

# 中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

## 國中-物理科

科 別：物 理 科

組 別：國 中 組

作品名稱：魔力？摩力！----我的陀螺會倒立

關 鍵 詞：陀螺、摩擦力、重心偏轉角度

編 號：030107

---

**學校名稱：**


臺中市立居仁國民中學

**作者姓名：**

張孔博、石庭宇、呂柏漢、黃濔玢

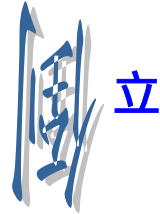
**指導老師：**

蔡明致、謝丁財



# 魔力？摩力！

---我的陀螺會



## 壹、摘要

我們從網路上發現一種很有趣的陀螺，這種陀螺旋轉一段時間後，會快速翻轉過來並倒立旋轉。因此我們分成三部份來分析及探討其原理：一、對原型陀螺的基本物理性質分析 二、自製陀螺模型模擬分析陀螺倒立的原理 三、以自製倒立陀螺模型驗證倒轉陀螺理論。我們利用市面上賣的倒轉陀螺、乒乓球、黏土和馬達來進行下列實驗。第一，將買來的原型陀螺割開，並分析其重心位置、上下比例等構造。第二，用乒乓球和黏土模擬原型陀螺，改變其上下比例、重量、開口大小和中間段位置來分析陀螺的各種特性。第三，將乒乓球製成的原型陀螺，放置在馬達上，減少底部之摩擦力以便驗證上述結果。最後發現陀螺的倒轉和其重心偏移的角度有關。分析的結果顯示：陀螺重心偏下方，所以倒轉後，重心移到上面，會使重心到陀螺旋轉支點的連線與中心線的夾角角度變小，因此倒立的陀螺晃動會比較小，比較穩定；而陀螺正轉時，因重心到支點的連線與中心線的夾角角度較大，造成陀螺旋轉時的晃動也大，因此產生動摩擦力的時間也較長，這正是推動陀螺翻轉的力量來源。而倒立後，重心到支點的角度較小，不易晃動所以陀螺自然就翻轉過來了。

## 貳、研究動機

我們在網路上發現一種造型特殊的陀螺，將轉軸向上用正常陀螺的方法旋轉；這種陀螺在旋轉一段時間之後，會突然的倒立，非常有趣，所以我們想研究它的倒轉原理和會影響陀螺倒立的變因。

## 參、研究目的

- 一、對原型陀螺的基本物理性質分析。
- 二、自製陀螺模型模擬分析陀螺倒立的原理
- 三、以自製倒立陀螺模型驗證陀螺轉倒理論

## 肆、實驗器材

倒轉陀螺、尺、鐵絲、線、粗鉛線、乒乓球、黏土、馬達、電池、電線、齒輪、鋼片、變電器、線鋸、砂紙、剪刀、馬錶

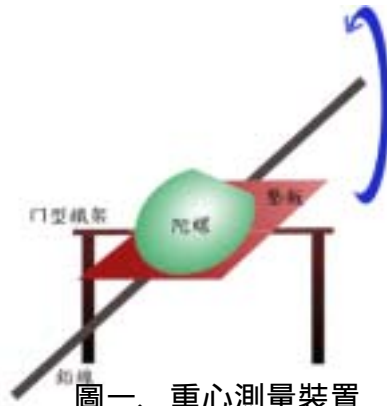
## 伍、研究方法

### 一、對原型陀螺的基本性質分析：

測量市面上賣的陀螺之重心，將陀螺切開以便了解。並探討軸心的有無對陀螺有何影響。

1. 利用電動線鋸將市面上賣的陀螺切割成兩半，並用砂紙磨平，測量陀螺的基本性質。
2. 用尺和線，測量割開後的陀螺的各種尺寸。如圖五。
3. 測量陀螺重心：用粗鐵絲製成支架，如圖一。用一條粗的鉛線，量出重心垂直放在支架上。並在粗鉛線的重心上黏一片墊板，以便放置陀螺。接著，將切成一半的陀螺放在墊板上測其重心。調整陀螺位置，使整個鉛線保持平衡。陀螺橫放和直放各測一次，

