

新竹市第四十二屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：物 理

組 別：國小組

作品名稱：錢從天降～「轉」翻了

關 鍵 詞：錢幣、旋轉、夾扭

編 號：

作品名稱：錢從天降～「轉」翻了

摘要

本研究是探討如何設計投幣板裝置，讓錢幣 1、5、10、50 元的旋轉時間最久。以不同夾距、夾角、夾突、夾片材質、3D 凹槽轉板為研究變因，發現：

(一)夾片—水滴髮夾 6、7cm 比較，以 7cm 內圈粗頭較佳；夾距小、夾角大、夾突長，有助於錢幣旋轉。

(二) 3D 轉板—拋物面凹槽型式(面寬 80mm)旋轉效果最好、旋轉時間最長 10.15s(50 元)。

(三)夾片材質—不鏽鋼彈片 w 0.5、1cm 及水滴髮夾 w 0.8cm 比較，水滴 w 0.8cm 最佳。

(四)錢幣種類不同—重量(雙幣)較重，旋轉時間較長。

錢幣種類相同—重量較重，旋轉時間較短，因會有反彈和摩擦力增加的現象發生。

(五)錢幣自轉、旋轉軌跡方向—「上夾片往左後+下夾片往右前」夾扭：順時針；

—「上夾片往右後+下夾片往左前」夾扭：逆時針。

壹、前言

一、研究動機

農曆新年，爸爸收到朋友祝福送的一個存錢筒的禮物，這個存錢筒很神奇，它叫「轉(賺)錢罐」。錢幣從上方投幣孔投下去，掉落到一個圓弧狀的凹槽，竟然會旋轉一段時間，有著「扭轉『錢』坤」的寓意，象徵錢幣旋轉時間越久，好運、財運就跟著來。這個存錢筒引起我的好奇及興趣，為什麼錢幣投下去會旋轉？我發現投幣孔下方有二個夾片，錢幣投入後會因夾片夾扭而產生旋轉的現象，這啟發了我們科展的研究動機——想瞭解在投幣孔下方的裝置：夾片的材質、兩個夾片的距離(夾距)、夾片與投幣孔徑的角度(夾角)、夾片突出的長度(夾突)、投幣距離及凹槽的型式，如何去設計才能讓錢幣從投幣孔投入後，旋轉的時間越久，帶來「錢從天降～『轉』(賺)翻了」的好兆頭。



圖 1-1 轉(賺)錢罐—錢幣從上方投幣孔投下去，掉落到圓弧凹槽，會產生旋轉

二、研究目的

- (一)探討投幣板不同設計對錢幣旋轉的影響，找出最佳投幣板裝置
- (二)程式學習(雷射切割、3D 列印、Arduino UNO 基本操作、BlockDuino 程式碼撰寫原理運用)
- (三) 3D 轉板型式(凹槽型式+面寬)不同，對錢幣旋轉時間的影響
- (四)夾片材質不同對錢幣旋轉時間的影響
- (五)錢幣重量(單幣、雙幣)對錢幣旋轉時間的影響
- (六)夾片的排列位置(排列、方向)對錢幣旋轉方向的影響
- (七)投幣機組結合 Arduino 程式開發板創作「祝福舉旗玩具」

三、文獻回顧

在實驗前，我們上網查閱錢幣旋轉的相關研究資料，發現以下研究：

表 1-3-1

文獻	科別	作品名稱	研究主題
第一篇	第 50 屆科展國小組 物理科	旋轉吧！錢幣！	圓形錢幣 利用彈射旋轉
第二篇	新竹市第 39 屆科展國小組 生活與應用科學(二) (環保與民生)	錢來「運」轉～好運轉轉轉	圓形錢幣 利用向心力旋轉

文獻(一)「旋轉吧！錢幣！」：是研究圓形錢幣在桌面上，利用彈射棒讓錢幣旋轉，發現影響錢幣旋轉的因素有敲打的位置、敲打的力量、加重物的重量、離心力。

文獻(二)「錢來『運』轉～好運轉轉轉」：是研究錢幣利用向心力在不同坡度漏斗盆中、錢幣切入漏斗的不同角度的旋轉效果。

我們與這二篇文獻的研究方向不同的是：

(一)錢幣旋轉的力量來源：

文獻(一)是以橡皮筋做為彈射的力量讓錢幣在桌面上旋轉；文獻(二)是利用向心力讓錢幣在漏斗盆中旋轉；而本研究是利用彈性夾片的扭力、木棍經由橡皮筋連動的扭力，讓錢幣在凹槽上旋轉。

