

旋轉吧 孩子們！



小朋友曾在電視或者現場觀見過雜技演出嗎？覺得藝人的功夫令人歎為觀止？健體課中，你學過那些民俗體育呢？中年級張澤銘老師的打陀螺、扯鈴、滾鐵圈.....你都體驗過了嗎？請回答以下高愛迪斯的問題：

1. 你會不會轉書、轉球(有人號稱什麼都能轉，連桌子也行呢)？請你試驗看看，並 **1** 簡要說明轉書、轉球成功的訣竅或原理。
2. 再加一根棒子，你會轉碟嗎(請注意安全，並絕不拿會摔破的瓷器來試)？**2-1** 若要成功運轉，器材上有沒有什麼要注意或調整的地方？**2-2** 請你說明技巧的要領。
3. **3-1** 純粹以「力」來說明(先不以「力矩」或「角動量」的觀念)，請問陀螺這類的自轉玩具是怎麼轉起來的呢？**3-2** 陀螺抗拒地心引力，能使重的一端在上而不倒下，必定有個垂直向上的力在支撐，這個力是怎麼來的？
4. **4** 有些陀螺能很穩定的垂直轉動，有的卻狂亂的產生進動現象(陀螺本身著垂直軸旋轉)；有些能好好轉、固定地方轉，有些在穩定前卻相當慌忙似的。能以陀螺的大小、外型、重心.....等特質來說明其中的原理嗎？
5. 有種外觀像「蘑菇」的陀螺，是一個很大的半球跟另一端的小棒棒。若把它球面朝下旋轉，它會自己很快翻個身，以小棒棒旋轉，較重的頭反而舉在空中。



較重的一端在下旋轉不穩定，重端在上反而穩定？

6. **6-1** 說明你怎麼做才能使扯鈴流暢的轉動？扯鈴在轉動時會較穩定的原因是什麼？為何你必須不時對它做調整？**6-2** 假如有一端扯鈴往下傾，你要怎麼操作才能使線軸恢復水平？想讓它向左溜，又該如何操作？



提示：共有 10 小題，每題答對得基本分 1 分。

- 請嘗試實際操作陀螺、扯鈴、轉蛋，以實驗與觀察來歸納結論。
- 展示圖片、照片、表格等不同的結果呈現方式酌加 1-3 分。

★ 截日期:104 年 12 月 11 日 星期五 下午 16:00 截止

1 簡要說明轉書、轉球成功的訣竅或原理。

因為練習了很久，書和球卻都還是轉不起來，只好參考他人的成功經驗。

(資料來源：zfang の科學小玩意 <http://zfang.tc.edu.tw/310.html>)

- 轉球成功的訣竅：

用雙指尖頂著，較輕鬆。



- 轉書成功的訣竅：

事先在書上做了好幾個小洞，並用筆尖代替手指



重心的位置不是最好轉的，太中間反而不好轉，要偏離一些。



- 我的推測：

根據別人的成功技巧，我推測手指頭或筆尖要放在和重心有一小段距離的軌道上，並保持平衡。

2 加一根棒子轉碟

實驗過程：用筷子轉碟，因為碟子底座的溝槽很淺，一直飛出去，又試了飛盤、餅乾盒蓋，最後改用圓形便當盒蓋，總算成功了。



2-1 若要成功轉碟，器材上有沒有什麼要注意或調整的地方？

在嘗試轉碟，更換不同器材及練習旋轉的過程中，發現幾個要注意或調整的地方：

- (1) 碟子底部中央要有一個夠深的凹槽，提供筷子旋轉支撐，防止滑落。
- (2) 碟子不能太輕，否則還沒旋轉穩定就先飛出去了。
- (3) 筷子直立不傾斜的時候，碟子旋轉最穩定，容易保持平衡。

2-2 請你說明轉碟的技巧要領。

先用筷子勾住邊緣，循著一個方向旋轉（順時針或逆時針，只能選一種），速度要快，旋轉時會有種把碟子甩出去的感覺（當然不是真的甩出去），筷子要保持直立，等到盤子不會晃動，旋轉達到平穩時，手不需很用力，輕輕舉著筷子，微微搖動（移動距離不到 1 公分），碟子仍會持續旋轉。綜合結論如下：

