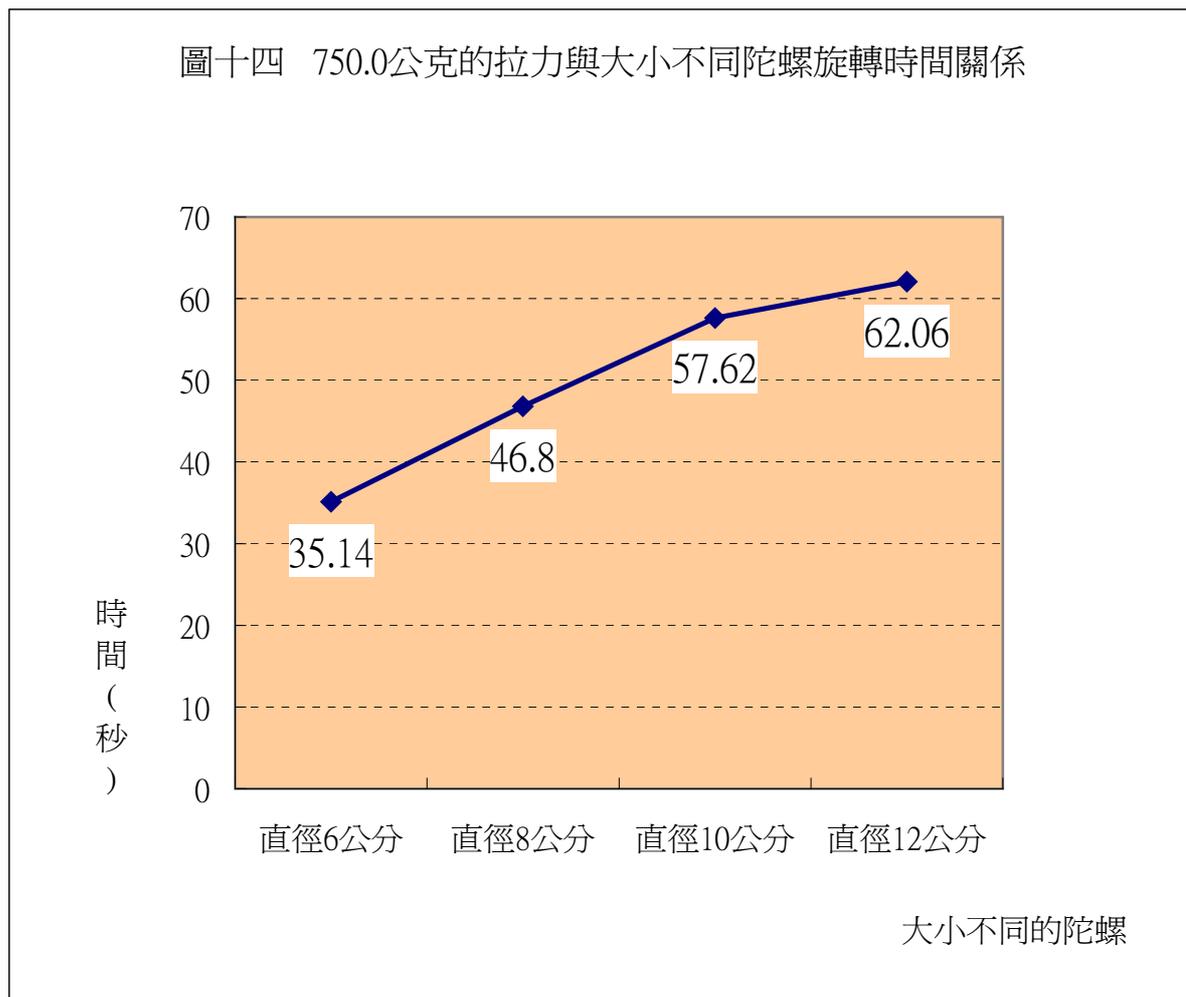
- (一) 直徑 6cm、8cm、10cm、12cm，4 個不同大小的陀螺。
- (二) 發射器
- (三) 750.0 公克公克的水瓶
- (四) 測量及記錄五次，並求平均值
- (五) 利用 EXCEL 分析陀螺本體大小與陀螺旋轉關係。



表三 拉力 750.0 公克與不同大小陀螺本體旋轉時間比較

不同大小陀螺本體	陀螺旋轉第一次時間 (秒)	陀螺旋轉第二次時間 (秒)	陀螺旋轉第三次時間 (秒)	陀螺旋轉第四次時間 (秒)	陀螺旋轉第五次時間 (秒)	陀螺旋轉平均值 (秒)
直徑 6 公分	34.3	38.7	34.8	32.9	35	35.14
直徑 8 公分	47.5	47.4	46.8	45.7	46.6	46.8
直徑 10 公分	59	58.8	57.8	54.7	57.8	57.62
直徑 12 公分	52.1	59.8	69.5	66.5	62.4	62.06