(二)錢幣受力的方向及部位：

文獻(一)是以固定器固定錢幣的一側，再以彈射棒分別彈射錢幣的左右二側，探討錢幣旋轉的時間及運轉的軌跡。而本研究是將錢幣向下壓入投幣孔後，以二個平行的夾片+夾片不同排列方向，讓錢幣的左右二側同時受到夾扭，探討錢幣的旋轉方向與旋轉時間。

(三)研究的變因：

文獻(一)是以彈射力量、彈射位置、彈射棒與錢幣夾角及錢幣不同的載重為研究變因，對錢幣旋轉的探討。文獻(二)是以漏斗的不同坡度、滑軌不同的切入角度為研究變因，對錢幣旋轉時間的探討。本研究是偏向於投幣板的設計，以不同扭力的來源、夾距、夾片與投幣孔徑的夾角、夾片突出長度及錢幣重量對錢幣旋轉時間的探討。

貳、研究設備及器材

錢從天降機構	塑膠瓦楞板、水滴髮夾(5、6、7cm) 不鏽鋼彈片(5*40*0.3mm、10*50*0.3mm) 平鐵片(22孔 55*10*0.6mm、六角9孔 35*10*0.6mm、2孔 30*8*0.6mm) 螺絲 (M2*5mm、M2.6*5mm、M4*20mm)、雷切立體中空支撐架 3D 凹槽轉板、Arduino UNO、HX711 重量感測模組、壓克力板
實驗素材	1、5、10、50 元錢幣
測量設備	量角器、計時器
創造設備	Beambox Pro 雷射切割機、3D Printer Mini 2 (圖 2-1~2-10)

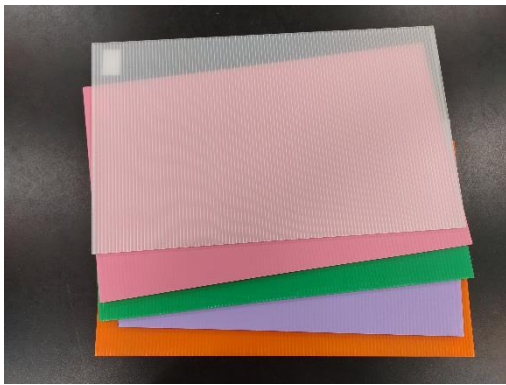


圖 2-1 塑膠瓦楞板



圖 2-2 水滴髮夾 (5、6、7cm)



圖 2-3 不鏽鋼彈片—5*40*0.3mm
10*50*0.3mm



圖 2-4 平鐵片—22孔 55*10*0.6mm
六角9孔 35*10*0.6mm
2孔 30*8*0.6mm
螺絲—M2*5mm、M2.6*5mm



圖 2-5 雷射立體中空支撐架



圖 2-6 3D 凹槽轉板(弧面、拋物面)