- (1) 順時針或逆時針，必須固定一種旋轉方向。
- (2) 一開始轉速要快，才能產生大於地心引力的離心力，防止碟子掉落。
- (3) 旋轉時要盡量讓筷子和碟子成為垂直方向。
- (4) 筷子直立時，最容易保持平衡。
- (5) 達到平衡時，少許施力就可以持續旋轉。



以下步驟及圖片來源：蘋果日報「手撩撩 轉碟轉出 EQ 高」

<http://hk.apple.nextmedia.com/supplement/health/art/20080224/10785882>

步驟一：手握木棒，棒要垂直指向天，把碟放在棒尖勾著。



步驟二：向順時針方向慢慢轉動手腕，好像指天空畫圓圈，便可成功轉碟。



3-1 純粹以「力」來說明，請問陀螺這類的自轉玩具是怎麼轉起來的呢？

● 陀螺的原理

當物體呈現一種「動者恆動、靜者恆靜」的狀態時，即可稱之為「平衡」。

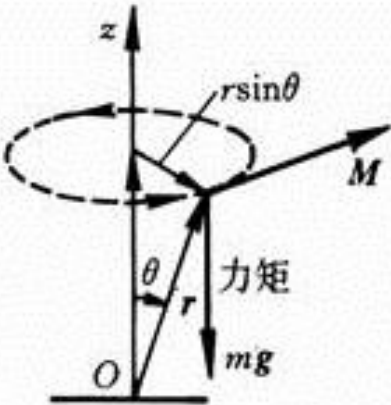
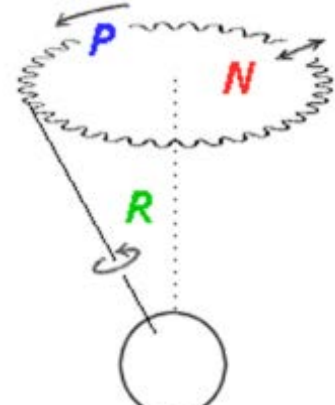
物體在很多情況下都能呈現平衡狀態，不只是在靜止的時候，當它在動的時候也會達到平衡（包括星體的運行也是），有些平衡狀態能持久，而有些只是短暫現象。

一般而言，靜態的平衡大多屬於穩定平衡，動態的平衡則多屬於不穩定平衡；當陀螺受力旋轉時，因為各方向離心力總和達到平衡，所以陀螺能暫時用軸端站立，保持平衡現象，接著受到空氣阻力、地面摩擦、或陀螺重心問題等各因素的影響，使其旋轉的力道逐漸減弱，等到旋轉的動力消失時，陀螺也跟著左搖右晃的倒了下來。

(資料來源：民俗體育教學資訊網)

http://custom.nutn.edu.tw/index.php?inter_url=resource&rmId=1&rId=16)

● 進動與章動

	進動	章動
說明	進動是指當一物體在自轉的同時，其自轉軸也在繞行另一中心軸旋轉的現象，其原因是由於重力的影響。	仔細觀察進動軌跡時可以發現到，其軌跡有輕微的不規則搖晃，類似點頭的現象，是為章動。
圖示		

(資料來源：<http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/2012/B3/角動量-101學年看板.pdf>)

3-2 陀螺抗拒地心引力，能使重的一端在上而不倒下，必定有個垂直向上的力在支撐，這個力是怎麼來的？

● 定軸性

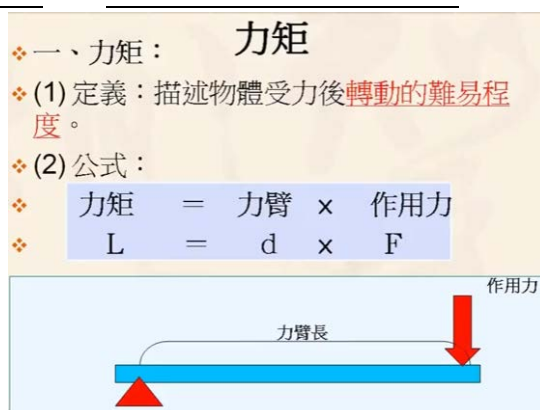
當陀螺以極高速度旋轉時，就會產生了慣性，這慣性會使得陀螺的旋轉軸維持在適當的空間，並指向一個固定的方向，同時也會反抗任何會改變陀螺旋轉軸軸向的力量，這種物理現象稱為陀螺旋轉的定軸性。