則鐵架上的橫鐵絲對在陀螺上的二條垂線，即為重心。



圖一、重心測量裝置

## 二、自製陀螺模型模擬分析陀螺倒立的原理：

### (一) 陀螺重量分布比例對倒立時間的影響

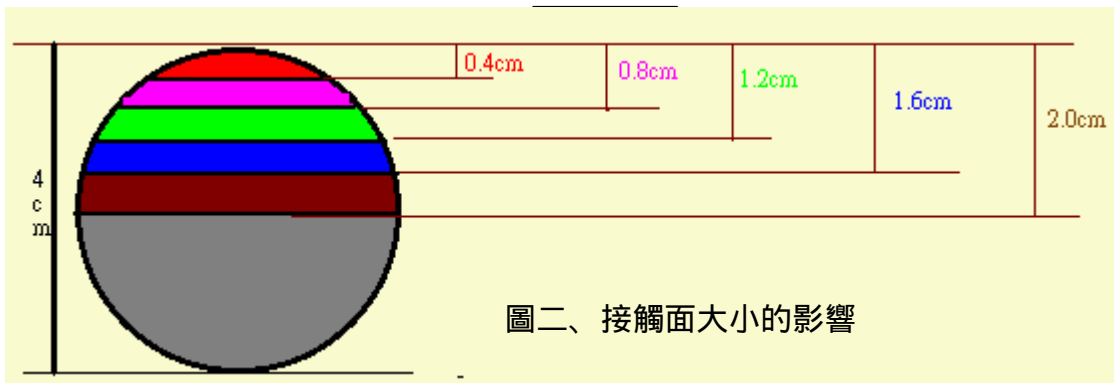
1. 將 4.0 公分的乒乓球沿 3.6 公分割一圈。
2. 將 6 克之黏土分成 1:1 ; 1:2 ; 1:3 ; 2:1 ; 2:3 ; 3:1 ; 3:2 ; 1:0 ; 0:1 (前項為上圈、後項為下圈)。
3. 以陀螺旋轉器使其旋轉，測量其反轉所需時間並觀察其翻轉後的穩定度。

### (二) 黏土總重量對倒立時間的影響

1. 將 4.0 公分的乒乓球沿 3.6 公分割一圈。
2. 做 3 g , 6 g , 9 g , 12 g , 15 g 的黏土，上下比則照實驗(一)的最佳比例。
3. 以陀螺旋轉器使其旋轉，測量其反轉所需時間並觀察其翻轉後的穩定度。

### (三) 軸心的接觸面積大小對陀螺倒立時間的影響

陀螺規格：黏土 6 克，中央 3.6 克，底部 2.4 克，球直徑 4 公分 由上往下切的高度分別是 0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 公分及未切割之陀螺。如圖二。

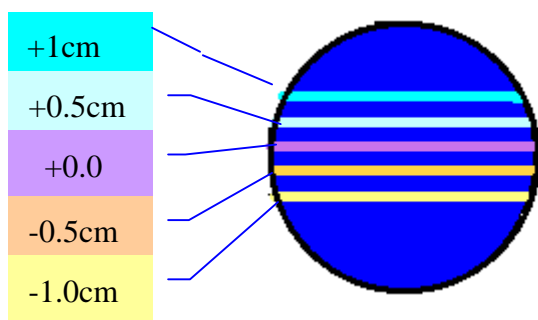


圖二、接觸面大小的影響

以馬達轉動陀螺 2 秒後放開，使陀螺自轉，測量-放開後到陀螺翻轉所需的時間，比較各種開口大小陀螺翻轉的難易。

### (四) 重心位置對陀螺倒立時間的影響

陀螺規格：黏土 6 克、中央 3.6 克、底部 2.4 克，離球中線的高度分別為 1.0、0.5、0、-0.5、-1 公分。如圖三。



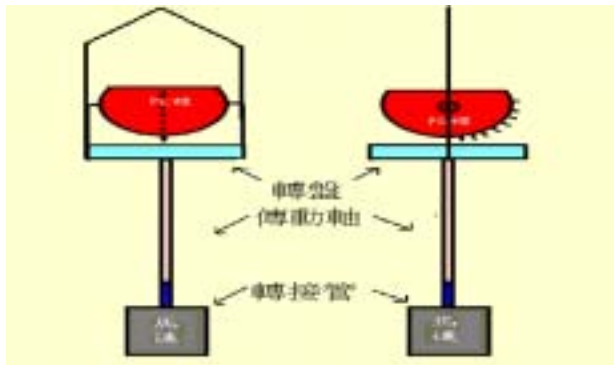
圖三、重心位置的影響

製作上述 5 種陀螺以馬達轉動陀螺 2 秒後放開，使其自轉，測量-放開後到陀螺翻轉所需的時間，比較各種不同重心陀螺翻轉的難易。

### 三、以自製倒立陀螺模型驗證倒陀螺轉理論：

#### (一) 初始偏轉角度對陀螺的影響：

1. 使用乒乓球、細鐵條、四驅車車輪和馬達，了解轉軸初偏轉角度對陀螺倒立的影響。
2. 取一黏土重六克，上下比為 3:2 之原型陀螺，取其垂直於球心與球底直線之直徑交於球表面二點，並鑽孔之，再用口形鐵線穿過，鐵線兩端繫於馬達延長的軸心上。取一線繫於陀螺不和口形鐵線所成的平面通過球表面任意點之表面。如下圖四
3. 利用線的拉力，測量陀螺初始旋轉的軸心偏轉對其倒立的影響。



