

投稿類別：物理類

篇名：

翻轉吧!硬幣~

作者：

徐茂紘。臺北市立永春高中。高二 16班

吳家宇。臺北市立永春高中。高二 16班

指導老師：

陳欣怡老師

葉淑芬老師

壹●前言

研究動機：

有一次課餘時間，我們幾位同學因閒著無聊，就拿起桌上的 CD 盤開始用手轉動，玩著玩著，發現 CD 盤轉動時會上下顛倒，實在很特別，為何會如此呢？後來我們上網查到一些跟轉動有關的實驗，發現硬幣上黏上黏土轉動時，也會發生同樣的現象，於是和物理老師討論其中運用到的各種物理原理，似乎相當有趣，因此我們決定朝這個方面研究看看。

貳●正文

一、研究目的：

- (一)探討不同質量圓盤對於轉動時間的影響。
- (二)探討重心偏低圓盤的轉動特性。
- (三)探討不同大小圓盤轉動特性的差異。

二、實驗原理：

(一)角位移 $\Delta \theta$ ：剛體上任一質點繞轉軸所轉的角度。

(二)角速度 ω ：單位時間的角位移。

1. 平均角速度： $\bar{\omega} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$ 。
2. 瞬時角速度： $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$ ，一般所稱的角速度指瞬時角速度。
3. 角速度 ω 與頻率 f 、週期 T 的關係： $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$
4. 角速度 ω 與線速度 v 的關係： $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r\Delta \theta}{\Delta t} = r \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} = r\omega$

(三)角加速度 α ：單位時間的角速度變化量。

1. 平均角加速度： $\bar{\alpha} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ 。
2. 瞬時角加速度： $\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$ 。
3. 角加速度 α 與切線加速度 a_t 的關係： $a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r\Delta \omega}{\Delta t} = r \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = r\alpha$

4. 法線加速度 a_n 與角速度 ω 的關係： $a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$

5. 總加速度為 $a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}$

(四)等角加速度運動：若剛體以初角速度 ω_0 ，作等角加速度 α 之轉動， t 秒時角速度變為 ω ，角位置由 θ_0 變為 θ ，則有以下關係：

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad \theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad \omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$$

(五)角動量：代表質點對轉軸的轉動狀態，為質點所在的半徑 R 與動量的乘積： $L = R \times P = Rmv$

又轉動物體的切線速率 V 可以寫成半徑 R 與角速度 ω 的乘積： $v = R \times \omega$

故可寫成： $L = R \times P = Rmv = mR^2\omega = I\omega$

(六)轉動慣量：是物體抗拒轉動狀態變化的慣性大小，物體對轉軸的轉動慣量越大，則改變其轉動狀態就越難。

1. 單一質點的轉動慣量：若質點的質量為 m ，與轉軸的距離為 r ，則此質點的轉動慣量為 $I = mr^2$

2. 剛體的轉動慣量：剛體內各質點之質量為 m_1 、 m_2 、 m_3 ……，與轉軸的距離為

$$r_1、r_2、r_3 \dots，則剛體之轉動慣量為 $I = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + m_3r_3^2 + \dots = \sum_i m_i r_i^2$$$

3. 中心軸通過圓心且垂直於盤面的圓盤轉動慣量 $I = \frac{1}{2}MR^2$

(七)力矩與角動量：

力矩是使物體轉動的物理量，若物體受到力矩 τ ，轉動的角加速度為 α ，物體的轉動慣量為 I ，則牛頓第二運動定律 $F=ma$ 在轉動中可寫成： $\tau = I\alpha$ 。

若物體轉動的角動量為 L ，對照力與動量的關係： $F = \frac{dP}{dt}$ ，力矩與角動量的關係

可寫成： $\tau = \frac{dL}{dt}$

8. 角動量守恆：

由於物體的力矩相當於是角動量的時變率： $\tau = \frac{dL}{dt}$ ，因此若物體所受的合力矩

為零，或不受力矩作用，則角動量不隨時而變，即角動量守恆： $L_1=L_2$ 。

三、實驗設計：

- (一) 先觀察圓盤轉動特性，設計讓圓盤每次轉動皆相同的實驗裝置。
- (二) 為了探討不同質量對於轉動軌跡的影響，我們以外加黏土改變其重心，並以攝影機拍出其轉動時間以及軌跡之變化。

四、實驗步驟和器材：

(一) 實驗器材：

1. 攝影機
2. 黏土
3. CD片
4. 10元的硬幣(直徑：26mm 重量:7.5公克重)
5. 自製光碟發射器 1 (高：44cm 長：46.3cm 球重：68.18gw 俯角： 35°)
6. 自製硬幣旋轉發射器 2 (高：29.5cm 長：46.3cm 球重：68.18gw 俯角度： 53°) 如圖一：