圖 2-7 錢幣 1、5、10、50 元



圖 2-8 Arduino UNO



圖 2-9 HX711 重量感測模組



圖 2-10 螺絲 M4*20mm、杜邦線
壓克力板、MG90S 伺服馬達

參、研究過程、研究方法及研究架構

一、研究過程



圖 3-1-1 將塑膠瓦楞板裁切成 12*12cm 的正方形

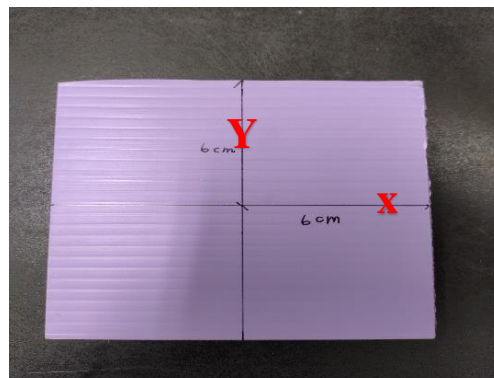


圖 3-1-2 在正方形邊上 6cm 的地方畫一條線，即為中心線 \bar{X} 、 \bar{Y} ， \bar{X} 、 \bar{Y} 互相垂直

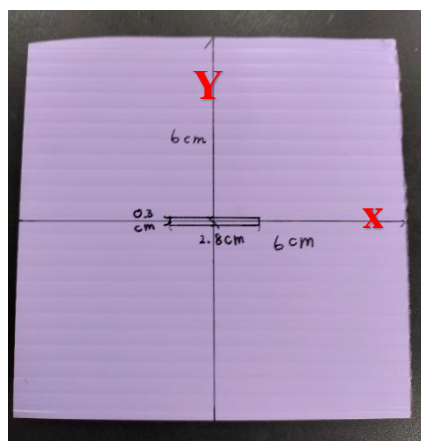


圖 3-1-3 以二條 \bar{X} 、 \bar{Y} 中心線的交點處，切割一個 2.8*0.3cm 的投幣孔

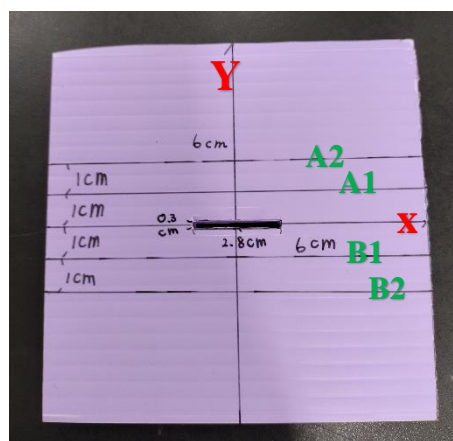


圖 3-1-4 在水平中心線 \bar{X} 上下二端，間隔 1、2cm 各畫出一條輔助線，即為輔助線 $\bar{A1}$ 、 $\bar{A2}$ 、 $\bar{B1}$ 、 $\bar{B2}$