圖四、自製倒立陀螺旋轉模型

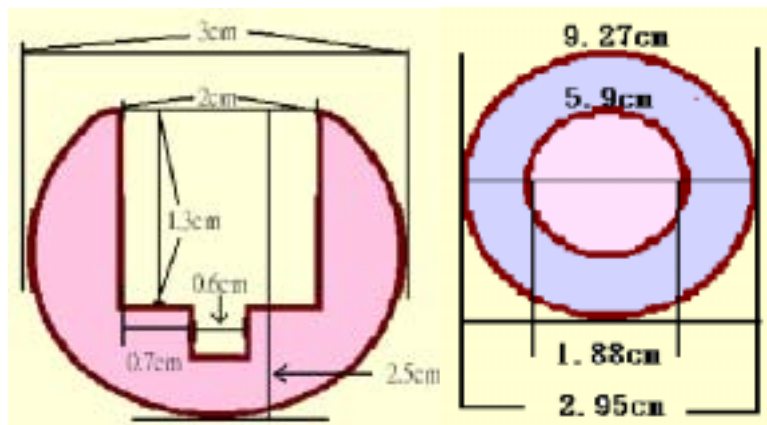
#### (二) 重心偏移對陀螺倒轉的影響：

- 一、取一黏土重六克，上下比 3:2 之原型陀螺，取其垂直於球心與球底的直線交於球表面兩點並鑽孔之，再用口型鐵線穿過。
- 二、觀察其正轉和倒轉開口邊緣半透明部分的大小表示其穩定度。

## 伍、實驗結果

### 一、原型陀螺的基本性質分析：

1. 測量出陀螺的各部位數據，如圖五：



圖五、陀螺的物理性質分析

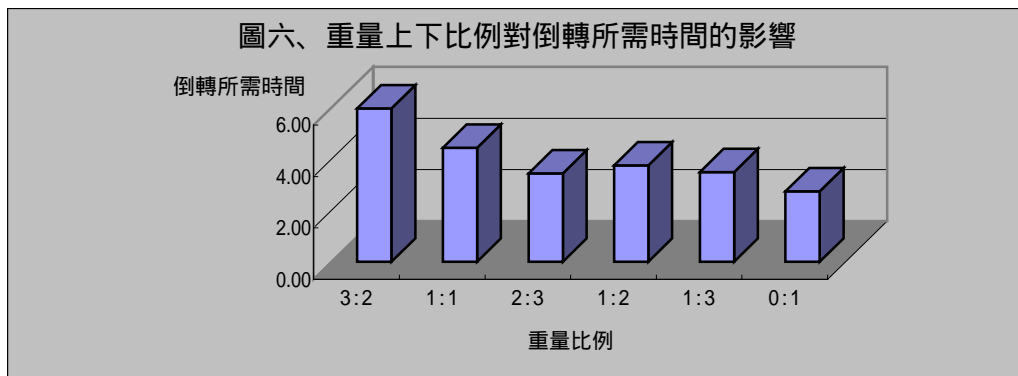
2. 將切一半的陀螺平放在桌面，可發現陀螺的底部較傾斜，測量重心位置，可發現，從陀螺頂端到重心和從重心到陀螺底部的的位置比約為 14:11。
3. 陀螺轉軸頂端為一圓面。
4. 陀螺重量分布在底部和陀螺四周，陀螺的中央幾乎沒有什麼重量。
5. 陀螺表面並非一個球面。
6. 要使陀螺翻轉需旋轉到一定速度才能翻轉，但太小力和太大力都很難倒轉。