圖十四 750.0公克的拉力與大小不同陀螺旋轉時間關係

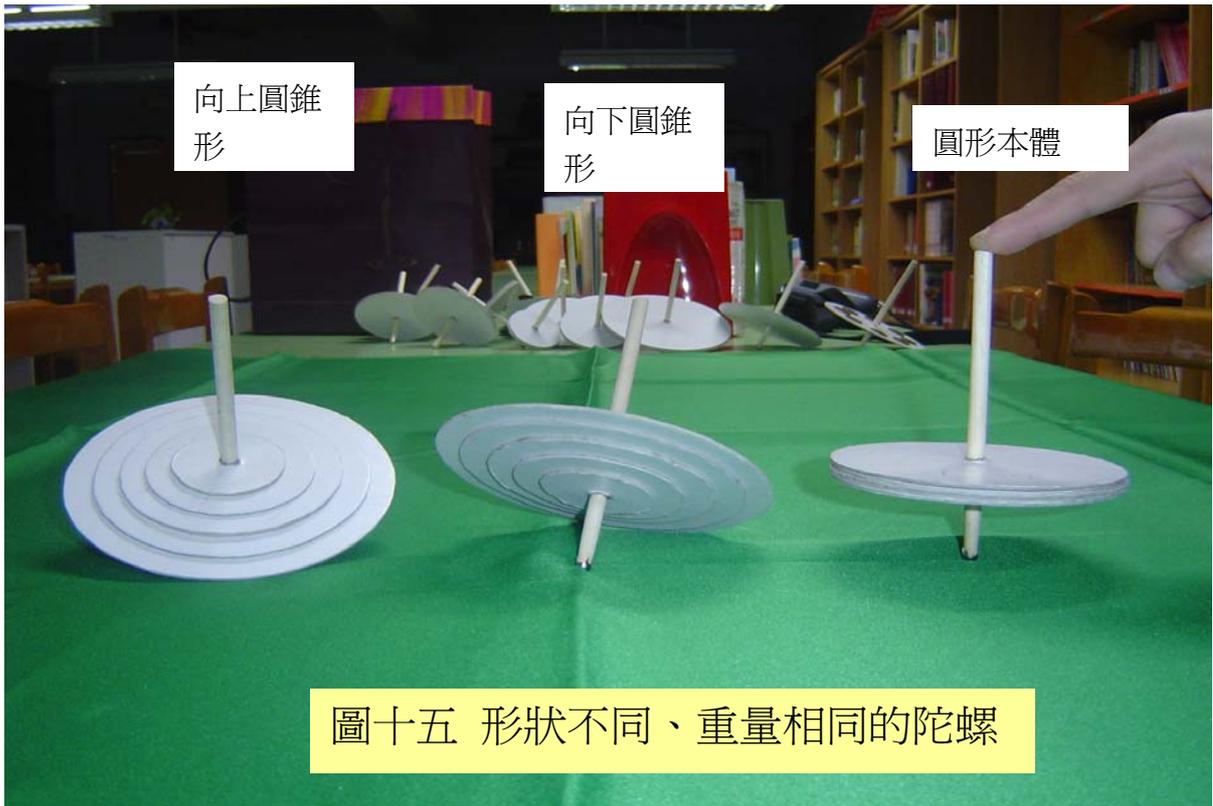


說明：1.研究發現，直徑較大的陀螺旋轉愈久。

2.750.0 公克拉力對直徑 6cm 的陀螺拉力太大有時無法正常發射旋轉，有時會跳動厲害，而跑出旋轉範圍。

四、研究四：分析相同拉力與形狀不同的陀螺之關係？（研究四）

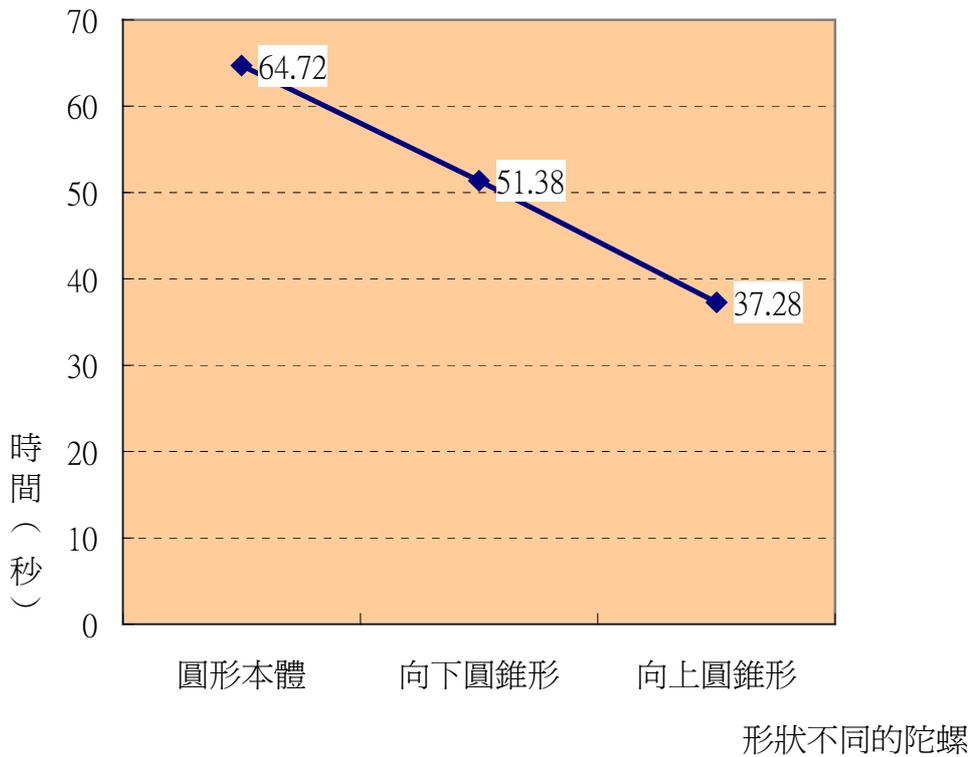
- (一) 形狀不同、重量相同的 3 個陀螺
- (二) 發射器
- (三) 750.0 公克的水瓶
- (四) 測量及記錄五次，並求平均值
- (五) 利用 EXCEL 分析形狀不同與陀螺旋轉關係