(資料來源：科玩 DIY—磁浮飛碟

[http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/93\(266-275\)/275/6.pdf](http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/93(266-275)/275/6.pdf))

● 力矩和角動量原理

力矩：力矩為使物體沿一固定軸或中樞轉動所需的作用。如同可以改變物體運動狀態的作用力，力矩可以想像為使物體扭轉所需的物理量。力矩的大小決定於三個要素：施力、施力點的位置向量以及力與施力位置向量的夾角。



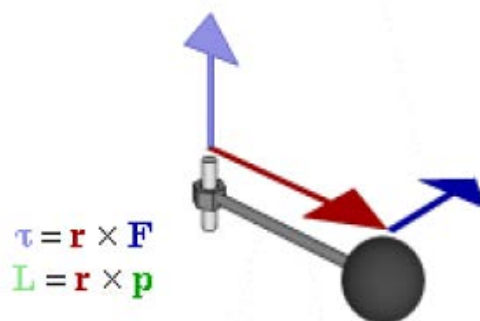
(資料來源：北興國中紀薰順老師，國中_理化_14-4-1 力矩與轉動

<http://lms.learnmode.net/flip/video/4470>)

角動量：角動量，就如動量一般，是一個可用來表徵物體運動特徵的物理量。對於一個繞定點轉動的物體而言，角動量為物體到原點的距離與其速度向量的外積，再乘上質量，而系統角動量為其中各質點角動量的總和。

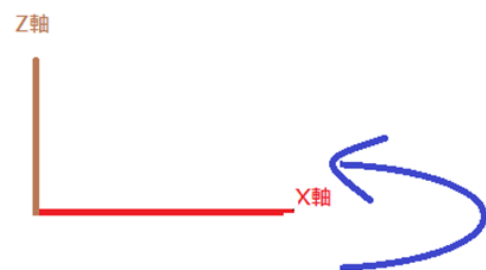
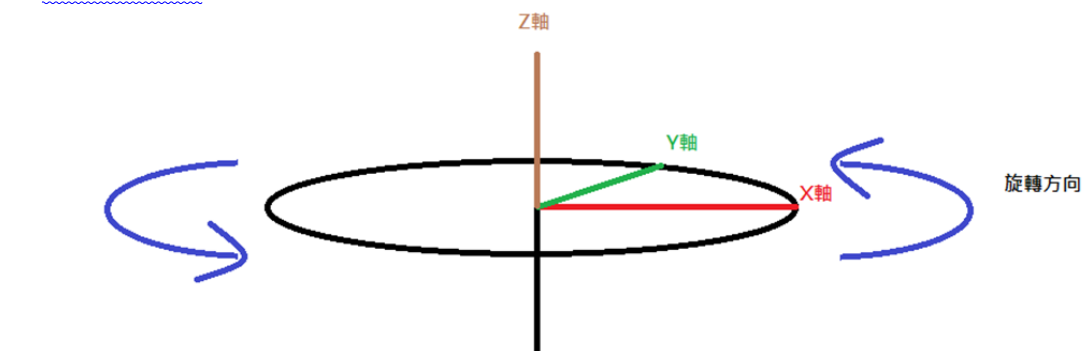
(資料來源：科技部高瞻自然科學教學資源平台--角動量

<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2859>)



(資料來源：<http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/2012/B3/角動量-101學年看板.pdf>)

● 角動量守恆



若系統所受到的合力矩為零時，不論系統內發生什麼變化，系統的角動量會保持一定值，即角動量守恆。

$$\text{角動量 } \vec{L} = I\vec{\omega}$$

$$\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v})$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = m\left(\vec{r} \times \frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{v}\right) = m(\vec{r} \times \vec{a} + \vec{v} \times \vec{v})$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = m(\vec{r} \times \vec{a}) = \vec{r} \times m\vec{a} = \vec{r} \times \sum \vec{F} = \sum \vec{\tau}$$

當 $\sum \vec{\tau} = 0$ ， \vec{L} 為一常數。

4 有些陀螺能很穩定的垂直轉動，有的卻狂亂的產生進動現象；有些能好好轉、固定地方轉，有些在穩定前卻相當慌忙似的。以陀螺的大小、外型、重心.....等特質來說明其中的原理。