7. 如果將陀螺上的轉軸拔掉，陀螺亦能倒轉，而且比裝有轉軸的陀螺倒轉所需的時間更短。但因轉軸被拔掉，因此手較難施力於陀螺。

## 二、自製陀螺模型模擬分析陀螺倒立的原理：

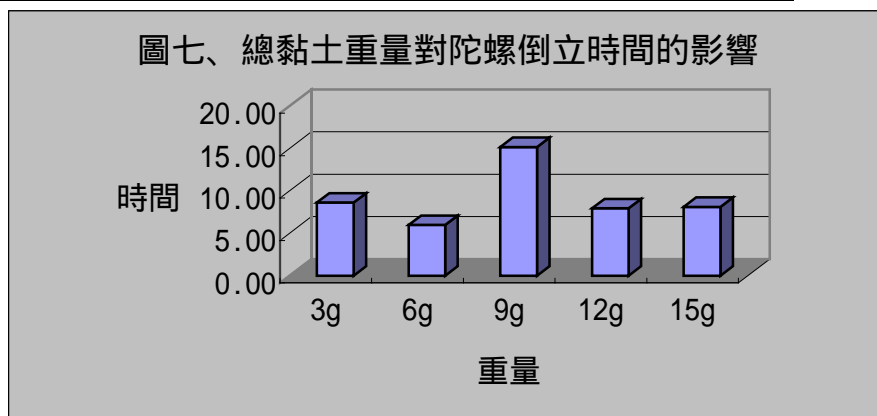
### (一) 陀螺重量分布比例對倒立時間的影響：

| 表一、黏土中間和下面的上下比 |     |     |     | 單位:秒 |      |      |      |      |      |
|----------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|                | 1:0 | 3:1 | 2:1 | 3:2  | 1:1  | 2:3  | 1:2  | 1:3  | 0:1  |
| 第一次            | 不倒立 | 不倒立 | 不倒立 | 6.56 | 4.58 | 3.87 | 4.36 | 3.82 | 3.05 |
| 第二次            |     |     |     | 6.16 | 4.47 | 3.47 | 4.01 | 3.89 | 2.43 |
| 第三次            |     |     |     | 6.21 | 4.31 | 3.08 | 3.51 | 3.19 | 2.21 |
| 第四次            |     |     |     | 5.54 | 4.64 | 3.51 | 3.41 | 3.26 | 2.96 |
| 第五次            |     |     |     | 5.40 | 4.21 | 3.26 | 3.45 | 3.31 | 3.05 |
| 平均             |     |     |     | 5.97 | 4.44 | 3.44 | 3.75 | 3.49 | 2.74 |



### (二) 黏土總重量的影響對倒立時間的影響：

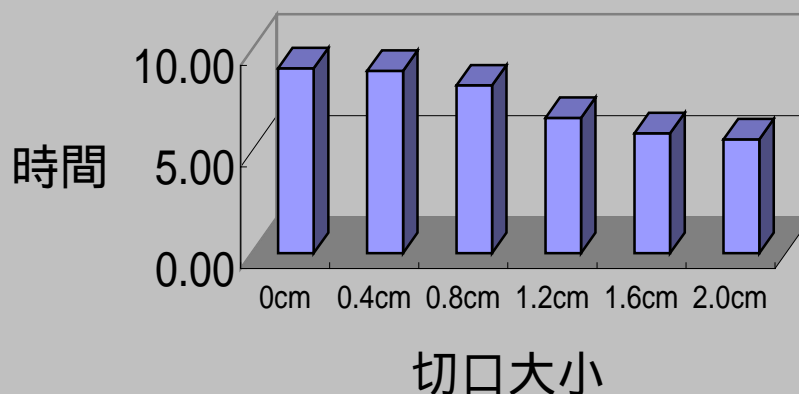
| 表二、黏土質量 |      | 單位:秒 |       |       |      |
|---------|------|------|-------|-------|------|
|         | 3g   | 6g   | 9g    | 12g   | 15g  |
| 第一次     | 8.41 | 6.56 | 11.86 | 7.77  | 7.65 |
| 第二次     | 7.77 | 6.16 | 17.74 | 8.24  | 7.21 |
| 第三次     | 8.55 | 6.21 | 16.89 | 10.12 | 7.79 |
| 第四次     | 8.46 | 5.54 | 13.75 | 7.52  | 8.34 |
| 第五次     | 9.92 | 5.40 | 15.65 | 6.05  | 9.55 |
| 平均      | 8.62 | 5.97 | 15.18 | 7.94  | 8.11 |



(三) 切口大小對陀螺倒立時間的影響

| 表三、乒乓球之開口大小對倒立所需時間的影響 |      |       |       |       |       | 單位:秒  |
|-----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | 0cm  | 0.4cm | 0.8cm | 1.2cm | 1.6cm | 2.0cm |
| 第一次                   | 9.11 | 9.56  | 7.74  | 5.33  | 6.57  | 6.04  |
| 第二次                   | 9.66 | 9.16  | 8.57  | 6.16  | 5.33  | 5.88  |
| 第三次                   | 9.72 | 9.21  | 8.73  | 6.80  | 5.87  | 5.08  |
| 第四次                   | 8.73 | 8.54  | 7.44  | 8.15  | 6.21  | 5.07  |
| 第五次                   | 8.26 | 8.40  | 8.79  | 6.83  | 5.54  | 5.93  |
| 平均                    | 9.10 | 8.97  | 8.25  | 6.65  | 5.90  | 5.60  |