表四 拉力 750.0 公克與不同形狀陀螺旋轉時間比較

形狀不同的陀螺	陀螺旋轉第一次時間 (秒)	陀螺旋轉第二次時間 (秒)	陀螺旋轉第三次時間 (秒)	陀螺旋轉第四次時間 (秒)	陀螺旋轉第五次時間 (秒)	陀螺旋轉平均值 (秒)
圓形本體	69.9	65.5	64.1	63.6	60.5	64.72
向下圓錐形	53.8	50	52	51	50.1	51.38
向上圓錐形	33.2	42	37.1	35.5	38.6	37.28

圖十六 拉力750.0公克與不同形狀陀螺旋轉時間關係



說明：1.研究發現，圓形本體陀螺旋轉時間較久。

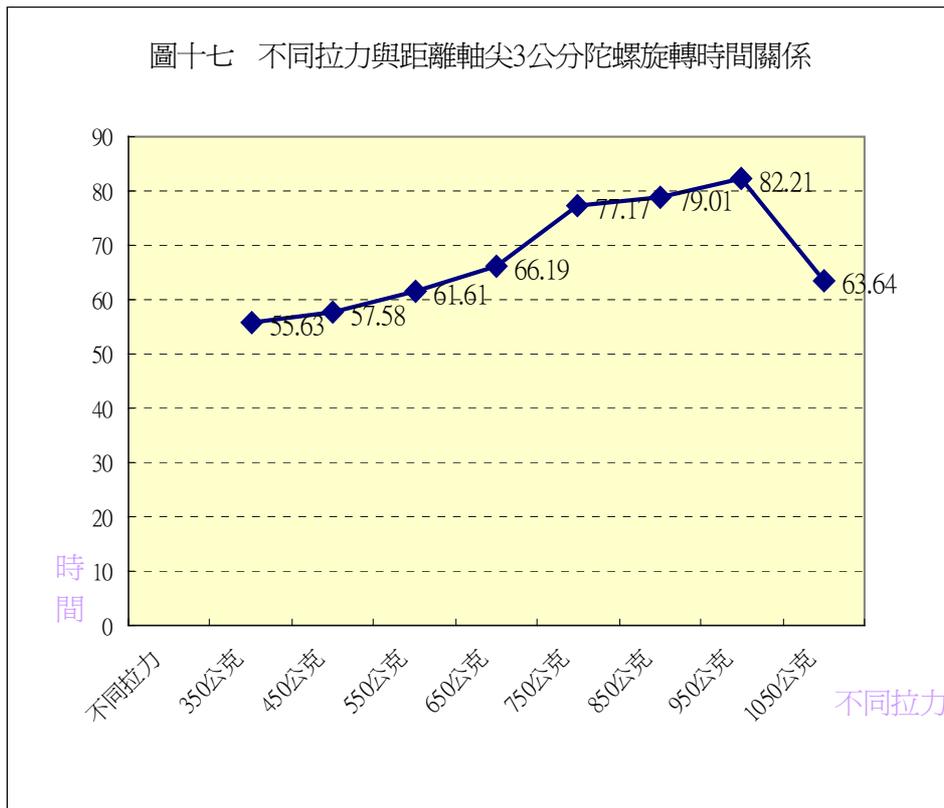
五、研究五：分析不同的拉力與直徑 10 公分且本體距離軸尖 3cm 陀螺旋轉的關係？

- (一) 直徑 10 公分且本體距離軸尖 3cm 的陀螺
- (二) 發射器 500.0 公克、750.0 公克、1000.0 公克的水瓶
- (三) 測量及記錄五次，並求平均值
- (四) 利用 EXCEL 分析不同拉力與直徑 10 公分且本體距離軸尖 3cm 陀螺旋轉的關係