慣性的大小會隨下列的物理量而改變：

- (一) 陀螺本身質量愈大，則慣性愈大。
- (二) 陀螺質量分佈離轉軸愈遠，慣性就愈大。
- (三) 陀螺旋轉速度愈大，慣性也愈大。

(資料來源: 深藍論壇 > 讀書 學術 升學聯合討論區 > 理工自然科學群組 > 物理版:【力學】關於角動量守恆和陀螺穩定度的關係

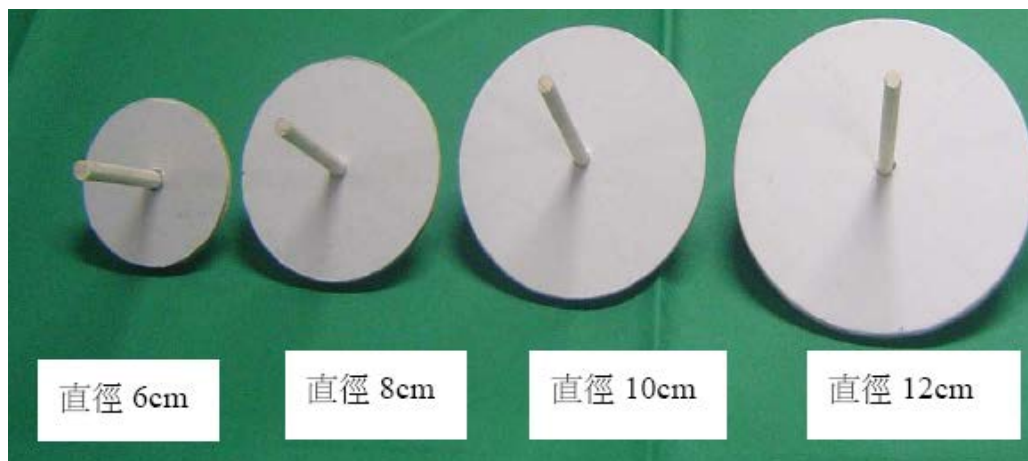
<http://www.student.tw/forum443/thread223368.html>)

以陀螺的大小、外型、重心、轉速來比較：

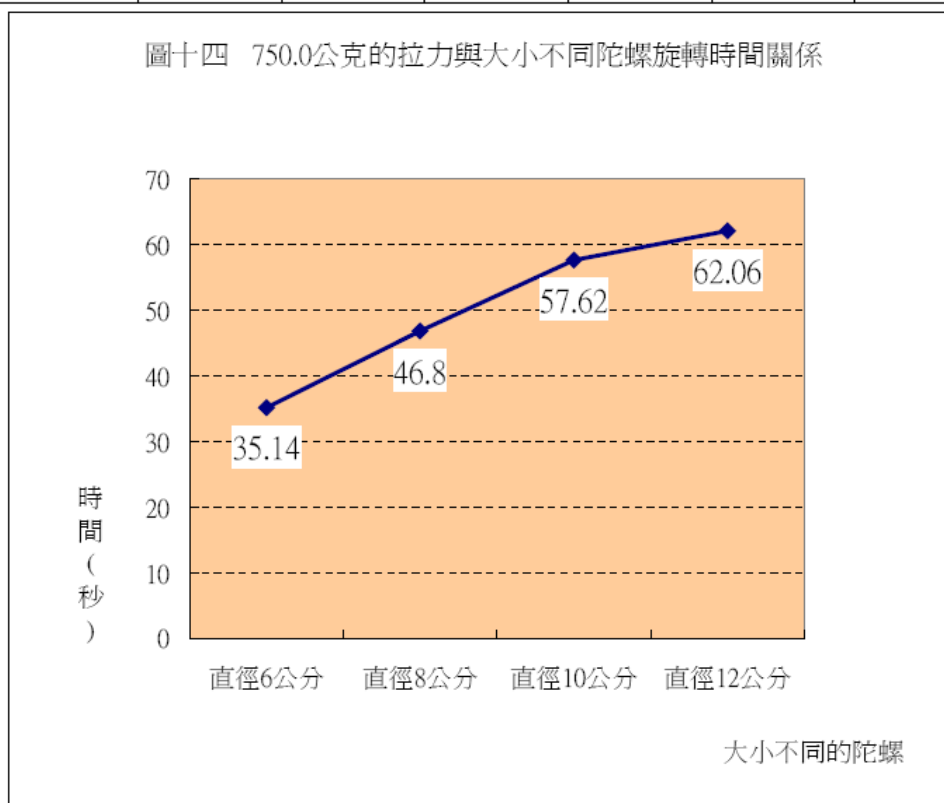
陀螺的大小	陀螺愈大，則慣性愈大，轉動愈平穩。
陀螺的外型	外型對稱，則慣性均勻，轉動愈平穩。
陀螺的重心	質量分佈離轉軸愈遠，慣性就愈大，轉動愈平穩。
陀螺的轉速	陀螺轉速愈快，則慣性愈大，轉動愈平穩。

