

垂直面陀螺

設計者/大學入學考試中心 處長 蕭次融 教授

一、目的

以限定的器材，製作簡單的垂直面陀螺，探討物體轉動時的平衡，並以其轉動時的穩定性比賽轉動速率，包含紙板陀螺與咖啡棒鞦韆陀螺的轉動速率及疊羅漢的兩個陀螺反向轉動的速率。

二、原理

陀螺是繞著一個軸（轉動軸）而轉動的轉動體。假如一個陀螺的各個質點對轉動軸的分佈完全對稱，亦即轉動慣量均勻，則陀螺的轉動比較容易穩定。倘若陀螺的質點分佈不對稱，即使靜止時轉動軸能垂直的維持一個平衡，亦即整個陀螺的重心落在轉動軸上，但轉動起來各質點對轉動軸所形成的力矩不均，則轉動時轉動軸便不能保持垂直，而隨著轉動而搖晃，甚至從支點掉落。

一個陀螺放在瓶蓋上，要其能轉動得久，而且轉得快，除了陀螺本身的轉動慣量要大之外，轉動軸的支點在瓶蓋上的摩擦力要小，而轉動時的空氣阻力也要小。

本競賽所製作的陀螺雖然是二維的平面造型，但轉動起來，各質點的軌跡呈現以轉動軸為中心的同心圓。若轉動軸為Z軸，則全體質點的轉動，就像在XY面上的圓盤。要調整質量分配，使圓盤能穩定地在XY面上轉動並不容易，尤其在轉速快時，更顯現質量分配的重要性。汽車換輪胎時，技師要將整個輪子平放在轉盤定位，在輪框補釘鉛片以平衡輪子，也是同樣要使轉動穩定的道理。

至於鞦韆陀螺，轉動的原理與上述者相同，但以細線綁住的重物，轉動時因離心力而向外伸張，多了一個影響轉動的因素，增大了穩定轉動的複雜性，與挑戰性。

三、活動一：紙板陀螺與咖啡棒鞦韆陀螺

(一)場地需求

沒有特別的要求，課桌椅也可以。

(二)使用器材

大會：咖啡棒（塑膠製）14支，迴紋針2個，ABC彩色粘土（粘土5片，共重約58克，紙板約16×10公分），塑膠繩（例如綁生日蛋糕盒用的）30公分

7. 轉動兩次成功者，取其較佳的一次成績；但轉動第三次者，視同放棄前兩次的記錄，而以第三次的成績為成績。本項規定亦適用於活動二。
8. 每一隊兩位選手的比賽時間，總共 4 分鐘（包括抽籤的時間在內），時間到就停止其轉動，而以叫停時的轉動圈數為成績。
9. 兩位選手所得圈數之和為 K。

四、活動二：疊羅漢陀螺

(一)場地需求

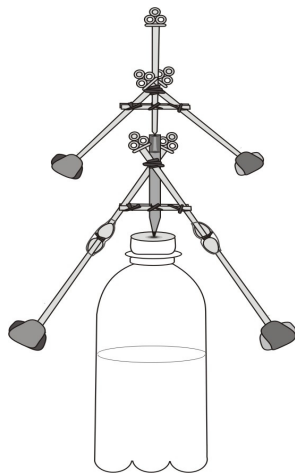
同活動一

(二)使用器材

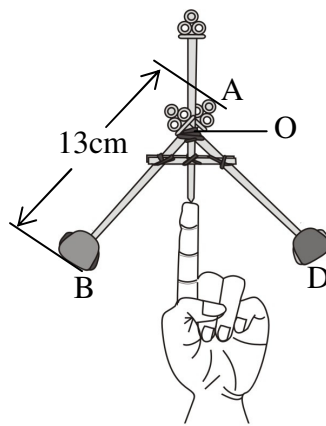
全部自備（見十、材料總表）

(三)競賽製作

事先製作兩組作品如圖四，帶來競賽場，隊員四人以抽籤的方式分為甲乙丙丁，分別操作指定項目。疊羅漢陀螺的製作，請參考附件。



圖四 疊羅漢的陀螺



圖五 咖啡棒陀螺

競賽前的檢驗項目

(A)咖啡棒陀螺（如圖五）

1. $\angle BOD \leq 90^\circ$
2. $\overline{AB} \leq 13$ 公分（咖啡棒的最頂端至油粘土的最末端）
3. 整體重 < 16 克
4. 轉動軸以及陀螺架構必須全由塑膠咖啡棒構成。