圖八、切口大小對陀螺倒立時間的影響

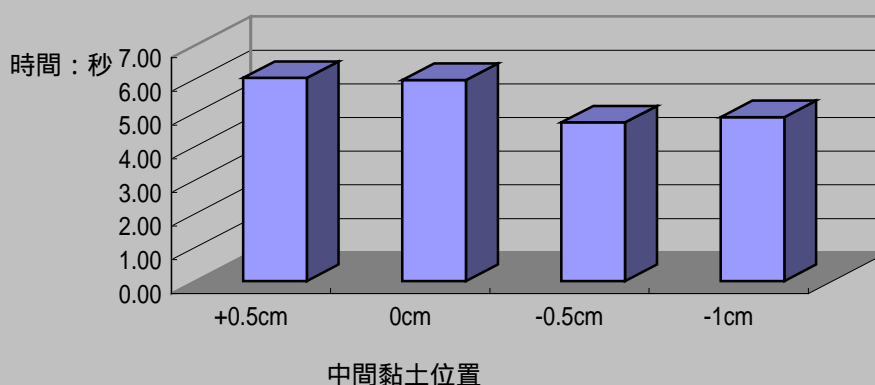


(四) 重心位置對陀螺倒立時間的影響

黏土位置在+0.5 或+1 陀螺開始旋轉一段時間之後，會倒下，但倒下之後又會翻轉回來，因此這邊的數據是它第一次翻下去所需的時間。

| 表四、中間黏土上下不同位置 |      |        |      |        | 單位:秒 |
|---------------|------|--------|------|--------|------|
|               | +1cm | +0.5cm | 0cm  | -0.5cm | -1cm |
| 第一次           | 不倒立  | 5.9    | 6.56 | 5.02   | 4.97 |
| 第二次           |      | 6.3    | 6.16 | 5.09   | 4.7  |
| 第三次           |      | 5.75   | 6.21 | 3.99   | 4.79 |
| 第四次           |      | 5.83   | 5.54 | 4.86   | 5.1  |
| 第五次           |      | 6.39   | 5.4  | 4.61   | 4.78 |
| 平均            |      | 6.03   | 5.97 | 4.71   | 4.87 |

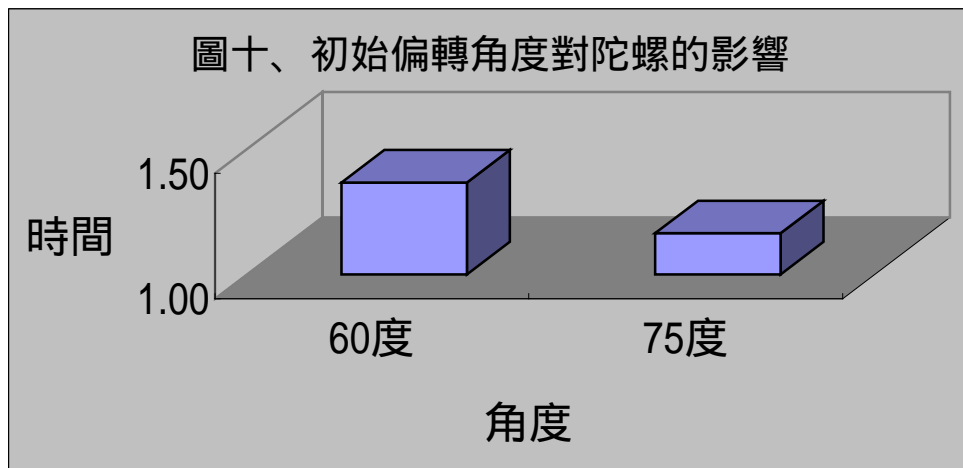
圖九、中間黏土位置對陀螺倒立影響



### 三、以自製倒立陀螺模型驗證倒陀螺轉理論：

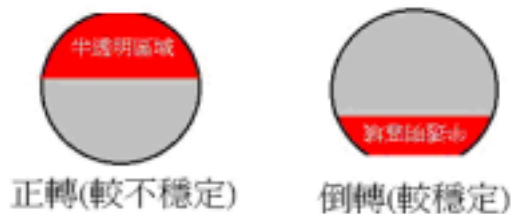
#### (一) 初始偏轉角度對陀螺的影響：

| 表五、初始偏轉角度對陀螺的影響： |     |     |     |     | 單位:秒 |      |           |
|------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----------|
|                  | 0度  | 15度 | 30度 | 45度 | 60度  | 75度  | 90度       |
| 第一次              | 不倒立 | 不倒立 | 不倒立 | 不倒立 | 0.91 | 1.32 | 九十度以上馬上翻轉 |
| 第二次              |     |     |     |     | 1.15 | 1.43 |           |
| 第三次              |     |     |     |     | 1.43 | 0.99 |           |
| 第四次              |     |     |     |     | 1.98 | 1.02 |           |
| 第五次              |     |     |     |     | 1.36 | 1.06 |           |
| 平均               | 不倒立 | 不倒立 | 不倒立 | 不倒立 | 1.37 | 1.16 |           |