參考以下台北市三民國小科展實驗資料，比較陀螺大小、外型及重心的轉動時間：

- 大小不同的陀螺

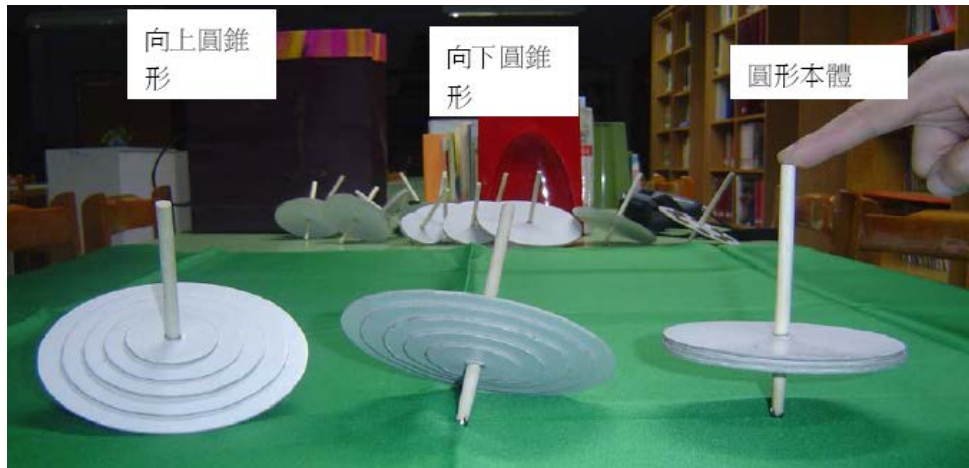


不同大小陀螺本體	陀螺旋轉第一次時間 (秒)	陀螺旋轉第二次時間 (秒)	陀螺旋轉第三次時間 (秒)	陀螺旋轉第四次時間 (秒)	陀螺旋轉第五次時間 (秒)	陀螺旋轉平均值 (秒)
直徑 6 公分	34.3	38.7	34.8	32.9	35	35.14
直徑 8 公分	47.5	47.4	46.8	45.7	46.6	46.8
直徑 10 公分	59	58.8	57.8	54.7	57.8	57.62
直徑 12 公分	52.1	59.8	69.5	66.5	62.4	62.06



(資料來源：中華民國第四十四屆中小學科學展覽會-國小組生活與應用科學科：
Ready set go！轉·轉·轉)