圖十六 不同拉力的水瓶

不同拉力	陀螺旋轉 第一次時 間 (秒)	陀螺旋轉 第二次時 間 (秒)	陀螺旋轉 第三次時 間 (秒)	陀螺旋轉 第四次時 間 (秒)	陀螺旋轉 第五次時 間 (秒)	陀螺旋轉 平均值 (秒)
350 公克	59.88	56.69	54.49	54.41	52.7	55.63
450 公克	60.01	58.87	59.85	56.03	53.16	57.58
550 公克	66	60.84	61.75	59.57	59.88	61.61
650 公克	66.45	67.49	64.89	70.61	61.52	66.19
750 公克	79.46	76.17	78.28	77.54	74.38	77.17
850 公克	78.6	85.06	71.64	80.41	79.33	79.01
950 公克	86.06	89.31	78.38	78.01	79.27	82.21
1050 公克	61.69	61.77	61.38	67.96	65.38	63.64



- 說明：
1. 研究發現，150.0 公克及 250.0 公克的拉力，因拉力太小不易拉動陀螺
 2. 750.0~950.0 公克的拉力對我們製作的陀螺旋轉時間較久。
 3. 1050.0 公克的拉力太大在有限的場地下會碰到障礙物，故影響其旋轉的時間。

六、研究六：從陀螺運轉的軌跡及快速拍照結果，分析陀螺旋轉的穩定性。

我們用眼睛去觀看陀螺旋轉的穩定度，發現有些陀螺如果是穩定旋轉，轉軸左右晃動的角度不大，如果旋轉不穩定，轉軸左右晃動厲害。

在我們製作的陀螺中，經由目測發現大部分的陀螺都呈現穩定的旋轉，只有 2 個陀螺呈現較不穩定的旋轉，就是直徑 6cm、陀螺本體距離軸尖 3cm 的陀螺和直徑 10cm、陀螺本體距離軸尖 6cm 的陀螺，另外找一個穩定的陀螺來對照比較，利用連續快拍及其複寫在紙上的軌跡來分析不穩定陀螺的呈現結果

(一) 器材

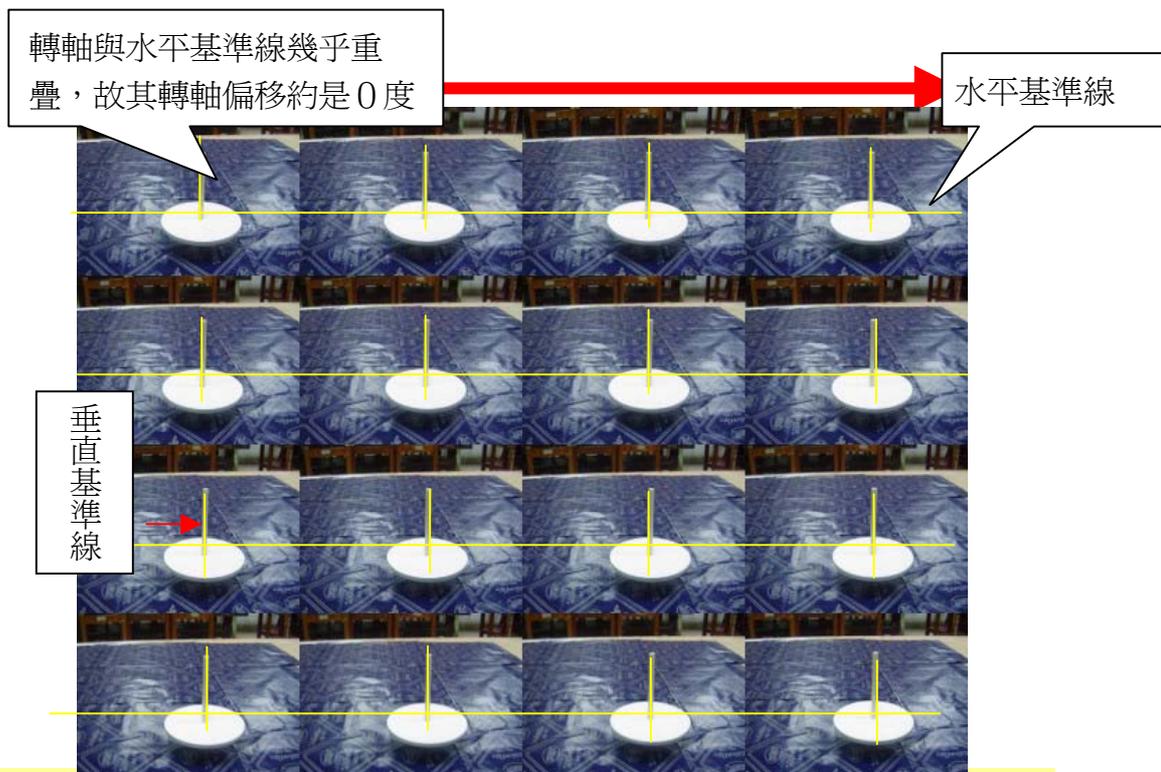
1. 白紙
2. 複寫紙
3. 陀螺

- (1). 直徑 10cm，本體距離軸尖 3cm
 - (2). 直徑 6cm、陀螺本體距離軸尖 3cm 的陀螺。
 - (3). 直徑 10cm、陀螺本體距離軸尖 6cm 的陀螺。
- 4.發射器
- 5.分別利用以上不同的陀螺，用手發射陀螺，陀螺旋轉在複寫紙上留下的軌跡，並利用數位相機多段式拍照(連續 16 張畫面，快門間隔 1/25 秒)，觀察旋轉穩定性。