(B)羅漢陀螺（如圖四）

1. 疊羅漢的陀螺中，上面的陀螺為咖啡棒陀螺，而下面的陀螺稱為羅漢陀螺，其兩臂必須由各兩支的咖啡棒相接而成。
2. 整體重 ≤ 50 克
3. 除了轉動軸之外的其他陀螺架構，必須全由塑膠咖啡棒構成。但轉動軸得用竹筷、鉛筆、或原子筆，或只用原子筆的筆芯部分接於竹筷來製作。兩臂的兩支咖啡棒，得以用繩子或膠帶捆綁，而轉動軸的頂端可以有凹槽，以便承受咖啡棒陀螺。除了支點的筆芯以外，其他部分不能有金屬的材料。

(四) 競賽說明

1. 隊員四名，以抽籤的方式分為甲乙丙丁，甲與丙各自操作指定項目。
2. 兩個陀螺必須相疊，而且以相反的方向轉動。兩個陀螺未反向轉動，應視同停止轉動。手離開陀螺後，立即開始計時。

比賽羅漢陀螺的轉速

3. 甲與丙分別各自操作，使上下兩個陀螺反向轉動。手離開陀螺 20 秒後，開始數羅漢陀螺（下面的陀螺）在 30 秒鐘內的轉動圈數，亦即比賽羅漢陀螺的轉動速率。
4. 手離開陀螺後，在 20 秒鐘以內，選手得叫停，但視同失敗一次，選手得重新操作，但至多兩次（總共可以操作 3 次）。操作兩次者，以較佳的一次計績。操作三次者，則以第三次的成績計績。
5. 手離開陀螺後，過了 20 秒鐘，就視為有效競賽，逕予計績。
6. 甲與丙所得圈數之和為 M。

五、活動三：創意陀螺疊羅漢

此項活動單獨計績排名，各隊自由參加。成績無關於活動一與活動二。陀螺的形式與材料均不受限（可以使用粘著劑、膠帶、棉線、鐵絲等），但陀螺的主體限以咖啡棒與鉛筆或原子筆（或筆芯）製作，而加重只可用油粘土。

六、競賽總時間

製作時間（含說明及領取材料）：為 20 分鐘

評審時間：35 分鐘

共 55 分鐘

七、評分方式

- 活動一的兩個成績和 (K)，與活動二的兩個成績和 (M)，依下列式子相加後得總成績 Z：

$$Z = K + 2 M$$

- 依 Z 的高低排序後，再以六等第計分法（見表一）計分與排名次。得分最高的隊伍頒發單項競賽優勝獎（若得分相同時以活動二的成績高者獲得，若成績再相同時以抽籤決定）。

表一：六等第計分法

名次	一	二	三	四	五	六
隊數	1	3	6	10	15	其餘
得分	30	21	15	12	9	6

- 活動三的評分方式，依整體創意 50%、功能 30%、美觀 20%，分別評分後加總。得分最高的隊伍，頒發創意獎。此項評分獨立計算，不列入總成績內。

八、給評分者的建議

- 比賽前必須依「檢驗項目」逐項檢驗作品。
- 陀螺的大小與形狀，均直接與事先在紙上繪好的陀螺比一比即可。
- 稱重時：
 - (1)咖啡棒鞦韆陀螺要稱整個作品的重量等於或小於 22 克，而油粘土的重量只稱一個 y 的重量在 $2g \leq y \leq 8g$ 即可。
 - (2)疊羅漢的陀螺要分別稱作品的整體重：咖啡棒陀螺 ≤ 16 克，而羅漢陀螺 ≤ 50 克即可。
- 數轉動圈數時，必須數出聲音。

九、給競賽者的建議

- 本項競賽要得好成績，重點在於羅漢陀螺的轉動，因其成績 M 在加總時，乘了權數 2。
- 各項操作均要熟練，了解自己的實力，因每項操作均規定：「轉動兩次成功者，取其較佳的一次為成績，但轉動三次均成功者，取其最後的一次成績為成績」。因此，已轉動成功兩次者，是否再試第三次，競賽者必須慎重考慮。

