



## 轉不停陀螺的奧秘

陳義勳

台北市立教育大學 科學教育碩士學位學程

旋轉是物理學上的一個重要單元，日常生活中，陀螺的旋轉因受外在阻力影響下，經過一段時間是會停止的。但理想情況下(亦即在無其他外在阻力下)依角動量守衡原理，陀螺是會不停地以等角速度旋轉，但在日常生活當中，如何使陀螺轉個不停呢？

旋轉是物理學上的一個重要單元，日常生活中，陀螺的旋轉因受外在阻力影響下，經過一段時間是會停止的。但理想情況下(亦即在無其他外在阻力下)依角動量守衡原理，陀螺是會不停地以等角速度旋轉，但在日常生活當中，如何使陀螺轉個不停呢？

旋轉體之角動量及轉動動能

角動能  $\vec{L} = I\vec{\omega}$

轉動動能  $E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$

$I$  -- 角動量

$\vec{\omega}$  -- 角速度

依角動能守恆原理、能量守恆原理，理論上陀螺是會持續不斷的旋轉，但由於陀螺

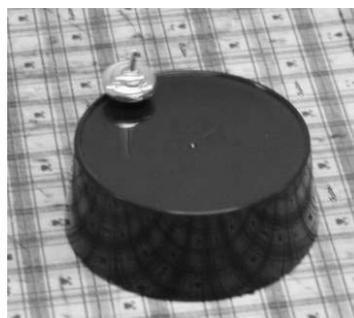


圖 1

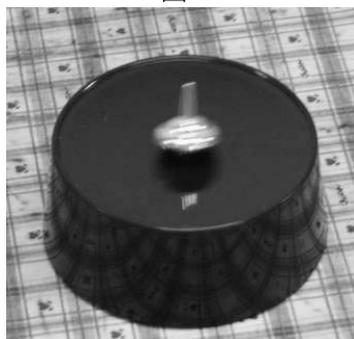


圖 2

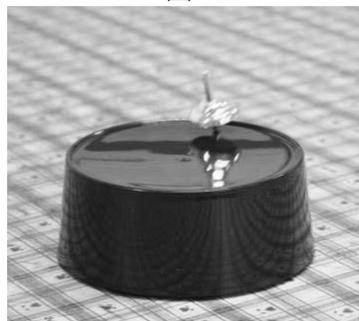


圖 3

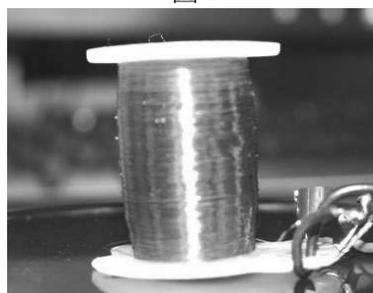


圖 4

與底座有所摩擦，會造成能量虧損，緊接著  $\vec{\omega}$  會變小，接下去便是陀螺越轉越慢，要如何使陀螺不停，就只有以帶有 NS 磁性之金

屬陀螺受底座下磁化鐵心〈通電的漆包線將包夾在中心的鐵心短暫磁化，此線圈裝置鐵心上端是 N 極〉推一把，來補償陀螺摩擦時所減少的轉速，以維持陀螺能旋轉而不倒下。

研究者針對轉不停陀螺試圖以定性說明並嘗試進行量的數據分析以提供物理教育者之參考。

## 壹、原理

轉不停陀螺的材料及線圈設計分兩部份，此架設裝置為可通電線圈，一個為較細的漆包線，另一個為較粗的漆包線，分別連接中間之電晶體裝置。

裝置上面蓋上一個外型為中央低、邊緣高的圓錐台，旋轉的陀螺是一個具有磁性且包覆一層塑膠的圓盤之磁鐵。當陀螺轉動時，具有磁性的陀螺由圓錐台外緣往中心旋轉，由於蓋子底下有線圈，因此線圈依照冷次定律產生感應電流，感應電流超過 H945P3A 電晶體的門檻電壓形成”開”啓動，電流經 H945P3A 電晶體放大  $\beta$  倍，使細漆包線電流加大，此時電晶體相當於一個開關，使得包在線圈內的鐵心形成暫時磁鐵，其中鐵心之上端形成 N 極。此暫時磁鐵對具有磁性的陀螺 N 極部分〈依安培右手定則得知〉，形成同性相斥的現象，使旋轉中之磁鐵陀螺被推了一把，轉速加快了。

事實上陀螺由圓錐台上緣旋轉至圓錐中央較低處的地方，因為位能轉換成動能的關係，所以陀螺旋轉速度加快了，因促發了感應電流，又將圓錐台上的旋轉陀螺推一把，速率就更快了，而陀螺再由較低的圓錐台中央依慣性又滑轉到較高的圓錐台邊緣，速度又因此減慢（動能轉換成位能，又受摩擦損耗了一部分動能）。