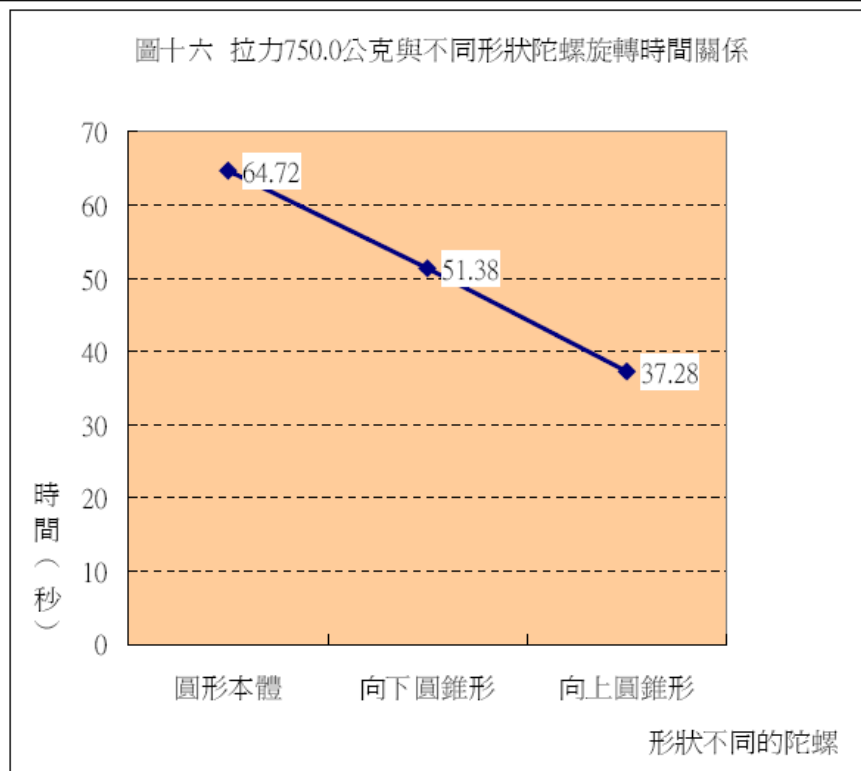
● 形狀不同，重量相同的陀螺



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



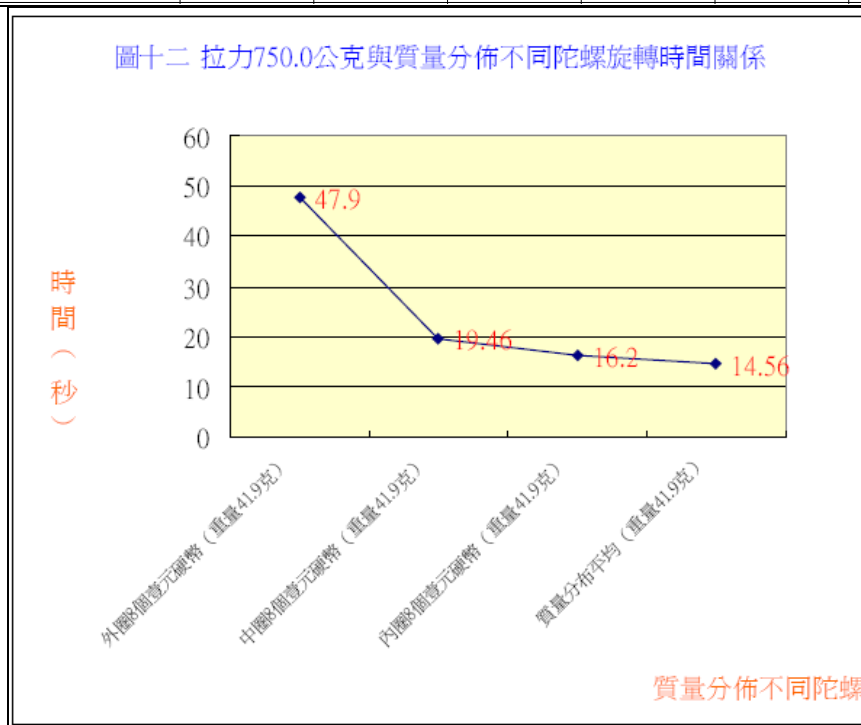
(資料來源：中華民國第四十四屆中小學科學展覽會-國小組生活與應用科學科：
Ready set go！轉·轉·轉)

● 質量分布不同的陀螺



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

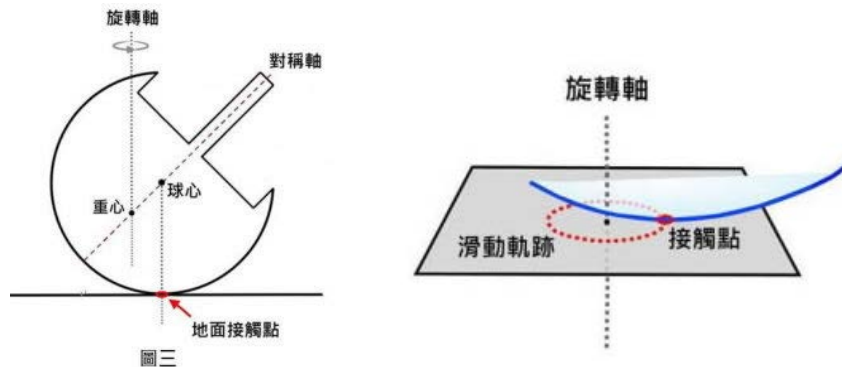
圖十二 拉力750.0公克與質量分佈不同陀螺旋轉時間關係



(資料來源：中華民國第四十四屆中小學科學展覽會-國小組生活與應用科學科：
Ready set go！轉·轉·轉)