十、材料總表

(一)大會提供

	品名	規格	數量	備註
活動一	咖啡棒	塑膠	14 支	
	迴紋針		2 個	
	ABC 彩色粘土	見註 1	1 組	
	塑膠繩	見註 2	30 公分	
活動二	無			

註 1：ABC 彩色粘土為立鑫企業有限公司產品（電話 02-32343587）。一組產品中含有五片不同顏色的安全油粘土，共重約 58 克，裝於一張紙板（約 16*10 公分）。這一張紙板將用於製作活動一的兩個紙板陀螺。

註 2：塑膠繩亦稱尼龍繩，一般用於綁生日蛋糕盒的紙盒子，使用時要撕成細線狀。

(二)自備器材

	品名	規格	數量	備註
活動一	尺		1 支	
	剪刀		1 把	
	單面膠帶		1 個	
	雙面膠帶		1 個	
	寶特瓶	約 600mL	1 個	
活動二	咖啡棒	塑膠	24 支	
	鉛筆		2 支	
	油粘土	7 克	4 個	
	油粘土	24 克	4 個	
	同活動一的器材			

十一、時間總計

(一)本項競賽時間：共計 55 分鐘

(二)製作時間(含說明及領取材料)：18 隊共為 20 分鐘

(三)評審時間：18 隊共 35 分鐘

附件一

紙片陀螺

蕭次融

陀螺是繞著一個軸而轉動的轉動體，這個軸稱為轉動軸。假如一個陀螺的各個質點對轉動軸的分佈完全對稱，則陀螺的轉動比較容易穩定。倘若陀螺的質點分佈不對稱，即使靜止時轉動軸能垂直的維持一個平衡，但轉動起來各質點對轉動軸所形成的角動量分佈不均，則轉動軸隨著轉動而搖晃，甚至掉落。本篇介紹利用簡單的材料，製作紙片陀螺，探討物體轉動時的平衡。