(二) 直徑 10cm、陀螺本體距離軸尖 3cm

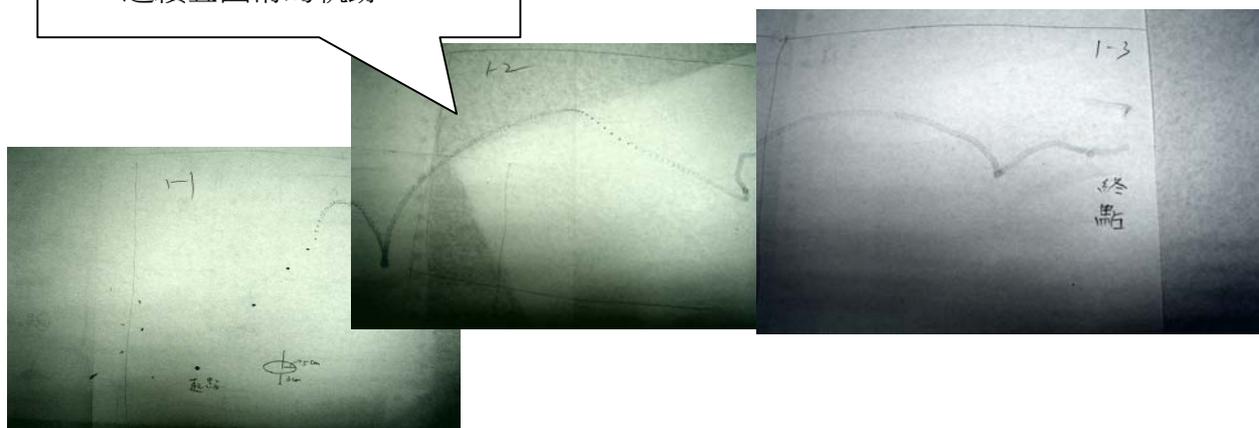
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