5-1 為什麼蘑菇陀螺會翻身？什麼力量使它能對抗地心引力？

- (1) 結構必須是重心與球心的位置不一樣。一個質量分配均勻的球體轉動時，球心和重心的位置一樣，但是倒立陀螺的球體，由於缺了一部份（上半部），因此重心比球心略低一些。（如左下圖）倒立陀螺轉動時，由於球面與地面的接觸點，不是位於轉動軸上，而會使接觸點產生滑動。（如右下圖）
- (2) 由於接觸點進行滑動，因而產生摩擦力，此摩擦力產生了使陀螺倒立所需的力矩。

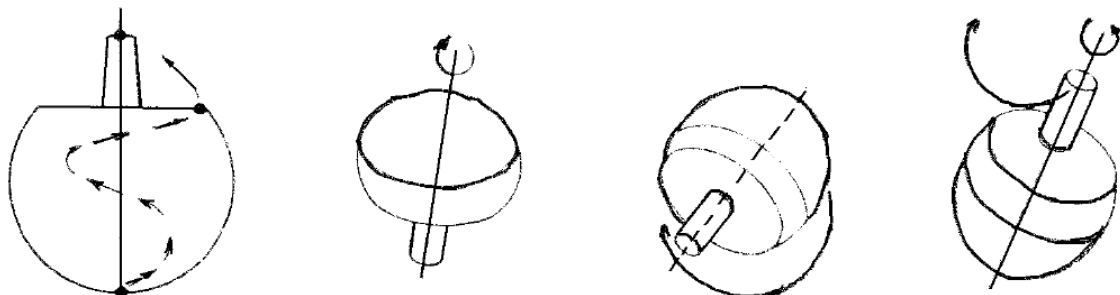


(資料來源：科學遊戲實驗室 <http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-023.html>)

5-2 使蘑菇陀螺上下反轉，為什麼較重的一端在下旋轉不穩定，重端在上反而穩定？

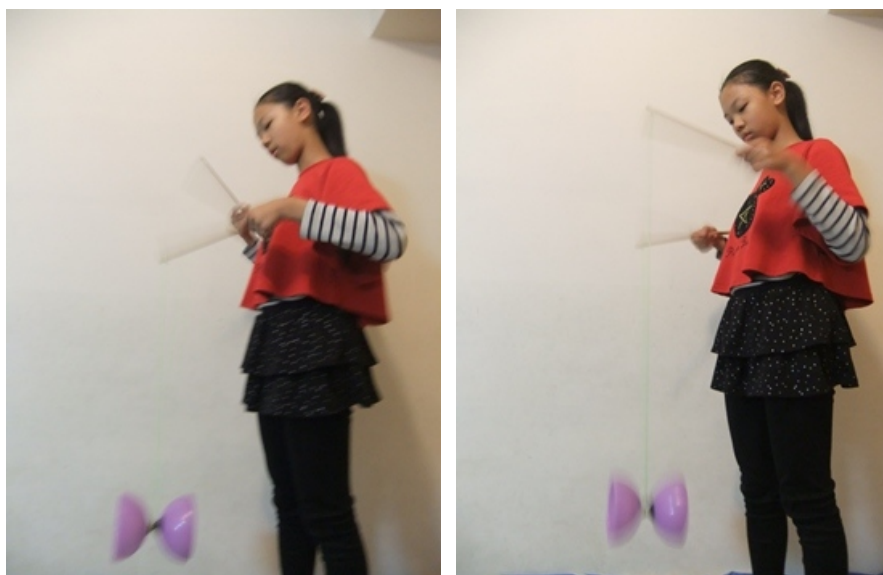
陀螺重心偏下方，所以倒轉後，重心移到上面，會使重心到陀螺旋轉支點的連線與中心線的夾角角度變小，因此倒立的陀螺晃動會比較小，比較穩定。