#### (二) 重心偏移對陀螺倒轉的影響：

圖十一、重心偏移的觀測

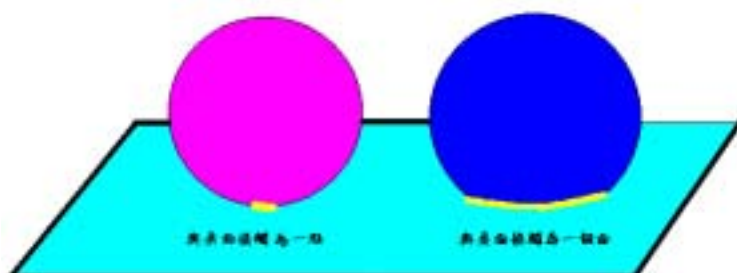


正轉時半透明的部分比倒轉時大,得知正轉比倒轉還不穩定。

## 陸、 討論

### 一、 原型陀螺的基本物理性質分析：

- (一) 從陀螺平放在桌面上中,可以知道陀螺的重心偏底部,從陀螺頂端到重心和從重心到陀螺底部的位置比約為 14 : 11;而從陀螺的剖面圖中,知道部分陀螺重量分布在陀螺四周,因此我們可以調整陀螺的重心位置,觀察重心位置對陀螺的影響。
- (二) 從發現陀螺轉軸形狀成一圓面中,可推測出陀螺倒立後轉軸接觸桌為一平面時,因和桌面接觸面為一平面,所以陀螺旋轉倒立後不容易再倒回去;反之,如果轉軸形



圖十二、切口大小的影響



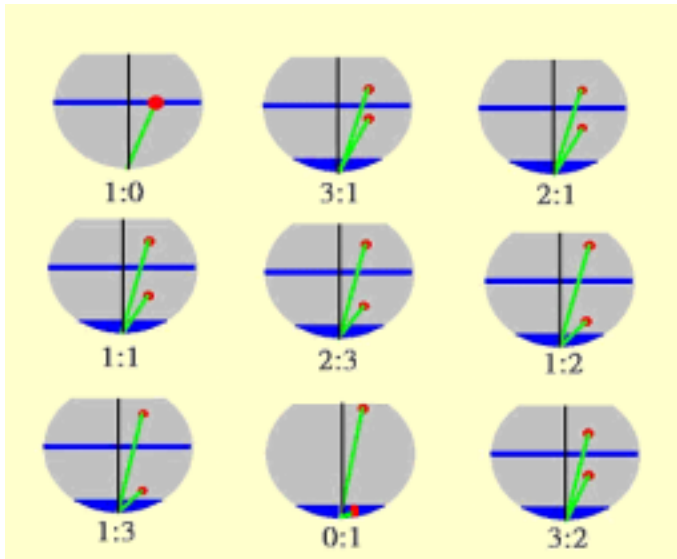
狀成一圓錐，圓錐與桌面接觸只有一點，因此陀螺倒過來後，因重心不穩，很容易又到回去。如圖十二。

- (三) 根據實驗結果，知道如果轉動陀螺力道太大或太小，都不太能使陀螺倒轉。我們推測如果旋轉力道太小，陀螺與桌面的摩擦力相對很小，沒有達到使陀螺翻轉的力量；反之如果旋轉力道過大，則可能使陀螺旋轉慣性的力量大於使陀螺倒轉的摩擦力，因此推測旋轉力道太大太小都不好。
- (四) 在實驗中我們將原本的陀螺的轉軸拔除，在用手握住陀螺兩側旋轉，而陀螺依然能倒轉，因此可知陀螺轉軸的有無，並不會影響其倒轉，而且少了轉軸抵抗桌面的力量，反而更容易倒轉。因此我們後面的實驗中，都將陀螺的轉軸去除，以便觀察陀螺倒轉的情形，而且這樣也有利於使用馬達旋轉器旋轉陀螺。

## 二、自製陀螺模型模擬分析陀螺倒立的原理：

### (一) 陀螺重量分布比例對倒立時間的影響

根據實驗結果，我們發現 0:1 的陀螺翻轉所需時間最短。我們推測是因為 0:1 正轉和倒轉的重心到支點與軸心構成的角度差最大，所以容易倒轉。但又因倒轉後重心提高，等到轉動能量減小後無法抵抗重力而倒下。故我們選擇以最難翻轉的 3:2 陀螺為圓形，以便觀察。如圖十三。



圖十三、重量分布對重心的影響

### (二) 黏土總重量的影響對倒立時間的影響

根據實驗結果，我們發現黏土重量為 6 克時，最容易翻轉。因為正向力大小影響了摩擦力的大小，黏土的重量又影響了正向力的大小，所以重量越大正向力越大摩擦力也越大，越容易翻轉，但是桌面材質一定，因此正向力大到一定程度時，摩擦力就不會跟著等比例增加，摩擦力提供的能量不足以抵抗正向力，所以如果黏土重量太大，反而會使陀螺難以翻轉。