圖十八 連續 16 張畫面的出現順序—由左而右逐列而下



圖十九 直徑 10 cm、陀螺本體距離軸尖 3cm 的陀螺在連續 16 張畫面的旋轉情形

連續且圓滑的軌跡

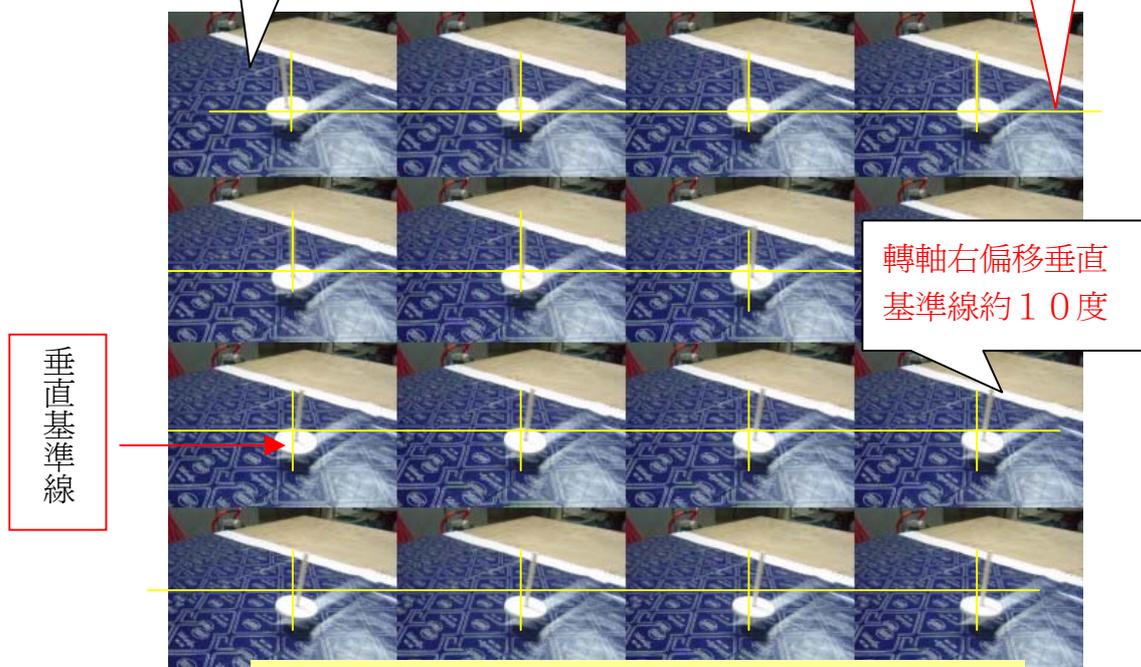


圖二十 直徑 10 cm、陀螺本體距離軸尖 3cm 的陀螺旋轉在複寫紙上的軌跡

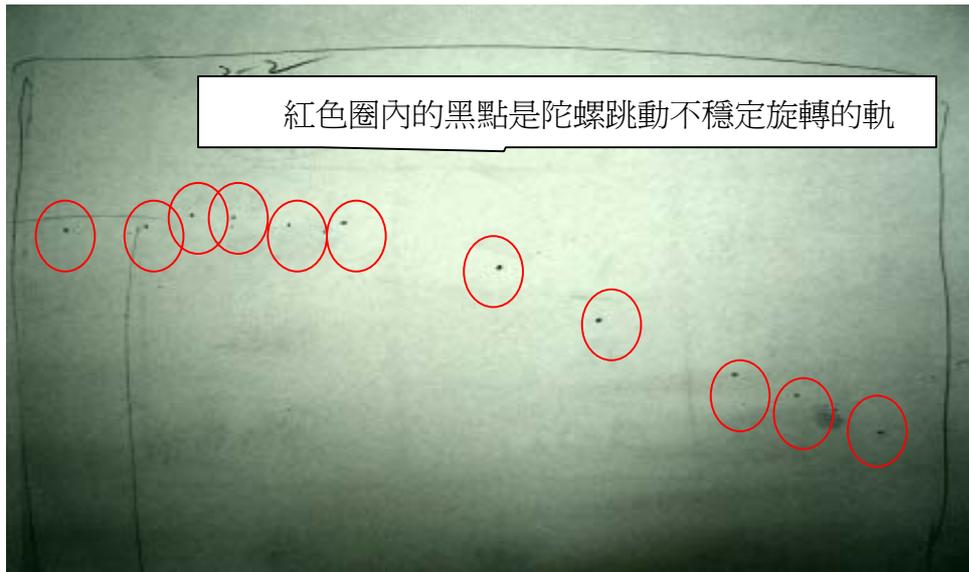
(三) 直徑 6cm、陀螺本體距離軸尖 3cm

轉軸左偏移垂直
基準線約 10 度

水平基準線

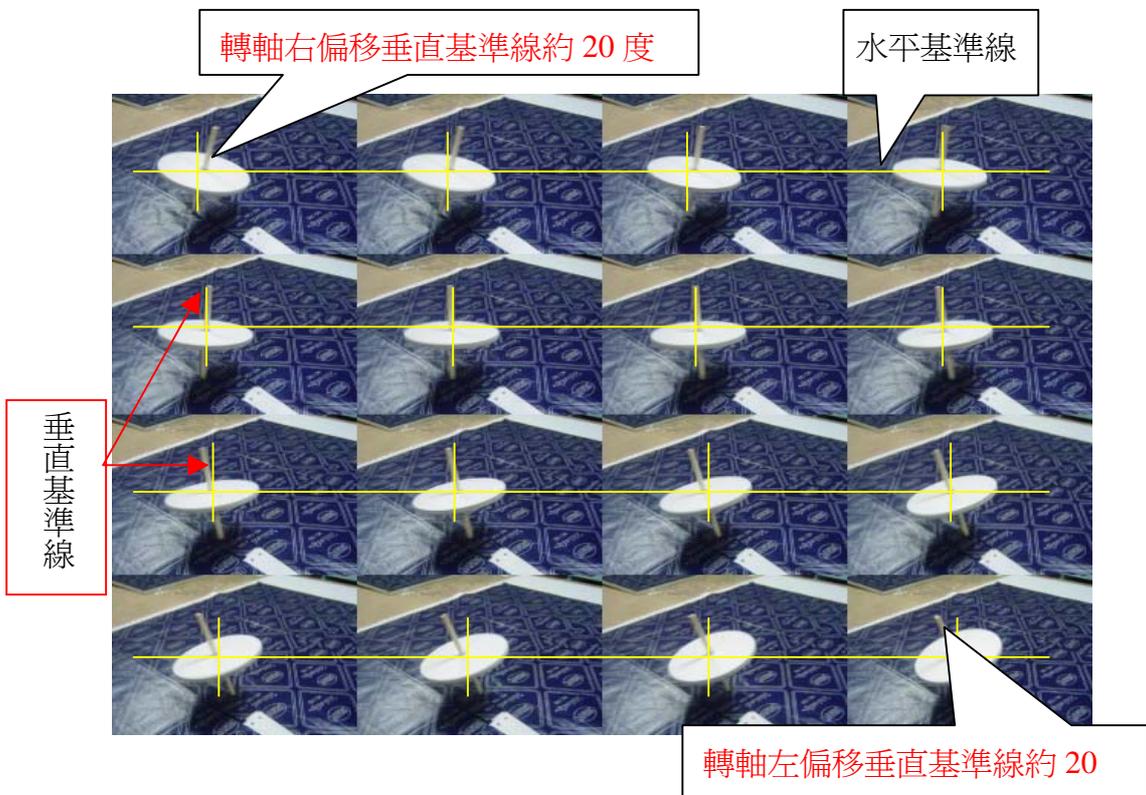


圖二十一 直徑 6cm 陀螺本體距離軸尖 3cm 在連續 16 張畫面的旋轉情形



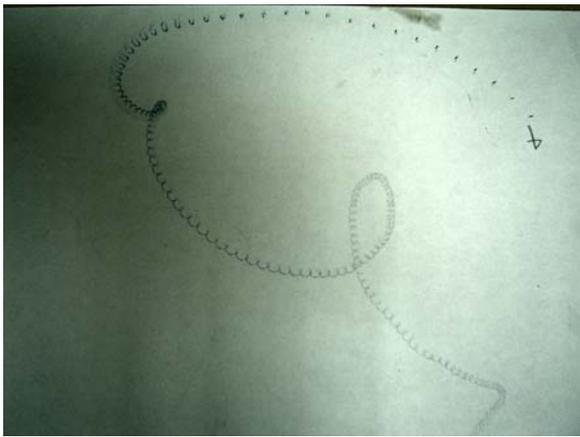
圖二十二 直徑 6 cm、陀螺本體距離軸尖 3cm 的陀螺旋轉在複寫紙上的某一段的軌跡