器材

薄紙板（約7*7公分） 2張
迴紋針 1個
雙面膠帶
油粘土

咖啡棒（塑膠） 2支
剪刀
單面膠帶

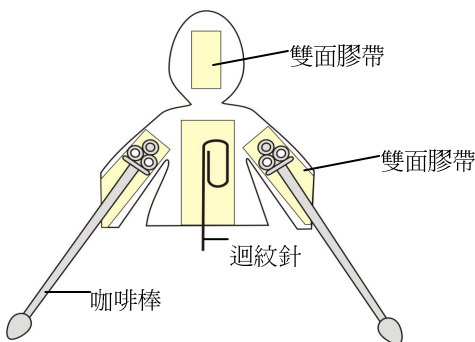


圖 1 製作紙板陀螺的剖面

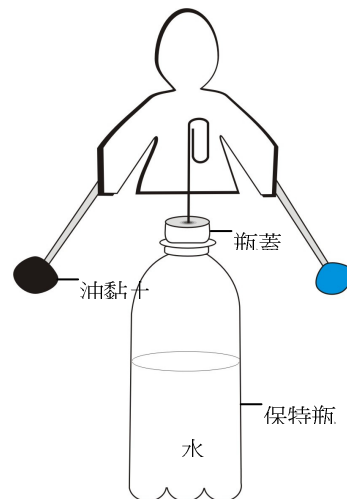


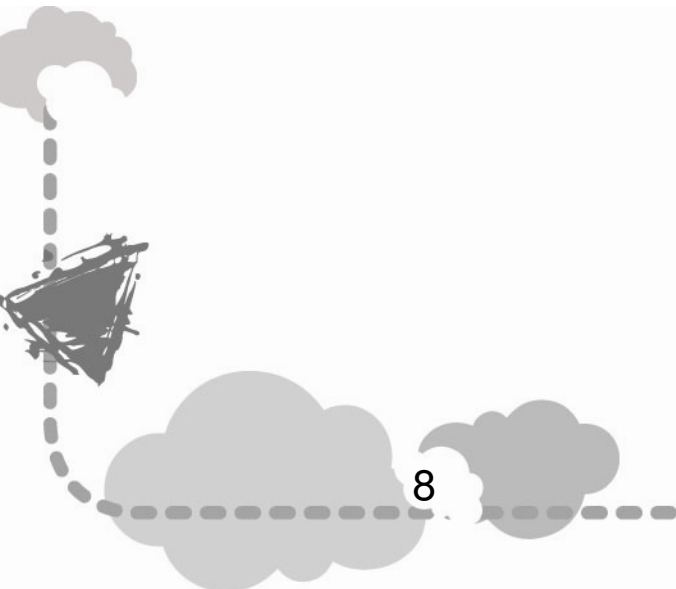
圖 2 紙板陀螺的平衡

製作

1. 取兩張薄紙板，剪成喜愛的造型，如圖 1（不一定人形）。
2. 剪四張雙面膠帶，貼在四個適當的地方，如圖 1 所示。
3. 取一個迴紋針，將其一端拉直，貼在紙板造型的正中央，露出紙板約 1.5 公分，如圖 1，作為支點。
4. 取兩支咖啡棒，分別貼在迴紋針的兩旁，如圖 1。
5. 在另一張紙板的四個相對的位置上，也貼雙面膠帶後，對整齊貼在第一張的紙板上，並用單面膠帶貼緊造型的外緣，使咖啡棒不易脫落。
6. 取兩塊約同重的油粘土，分別套在咖啡棒的末端，如圖 2，就完成了一個紙板陀螺。

操作

1. 將紙板陀螺的支點放在指頭上，看看陀螺是否平衡。
2. 若陀螺不平衡，可以加減左右兩個油粘土的重量或調整迴紋針的支點（左右或前後）。
3. 陀螺平衡後，可以放在指頭、原子筆、或瓶蓋上，如圖 2，使其轉動。



附件二

咖啡棒陀螺

蕭次融

(一)咖啡棒陀螺

目的 用咖啡棒製作陀螺，探討靜平衡與轉動平衡，以及影響轉動的因子。

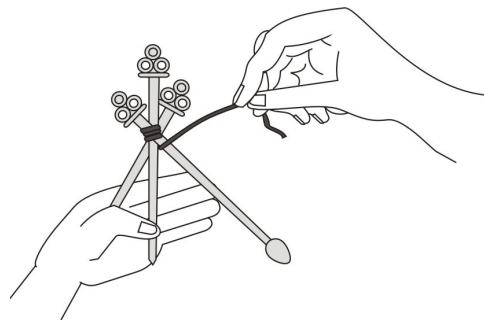
器材 咖啡棒、美工刀、剪刀、細線（或塑膠繩、網綁東西用的）、油粘土

步驟

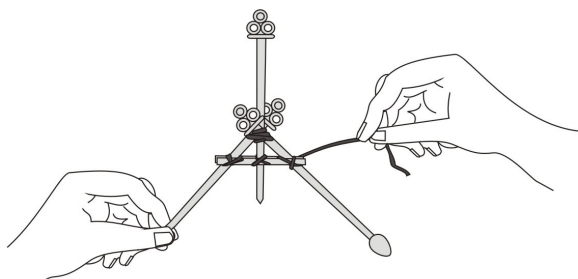
1. 取一支咖啡棒當作支柱(轉動軸)，用剪刀將刮勺剪掉，並將其一端剪成尖尖的，當作轉動時的支點。
2. 另取兩支咖啡棒，當作兩臂，放在支柱的上下，支柱要比兩臂突出，如圖一。
3. 用線先綁三圈如圖一，再將三支咖啡棒張開如圖二。
4. 將線穿過各角，再圍繞頂端綁數圈後，打一死結，得一陀螺雛形。
5. 再取一支咖啡棒，剪成兩小段後分別放在陀螺雛形的上下，用線綁緊三個接點，如圖三。
6. 用剪刀修剪多出來的線後，並要注意中間的支柱，不要綁得太緊，以利調整支柱的長短，用以改變支點與重心的相對位置。
7. 搓兩個油黏土（各重約5克），套牢於左右兩臂咖啡棒的刮勺，如圖四，即可放在指尖上，或置於瓶蓋上轉動。這種陀螺，轉動時，兩個小球彼此追隨，狀似（兩個）小孩，盡興（無猜）遊戲，轉圈圈（日月相隨），故又名兩小無猜。