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。（如下圖）



(資料來源：中華民國第 42 屆中小學科展-國中物理：魔力？摩力！我的陀螺會倒立)

6-1 說明你怎麼做才能使扯鈴流暢的轉動？扯鈴在轉動時會較穩定的原因是什麼？為何你必須不時對它做調整？



實驗心得：

- (1) 要使扯鈴流暢的轉動，兩隻手最好保持差不多高度的拉線，手不可以歪，儘量使身體正面與鈴面保持平行。
- (2) 扯鈴快速轉動時因慣性而不受重力影響，較為穩定。
- (3) 扯鈴保持穩定必須調整的原因可能有兩個：第一：持續提供摩擦力，第二：人的手無法保持均勻的施力，若造成歪斜要調整施力的方向。

摩擦力與地心引力：

- (1) 扯鈴能夠轉動是利用扯鈴繩與扯鈴軸心之間的摩擦力來帶動，再利用輪軸原理讓整顆扯鈴順利轉動。
- (2) 摩擦力較大(摩擦面積較大)時，能在較短的時間內讓扯鈴達到較高的轉速，相對的也讓扯鈴轉動的時間維持較久。
- (3) 鈴同時受到繩子的摩擦力與地心引力；當摩擦力與地心引力同方向時，鈴的上下移動會越來越快，但是，當摩擦力與地心引力反方向時，鈴的上下移動會越來越慢。
- (4) 當我們希望鈴向左運動時，就必須施力較多於左手的鈴棍，以造成增加鈴繩向左的摩擦力增加，而使鈴受一向左的力，產生一個向左的加速度，使鈴向左運動。反過來，若我們希望鈴向右運動，就必須在右鈴棍出較多的力。

(資料來源：鈴機一動

<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2008/syjh01/t302.htm>)

6-2 假如有一端扯鈴往下傾，你要怎麼操作才能使線軸恢復水平？想讓它向左溜，又該如何操作？

(1) 如有一端扯鈴往下傾，使用“調鈴”的方法，使線軸恢復水平。

步驟一：將左手棍提高。

步驟二：右手棍平移到左線左邊，線形成不交叉。

步驟三：右棍往外推，外圈就會慢慢降低，再將右棍收回恢復原狀。如果外圈低，內圈高，只要將交叉的兩條線分開，外圈自然慢慢升高。



(2) 讓扯鈴向左溜的方法：將左邊的線往左下斜。



參考資料：

1. zfang の科學小玩意 <http://zfang.tc.edu.tw/310.html>
2. 蘋果日報「手撩撩 轉碟轉出 EQ 高」
<http://hk.apple.nextmedia.com/supplement/health/art/20080224/10785882>
3. 民俗體育教學資訊網—陀螺簡介
http://custom.nutn.edu.tw/index.php?inter_url=resource&rmId=1&rId=16
4. <http://www2.nsysu.edu.tw/physdemo/2012/B3/角動量-101學年看板.pdf>
5. 北興國中紀薰順老師·國中_理化_14-4-1 力矩與轉動
<http://lms.learnmode.net/flip/video/4470>
6. 科玩 DIY—磁浮飛碟
[http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/93\(266-275\)/275/6.pdf](http://www.sec.ntnu.edu.tw/Monthly/93(266-275)/275/6.pdf)
7. 深藍論壇 > 讀書 學術 升學聯合討論區 > 理工自然科學群組 > 物理版：【力學】關於角動量守恆和陀螺穩定度的關係
<http://www.student.tw/forum443/thread223368.html>
8. 科學遊戲實驗室 <http://scigame.ntcu.edu.tw/power/power-023.html>
9. 科技部高瞻自然科學教學資源平台--角動量
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2859>
10. 中華民國第四十四屆中小學科學展覽會-國小組生活與應用科學科：Ready set go！轉·轉·轉
11. 中華民國第四十二屆中小學科學展覽會-國中組物理科：魔力？摩力！----我的陀螺會倒立
12. 臺南縣 98 年度國民中小學科學展覽會-國小組生活與應用科學科：培不培有關係