(四)直徑 10cm、陀螺本體距離軸尖 6cm

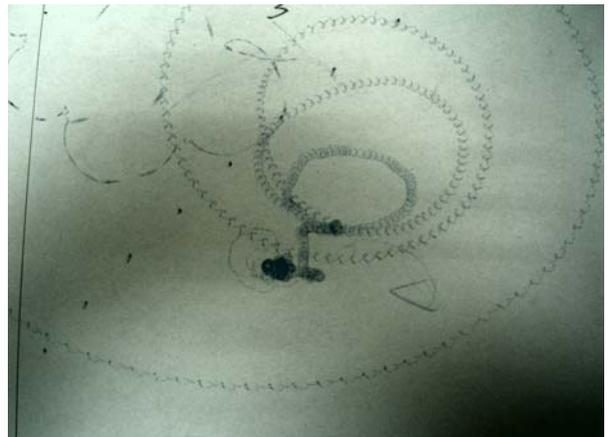


圖二十三 直徑 10 cm、陀螺本體距離軸尖 6 cm 的陀螺在連續 16 張畫面的旋轉情形

(五) 各種不同陀螺旋轉時的軌跡圖



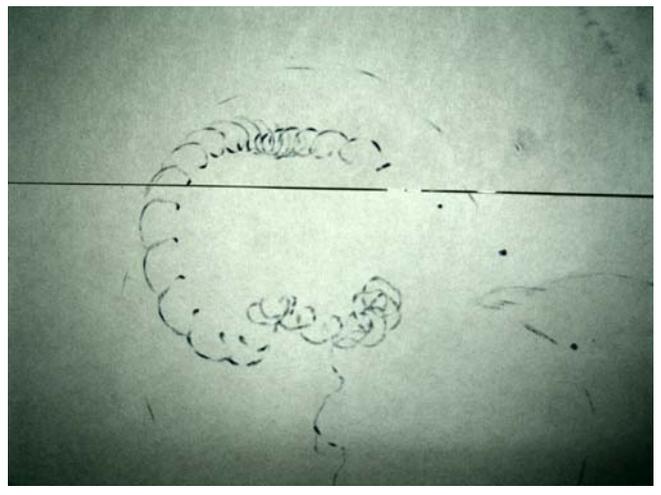
圖二十四 陀螺旋轉時的軌跡圖(一)



圖二十五 各種不同陀螺旋轉時的軌跡圖(二)



圖二十六 陀螺旋轉時的軌跡圖(三)



圖二十七 陀螺旋轉時的軌跡圖(四)

說明：1、陀螺穩定旋轉時在連續 16 張拍下的畫面是轉軸與垂直基準線的夾角幾乎是 0 度，陀螺不穩定旋轉時轉軸垂直基準線的夾角大於 0 度，愈不穩定的陀螺其左右偏移的角度愈大。

2、陀螺穩定旋轉時在複寫紙上的軌跡是連續、圓滑且漂亮的軌跡。陀螺旋轉跳動時所留下的軌跡是間隔的點，間隔越大的表示陀螺跳動越厲害。

3、從圖二十四、圖二十五、二十六及二十七發現陀螺旋轉的軌跡是沒有規

則性的，有時繞著同心圓在局部的範圍旋轉如圖二十五，有時一圈一圈大範圍的旋轉如圖二十四，有時不穩定的跳動旋轉如圖二十七。

4、從圖二十六及圖二十七發現陀螺的旋轉過程中，並非都是一開始不穩定旋轉以後很快就倒下，有時在不穩定後又趨於穩定。

七、研究七：搜集並比較分析市面上各種陀螺，研究自製陀螺及發射器的研發推廣的可行性。

做了以上的各種實驗，我們開始思考本研究研發推廣，應用在生活上達到娛樂及教育功能的可行性。

(一)首先將搜集到的陀螺及自製陀螺依發射方式不同分爲 A、B、C、D、E、F、G、H 八類

表六 各式陀螺分類及圖例說明

類別	A類 	B類 	C類 	D類 
說明	手捻	拉線從陀螺軸尖纏繞	拉線由陀螺本體纏繞，如鞭打陀螺	拉線固定在軸上
類別	E類 	F類 	G類 	H類 
說明	拉線繞在軸上，發射時將拉線抽出	拉線穿入陀螺本體，發射時將拉線抽出	電動發射器	自製紙陀螺及發射器