這個從最高點到低處圓錐台，又返回最



圖 5

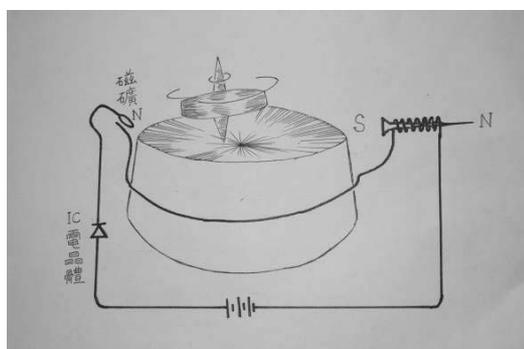


圖 6



圖 7

高點的現象不停週而復始，就是轉不停陀螺的奧秘。

上圖 5 是底座內部的構造，線圈分別粗與細不同的漆包線，其中粗與細的漆包線均與一個電晶體 H945P3A 連接，方式如圖 16 當磁性陀螺的 N 極造成其下線圈產生感應電流，啓動電晶體引發電晶體  $IC = \beta IB$ ，形成

中間的鐵心產生足夠的感應磁場來推動具有磁性陀螺一把，此時電晶體相當於一個開關，如此週而復始，使陀螺轉個不停，其原理與下圖 6 有異曲同工之妙。

經測量陀螺具有磁性，其強度內  $\vec{B}_{內}$

$$\vec{B}_{內} = 0.06mT$$

$V = 10.05\text{volt}$  (量測得到真正的電池電壓)

$R = 0117k\Omega$  (漆包線的電阻)

$$\vec{F} = Bil$$

由於通電的線圈產生磁場  $\vec{B}_{外} = \mu_0 ni\hat{z}$

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

$n$ --單位長度之匝數

$i$ --通過漆包線的電流

$$\vec{B}_{內} = 0.06mT(-\hat{z})$$

$N = 597133.75$  匝/m (計算出來)

$i = 0.086\text{Amp}$  (儀表測出)

$$\vec{B}_{外} = \mu_0 ni = 4\pi \times 10^{-7} \times 597133.75 \times 0.086 = 0.0645\hat{z}\text{Tesla}$$

$\vec{B}_{外}$  與  $\vec{B}_{內}$  會產生同性相斥，減少因陀螺因旋轉時，陀螺轉軸與接觸面的摩擦。

真正的精確計算乃要借助精密儀器測試，非本論文所欲介紹者，容下次再剖析。

其實 H945P3A 電晶體與兩團粗細不同之漆包線線圈連接如下圖圖 9，詳圖如圖 16 粗的漆包線與中間 B 極(Base)又與電池正極相接，電池負極連接粗的漆包線另一端，可形成通電之迴圈亦即磁性陀螺可以使粗漆包線產生感應電流，感應電流超過電晶體啟動電壓而細漆包線兩端分別接 H945P3A 之 E(Emitter)極及 C(Collect)極相接，使中間(直徑約 0.527cm)之鐵心磁化，其朝上端磁化為 N 極可推磁性陀螺 N 極一把。形成在錐形體之頂面之陀螺上推超出線圈磁效應範圍，又陀螺再下滑又落入漆包線範圍內再形成 H945P3A 電晶體之開關效果，再使感應超過

門檻電壓而形成”開”效果，週而復始使形成轉不停陀螺之效應。

## 貳、實驗器材

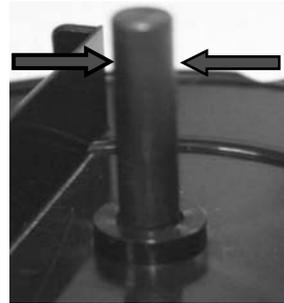


圖 8：鐵心直徑 0.527 公分，包在線圈內的鐵心



圖 9：線圈部分



圖 10：為中間鐵心，可讓線圈插入



圖 11：粗細漆包線纏繞的漆包線，中心為鐵心



圖12：附有方型電池的線圈主體



圖13：有N-S磁極之磁鐵與以其為主之塑膠旋轉軸可旋轉之陀螺成品



圖14：塑膠固定可旋轉之陀螺



圖15：陀螺含左右N-S之磁鐵

## 參、實驗結果與數據

轉不停的陀螺在科普活動中可以當作引起動機的引子，在定性講解還算可行，但如欲將此活動引入大學的普通物理上，又必須考慮到定量的計算，諸如：冷次定律及感應電流，測量陀螺的轉速要使用測速的儀表，量測感應電流的大小又要有精密的電表，嚴謹的理論，轉不停的陀螺可以作為可深可淺的物理教學教具，值得從國小到大學教師教學之參考。

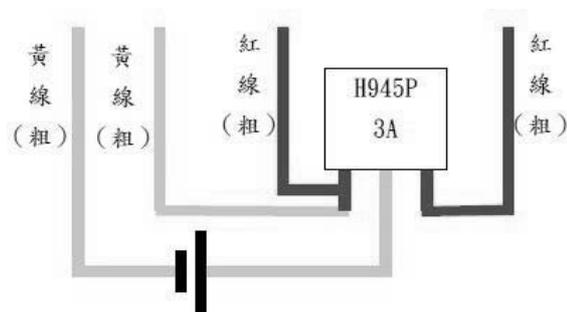


圖16：在H945P3A之線路簡圖