圖 3-1-5 將 2 個 7 cm 的水滴髮夾的內圈取出，做為錢幣旋轉的夾片

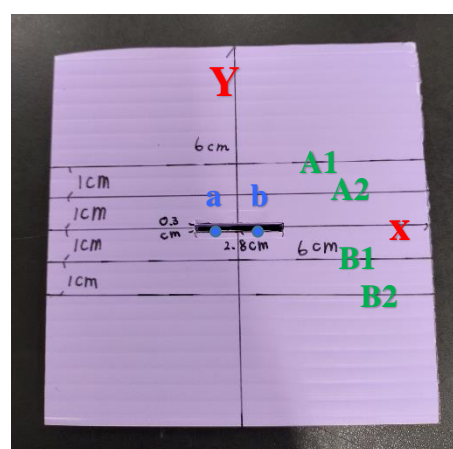


圖 3-1-6 在投幣孔的中心左右二端 0.35cm 處各標示出基準點 a、b， \bar{ab} 即為兩個夾片的距離(夾距) = 0.7cm

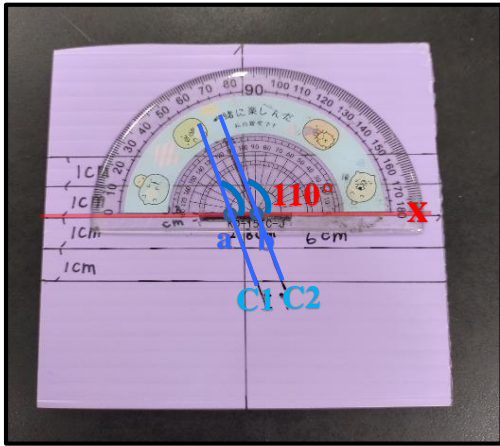


圖 3-1-7 利用量角器測量，分別畫出通過基準點 a、b 與 \bar{X} 形成 110° 夾角的輔助線 \bar{C}_1 、 \bar{C}_2

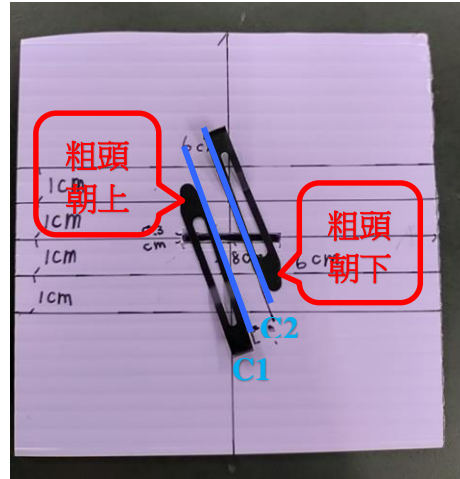


圖 3-1-8 將二個夾片其中一個粗頭朝上、一個粗頭朝下，夾片內側對齊輔助線 \bar{C}_1 、 \bar{C}_2

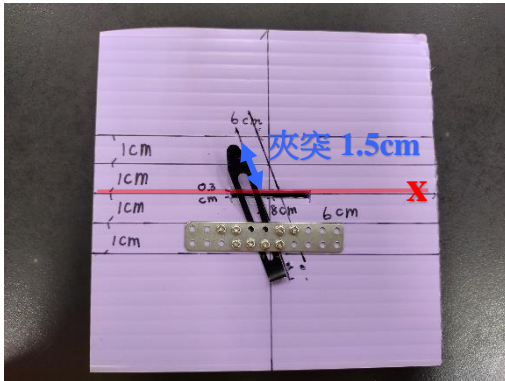


圖 3-1-9 調整夾片與 \bar{X} 的突出長度(夾突)1.5cm，再用平鐵片和螺絲將夾片固定

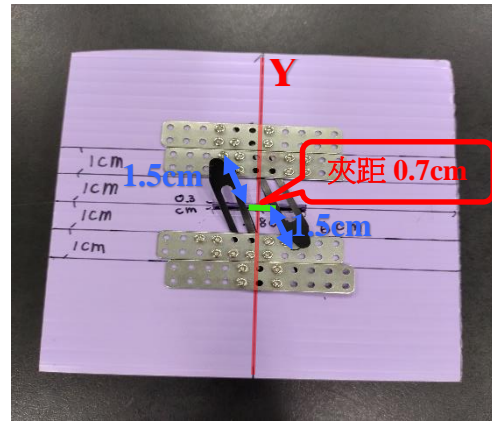


圖 3-1-10 二個夾片固定完成，上下夾片互相平行，夾片內側與 \bar{Y} 等距(0.35 cm)，兩個夾片的距離(夾距)0.7cm，夾突 1.5cm



圖 3-1-11 投幣板背面螺絲突出尖銳，用瓦楞板覆蓋住



圖 3-1-12 再用熱熔膠黏在螺絲尖端，以免操作時手被割傷