(二) 從製作技術、材料、穩定度、發射難易度、競賽方法比較自製的陀螺及市面上的陀螺

表七 自製陀螺與市面上陀螺比較表

陀螺 分析項目	自製陀螺及發射器	市面上陀螺
製作技術	1.簡單易學 2.可依需求加以變化 (1) 外型變化—可加工成下圓錐型、上圓錐型或傳統型 (2) 色彩變化—可在陀螺本體上色成彩色陀螺 (3) 功能變化— a·防守性陀螺—加大陀螺本體及降低陀螺本體在轉軸上的位置 b·攻擊性陀螺—本體做成正方形陀螺。	專業技術及設備
材料	紙板、筷子可廢物利用，取材容易	1.塑膠如 A 類 2.木材如 B 類、C 類、D 類、E 類 3.金屬及塑膠等如 F 類、G 類※加工及取材不易
穩定度	佳，比 A 類及 D 類陀螺的穩定性及持久性更好	佳
發射難易度	1.比 B 類、C 類容易發射	1.F 類、G 類為現代陀螺容易發射 2.B 類、C 類為傳統陀螺，須經過練習才能將陀螺發射成功
競賽方法	1.輪流發射，利用碼錶計時誰發射得陀螺旋轉的最久 2.多人同時在空間大的場地發射，比賽誰的陀螺旋轉得最久 3.多人同時在有限空間(如戰鬥陀螺盤)發射，可設計防守型或攻擊型的陀螺，看誰的陀螺旋轉最久，就是最後	1.輪流發射，利用碼錶計時誰發射得陀螺旋轉的最久 2.多人同時在空間大的場地發射，比賽誰的陀螺旋轉得最久 3.B 類及 C 類皆須在空間大的場地來發射，A 類、D 類、E 類、F 類、G 類可以多人同時在有限空間(如戰鬥陀

	贏家。（如圖二十八）	螺盤）發射，看誰的陀螺旋轉最久，至於有攻擊型的陀螺，僅可選F類的戰鬥陀螺。
--	------------	---------------------------------------



圖二十八 自製陀螺在戰鬥陀螺盤發射旋轉情形

柒、討論

我們根據實驗進行中所遭遇的一些情況，採用的解決方法，及最後的研究結果，討論如下：

一、利用本發射器成功發射陀螺，必須注意以下事項：

- 1.發射台的高度與定滑輪的高度要一樣。
- 2.陀螺拉線的方向要與陀螺本體平行，不可以過低或過高。
- 3.陀螺要發射時須放置好，就是平行於桌面。
- 4.陀螺所需的拉力與陀螺的重量有關，大陀螺（較重）陀螺需用較大的的拉力

二、我們發現利用本發射器使陀螺發射成功的條件，也是我們在玩手轉陀螺時成功發射及穩定旋轉的條件。

捌、結論

- 一、陀螺質量平均、本體重心愈低、本體越重（越大），在可以施力使其轉動下，旋轉的時間最爲持久，而且穩定性最高。
- 二、陀螺質量分布不均勻時，以質量加在最外圍的陀螺在可以施力使其轉動下，旋轉的時間最爲持久，而且穩定性最高。
- 三、除了目測觀察陀螺轉軸偏移的情形來判斷陀螺旋轉的穩定性外，利用連續 16 張拍照的結果及複寫下的軌跡也可以更清楚地看出陀螺是否穩定旋轉。
- 四、從利用自製發射器進行實驗過程中，有許多失敗的經驗，如一發射出去，陀螺就傾倒；有時陀螺就飛跳出去，碰到障礙物。從玩自製的陀螺與市面上的陀螺發現需要寬濶的場地，陀螺才能順利旋轉。
- 五、自製陀螺製作簡單又可依需求加以變化、創新，發射器拉力的選擇及發射台的控制等，可從玩中學習到科學概念，都是非常有教育意義；而且又可經由比賽達到娛樂效果，證明本研究有推廣的價值。

玖、參考資料及其他

- 一、物理傳奇：美妙的聲 益智工房出版 郭治編著 p65 2001 年
- 二、攜手玩科學 台北市立兒童育樂中心編 p66~p67 2000 年
- 三、牛頓科學研習百科：物理 牛頓出版 p27 1993 年
- 四、自然科學彩色辭典 4--物理化學 華視出版社 p30~31 1987 年
- 五、觀念物理 I：牛頓運動定律—動量 天下出版社 p86~93 2003 年
- 六、觀念物理 II：轉動力學—萬有引力 天下出版社 p23~P38 p52~60 2003 年

拾、後續研究方向

一、改進發射器

- (一) 以適合較大型的陀螺
- (二) 可彈性調整底座重量的發射器，以適合較大的拉力
- (三) 改進簡易快速的纏線及陀螺定位方法，以增加成功發射陀螺的機率

二、是否可從陀螺旋轉的軌跡研究陀螺的運動方式？

評語

080807 國小組生活與應用科學科 第二名

Ready set go！轉，轉，轉

本作品製作一陀螺發射器與不同型式的陀螺，來研究陀螺的穩定性與質量分布的關聯，取材簡易但方法嚴謹，符合科學與創意精神，且饒富趣味，為一優良作品故推薦為第二名。