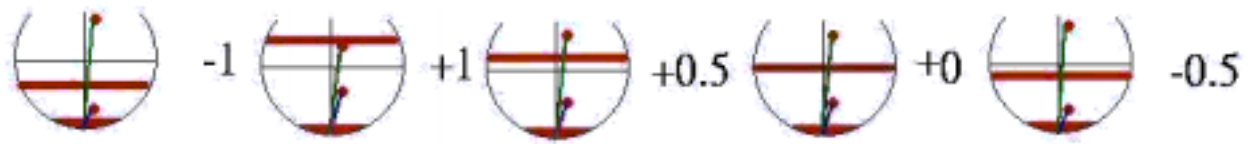
### (三) 切口大小對陀螺倒立時間的影響

從陀螺切口大小實驗中，陀螺切口大時，因為旁邊的弧面減少，所需翻轉的路程也減少，所以很快就會因開口為一個面的原因而翻轉過來，且因開口大，過陀螺剖面切口兩端點的切線到桌面的角度大，所以很難再翻回來；反之如果開口小時弧面較大，所需翻轉的時間也越多，且開口切面較小，因此翻轉時間較長。也因開口小，所以過陀螺剖面切口兩端點的切線到桌面的角度小，很容易又翻轉回來。

### (四) 重心位置對陀螺倒立時間的影響

實驗發現，上層黏土在中線往下 0.5cm 最快倒轉。我們推測，位置越低重心越低，則重心到支點與軸心構成的角度也越大，而越容易翻轉。其最好的位置根據實驗，

上層黏土在中線往下 0.5cm 處倒轉時間最短。如圖十四。



圖十四、重心位置對陀螺倒立時間的影響

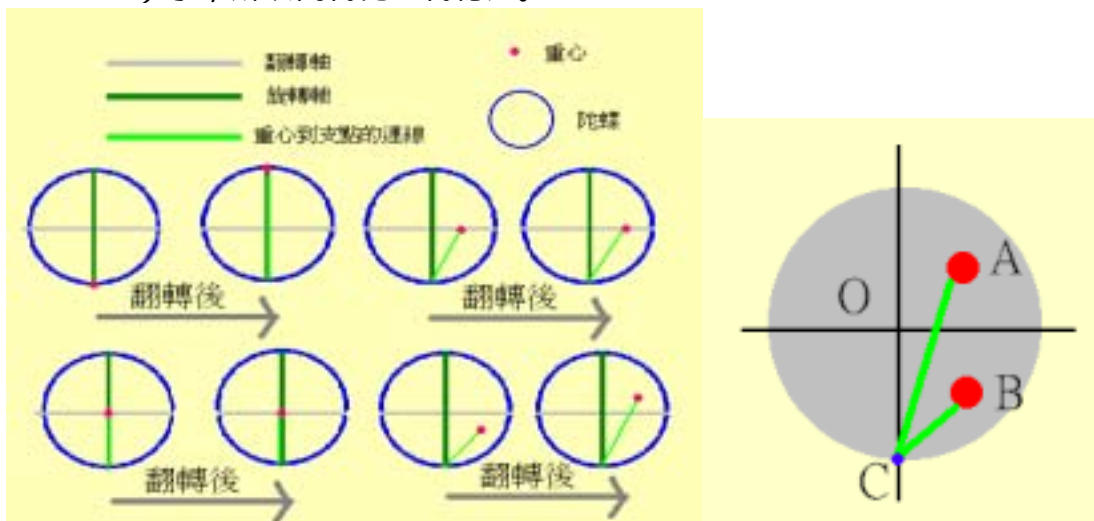
### 三、以自製倒立陀螺模型驗證陀螺倒轉理論：

#### (一) 初始偏轉角度對陀螺的影響：

在實驗中發現初始偏轉角度大於 60 度時，旋轉一段時間便會倒轉，由於初始偏轉角度越接近 90 度旋轉越不穩定，所以陀螺便會倒轉尋求穩定。而初始偏轉角度小於 60 度時，雖然倒轉比正轉穩定，但因倒轉先經過更不穩定的 90 度範圍，所以相較之下為了尋求穩定便不倒轉。

#### (一) 重心偏移對陀螺倒轉的影響：

在實驗中發現陀螺重心偏移時，倒轉比正轉穩定。(如下圖十五)因為偏移的重心到支點與陀螺中線的夾角影響陀螺旋轉的穩定，角度越大表示要從不穩到穩定所需的能量時間越多，所以越難穩定。而倒轉的角度(角 A C O)比正轉的角度(角 B C O)小，所以倒轉比正轉穩定。