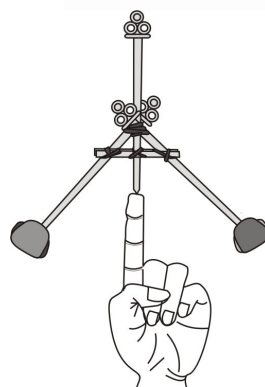
圖一 轉動軸高於兩臂



圖二 陀螺雛形



圖三 綁緊三個接點



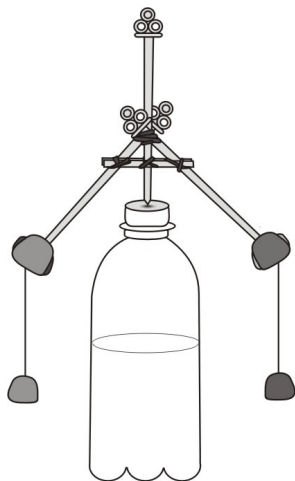
圖四 咖啡棒陀螺

想一想

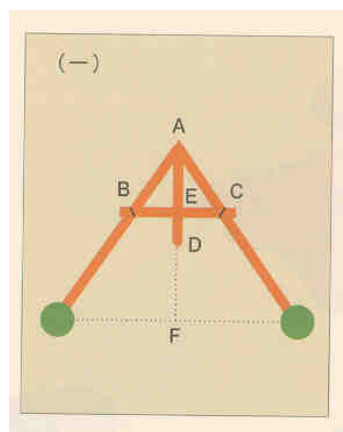
- 1.若改變中間的支柱（轉動軸）的長度，對轉動會有什麼影響？
- 2.若改變兩臂夾角的大小，對轉動會有什麼影響？
- 3.花式溜冰的選手，要旋轉時，其前後的姿勢（尤其是兩手排放的姿勢）有何不同？為什麼？
- 4.在咖啡棒陀螺的兩臂末端，各綁一條細線後，在線的最末端，各再綁一個油粘土如圖五，就成為鞦韆陀螺。然後轉轉看，有何感覺？要如何開始轉動，才能轉得平穩，為什麼？是否會轉得更久？改變線的長度與油粘土的大小，會有何不同？

說明

- 1.「兩小無猜」（咖啡棒陀螺）可視為陀螺的一種，因此轉動時整個陀螺的重心（如圖六的 F 點）與支撐陀螺的支點（D 點），以及 A 點，要成一直線，而且重心 F 一定要在支點 D 的下方，兩點相隔越大，陀螺越穩，但是轉得太快時，因離心力加大而搖晃。
- 2.兩小無猜除了在手指上旋轉之外，也可以放在寶特瓶的瓶蓋上旋轉，比賽誰的兩小無猜轉得久，而且也可以比賽壘羅漢，兩個陀螺相疊，以不同的方向轉動。
- 3.為了避免轉動時，兩小無猜滑出去，設法使瓶蓋凹下去一點。若是鐵或鋁製的瓶蓋，可以直接用筷子壓一下。若是塑料蓋子，則先用火（如打火機）溫熱一下，稍微軟化後，才用筷子壓一下即可。
- 4.要在寶特瓶的瓶蓋上轉動時，寶特瓶要裝水約半瓶，如此寶特瓶會比較穩定。



圖五 鞦韆陀螺



圖六 陀螺的重心與支點

(二) 羅漢陀螺的製作

活動二的轉動軸(旋轉軸)可以使用筷子、鉛筆、原子筆或原子筆的筆芯與竹筷。羅漢陀螺的製作方法與咖啡棒陀螺的製作相似，因此本節只略述用於活動二的羅漢陀螺的轉動軸。其目的在於儘量減小因摩擦的損耗與增強支點的耐摩性，使得轉動可以持久。要達到此一目的，筆者曾試了幾種方式，認為採用竹筷的末端插入原子筆的筆芯所得的轉動軸最適用。以下簡介其製作方法：

1. 取一支竹筷，剪成約 8~15 公分長(長短視實際需要而定)。

2. 從頂端一公分處劃一斜線(約 40 度角)如圖七，而離末端處約 1 公分劃一線後，將其間的竹筷削成比較薄的片狀。此一片狀的反面同樣削成片狀，如圖八的側面圖，中間部分的薄片，厚度約 0.2 公分。



圖七 轉動軸的正面



圖八 轉動軸的側面

3. 末端處用鑽子鑽一小孔道後，將原子筆的筆芯頭箱入。
頂端
 4. 頂端處用美工刀挖一個凹槽，以便疊羅漢時，承受頂上的咖啡棒陀螺。