圖一：硬幣旋轉發射器

(二) 實驗步驟：

1.材料製作一：自製硬幣旋轉發射器

- (1)先將一根鐵條使用螺絲垂直固定在鐵條座上，作為固定器
- (2)另取一根木棒使用熱熔膠黏在可旋轉的鐵條上，作為彈射器

(3)在木板上使用螺絲起子穿一個洞並將可旋轉的鐵條穿入

(4)將一個鐵條用螺絲固定在另一個鐵條座上。

(5)將三樣物品條成適當距離，使用鐵球從有夾角的鐵條座上滑下，可撞擊到彈射器，硬幣旋轉發射器就完成了，如圖二



圖二：硬幣旋轉發射器

2. 實驗一：

(1)將硬幣固定在固定器上

(2)使鐵球從有夾角的鐵條作滑下，使硬幣開始旋轉

(3)使用攝影機紀錄下硬幣旋轉的時間

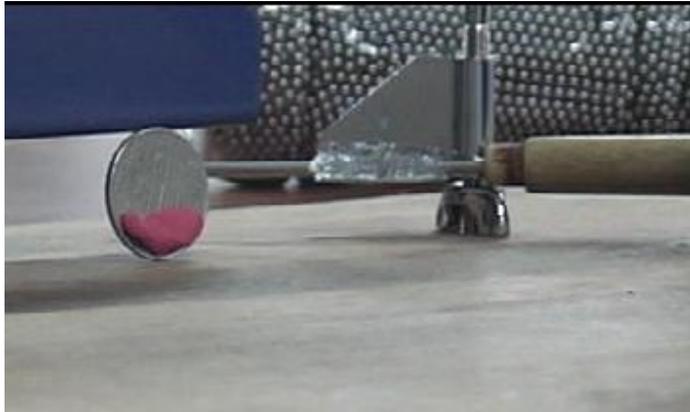


圖三：旋轉中的硬幣

3. 實驗二：

(1)取十元硬幣並將黏土黏在硬幣下方

- (2)將硬幣固定在固定器上
- (3)使鐵球從有夾角的鐵條作滑下，使硬幣開始旋轉
- (4)使用攝影機紀錄下硬幣旋轉時黏土的位置變化



圖四：附黏土的硬幣



圖五：旋轉的黏土硬幣



圖六：翻轉後的黏土硬幣

4.實驗三：

- (1)取 CD 盤並將黏土黏在 CD 盤上方
- (2)將 CD 盤固定在固定器上
- (3)使鐵球從有夾角的鐵條作滑下，使 CD 盤開始旋轉

(4)使用攝影機紀錄下 CD 盤旋轉實黏土的位置變化

(三) 實驗數據

1.實驗一：

沒有黏土的硬幣

時間單位:秒

	開始轉動時間	停止時間	轉動時間
第一次	1.26	5.74	4.48
第二次	0.74	5.13	4.37
第三次	0.8	5.67	4.87
第四次	0.69	6.5	5.81
第五次	0.63	5.81	5.18
平均時間			4.942

2. 實驗二：

有黏土的硬幣

時間單位:秒

	開始轉動時間	停止時間	轉動時間	翻轉時間	開始至翻轉時間
第一次	0.62	6.74	6.12	3.43	3.81
第二次	0.61	6.41	5.8	3.92	3.31
第三次	0.57	5.9	5.33	3.32	2.75
第四次	0.45	6.58	6.13	3.61	3.16
第五次	0.63	5.64	5.01	3.78	3.15
平均時間			5.678		3.236

3.實驗三：

由於 CD 盤的轉動時間太短，且轉動狀況不穩定，導致每次實驗誤差頗大，因此其測量結果分析不出物理意義。

(四) 討論

1. 由實驗結果可發現黏土的硬幣因為重量較重，轉動慣量較大，轉動時較穩定，轉動時間會較長。
2. 實驗時發現有黏土的硬幣會有會有翻轉現象，即當黏土置於硬幣底部，受力矩作用開始旋轉時，其底部會明顯的翻轉到頂部。推測可能原因為：當倒轉時，重心上移，使重心與硬幣旋轉支點的連線與中心線夾角的角度變小，所以倒立時硬幣晃動比較小，更為穩定。若硬幣重心偏下，當硬幣正轉時，其重心到支點的連線與中心線的夾角角度較大，使得硬幣旋轉的晃動較大，於

是產生動摩擦力的時間也較長，而這摩擦力正是推動硬幣翻轉的力量來源。此黏土硬幣的翻轉現象與倒轉陀螺類似，皆是使其趨向於較穩定狀態。

3. 在實驗三中，因為鐵球撞擊的力量對 CD 盤而言不夠大，CD 盤受到的力矩小，產生的角速度、角動量較小，轉動時易受阻力作用而停止，轉動時不穩定，因此難比較轉動性質。

參●結論

(一) 實驗結論與展望：

1. 這次實驗結果明顯看出有黏土的硬幣轉動時間較長。主因為質量大，轉動慣量較大，因此轉動時較穩定，轉動時間會較長。
2. 由這次實驗可觀察到黏土硬幣於轉動時的翻轉現象。未來可以將黏土置於不同位置，比較硬幣翻轉時間及現象，進而討論不同重心對於翻轉過程的影響。
3. 實驗時計畫使用 CD 盤主因為 CD 盤面積大於硬幣的面積，易於觀察圓盤轉動現象，但因 CD 盤發射器所產生的力矩太小，使其不易轉動，難以觀察轉動現象。未來將改進其 CD 盤發射器，以便於觀察圓盤轉動以及翻轉現象。

(二) 實驗心得：

我們對於這一次實驗感觸非常多，從一開始的如何創造出自製硬幣發射器，問題就慢慢的浮現出來，和我們一開始想像的差的很多。例如：一開始打算用黏土製造發射器，不過黏土的黏性太低，導致硬幣發射器的支架無法固定，後來換成鐵架也因為高度不符的原因導致又要換掉，之後又出現接二連三的問題，不過我們也慢慢的把問題克服，最後我們完成了實驗。實驗過程中一度出現放棄的念頭，幸好老師拉了我們一把，讓我們能堅持到底。我們在此次實驗中收穫許多，不但學到了關於這方面的知識，也學到許多精神，真的是一次很值得實驗。

肆●引註資料

一、Halliday/ Resnick/ Walker, *Fundamentals of Physics*, Jearl John Wiley & Sons Inc

二、林秋雪等(2010)。陀螺大「倒」~就是要「翻」!。中華民國第50屆中小學科學展覽會 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/pdf/030815.pdf>

三、張孔博等(2002)。魔力?摩力!我的陀螺會倒立。中華民國第42屆中小學科學展覽會 <http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/42/pdf/d/1/030107.pdf>