圖十五、重心偏移對陀螺倒轉的影響

## 捌、結論

經由上述情形可歸納出下列九點

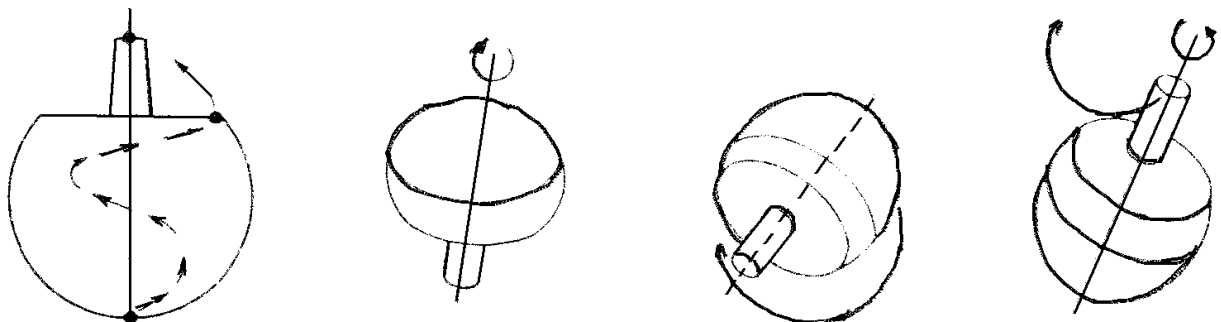
一、經由觀察基本陀螺的各種型態，可以列出下列各種實驗：

1. 黏土上下比的影響
2. 陀螺總值量(黏土重量)的影響
3. 切口大小的影響
4. 重心位置的影響。

而又得知陀螺的重量大部分在底部；且轉軸呈一圓面，並非一圓錐。

二、陀螺倒轉的原因是因為陀螺重量分部不平均，以至於陀螺在旋轉時會晃動，但經基本觀察得知，陀螺重量偏底部，所以倒轉後重心位置移至上方，到切點的角度變小，晃動程度變得較小，因此而翻轉。

- 三、從陀螺黏土的上下比中，得知黏土重量分布靠底下，翻轉前重心到支點的角度比翻轉後還大，所以翻轉後晃動程度較小，因此陀螺為了保持穩定而倒轉。
- 四、從陀螺總重量實驗中，得知陀螺重量太小時，向下的正向力過小，正向力太小摩擦力也太小，因此陀螺不易倒轉；反之，如果黏土重量太大，轉動時慣性增加，增加到足以抵抗使陀螺倒轉的摩擦力時，陀螺便不倒轉。
- 五、從陀螺切口大小實驗中，陀螺切口大旁邊的弧面減少，所需翻轉的路程減少，所以很快就會因開口為一個面而翻轉過來，且開口大，過陀螺剖面切口兩端點的切線到桌面的角度大，很難再翻回來；反之開口小時弧面大，所需翻轉的時間也多，且開口切面小，因此翻轉時間長。也因開口小，所以過陀螺剖面切口兩端點的切線到桌面的角度小，很容易翻轉回來。
- 六、上層黏土位置越低重心越低，則重心到支點與軸心構成的角度也越大，而越容易翻轉。但若重心過低就不易翻轉。
- 七、初始偏轉角度大於 60 度時，旋轉一段時間便會倒轉，由於角度越接近 90 度旋轉越不穩定，所以陀螺便會倒轉尋求穩定。而角度小於 60 度時，因倒轉經過更不穩定的 90 度範圍，所以相較之下便不倒轉。
- 八、偏移的重心到支點與陀螺中線的夾角影響陀螺旋轉的穩定，角度越大表示要從不穩到穩定所需的能量時間越多，越難穩定。而倒轉的角度比正轉小，所以較穩定。
- 九、本實驗證實：陀螺的倒立並非「重心在高處比較安定」；而是因為重心低於中心點的陀螺，倒立之後的重心偏移角度會比正立時小，所以旋轉時為了保持角動量而會移向晃動較少、摩擦力較小的方向，再加上旋轉過程重心有保持在旋轉軸的傾向更能傾向倒立的位置。（如圖十六）



圖十六、陀螺倒立過程圖

- 十、我們希望將來能由這個實驗來探討地磁翻轉的原理。

## 玖、參考資料

- 一、梁肇基（民 75）轉動動力學；**基礎物理學**，p.409-443；復文書局。
- 二、Jearl Walker，葉偉文譯（民 89）不穩定陀螺；**物理馬戲團 1**，p.94-95；天下文化出版社。

**(第三名)**

1. 利用乒乓球設計研究工具頗具巧思，對問題的探討深入
2. 有關實驗依據的理論及原理上應再加強，減少錯誤。