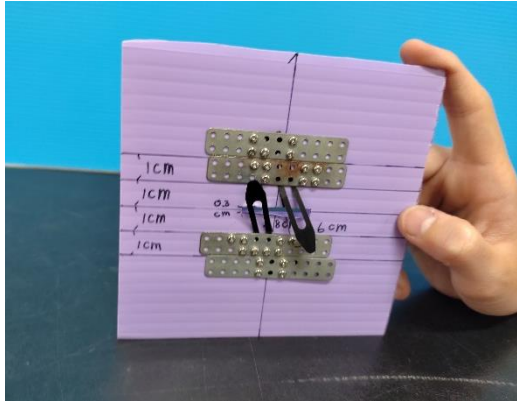


圖 3-1-13 投幣板完成

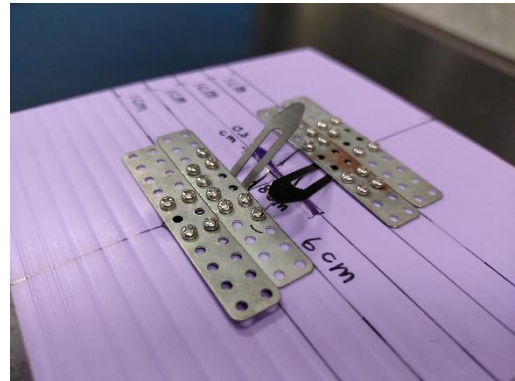


圖 3-1-14 投幣板完成



圖 3-1-15 投幣板完成

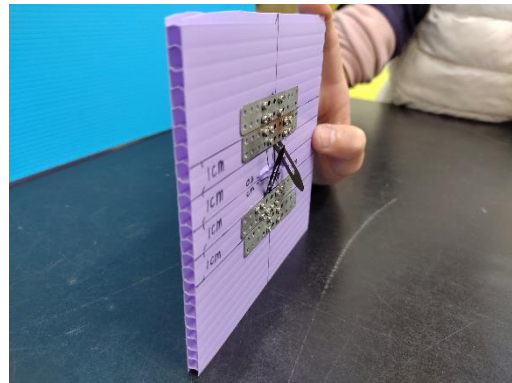


圖 3-1-16 投幣板完成

二、研究方法



圖 3-2-1 投幣板放在支撐架上

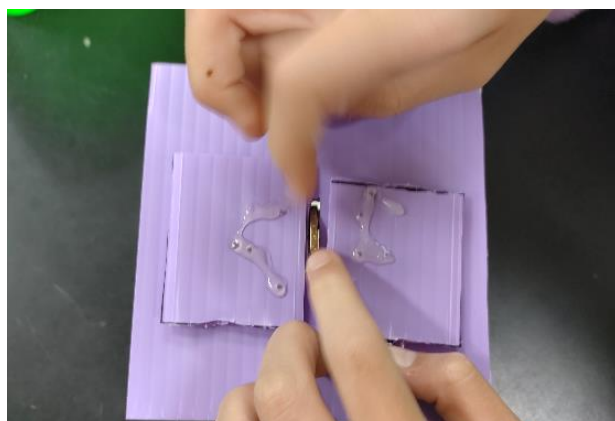


圖 3-2-2 將錢幣放入投幣孔內



圖 3-2-3 將錢幣放入投幣孔內



圖 3-2-4 將錢幣放入投幣孔內

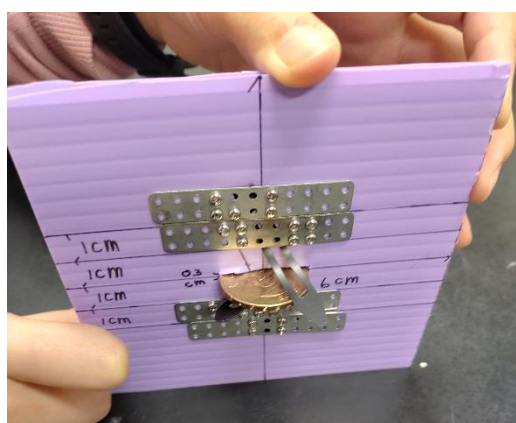


圖 3-2-5 錢幣會被夾片夾扭

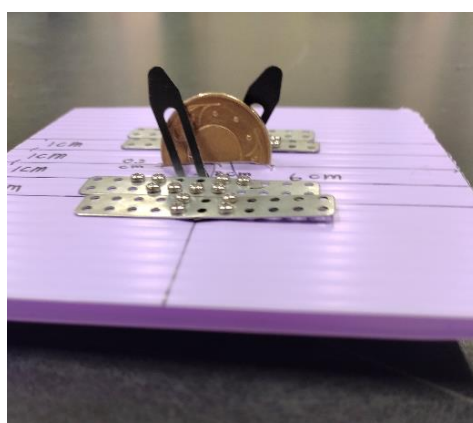


圖 3-2-6 錢幣會被夾片夾扭

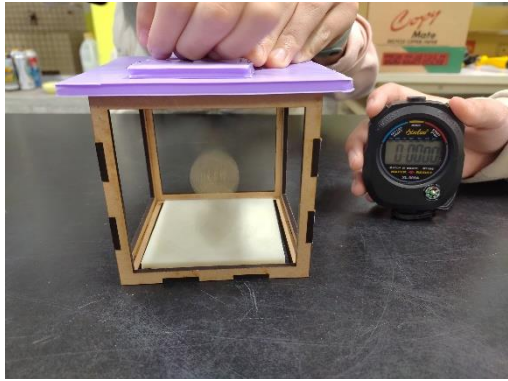


圖 3-2-7 錢幣自投幣板掉落

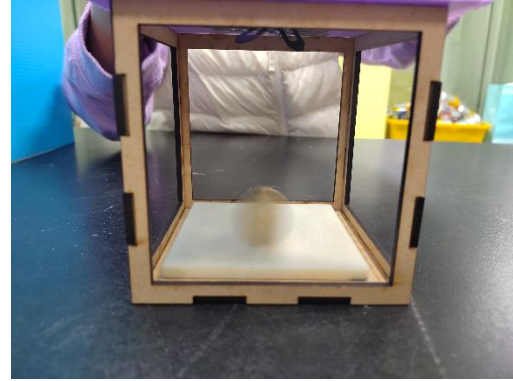


圖 3-2-8 錢幣掉落到 3D 轉板中旋轉

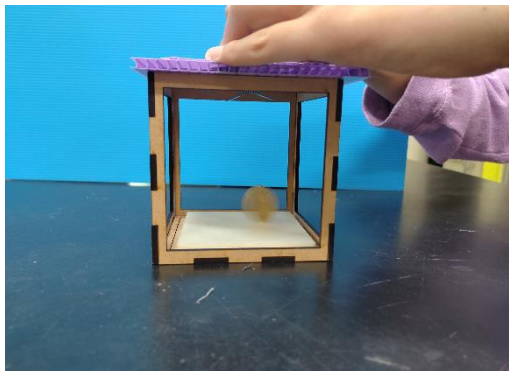


圖 3-2-9 錢幣掉落到 3D 轉板中旋轉

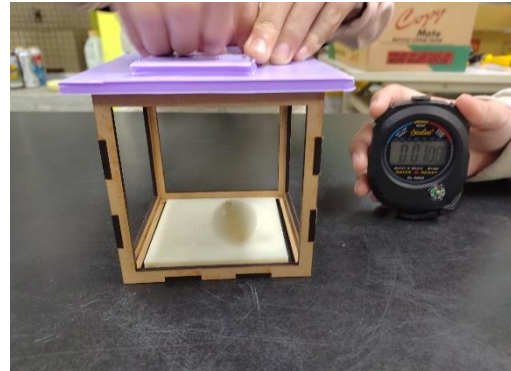
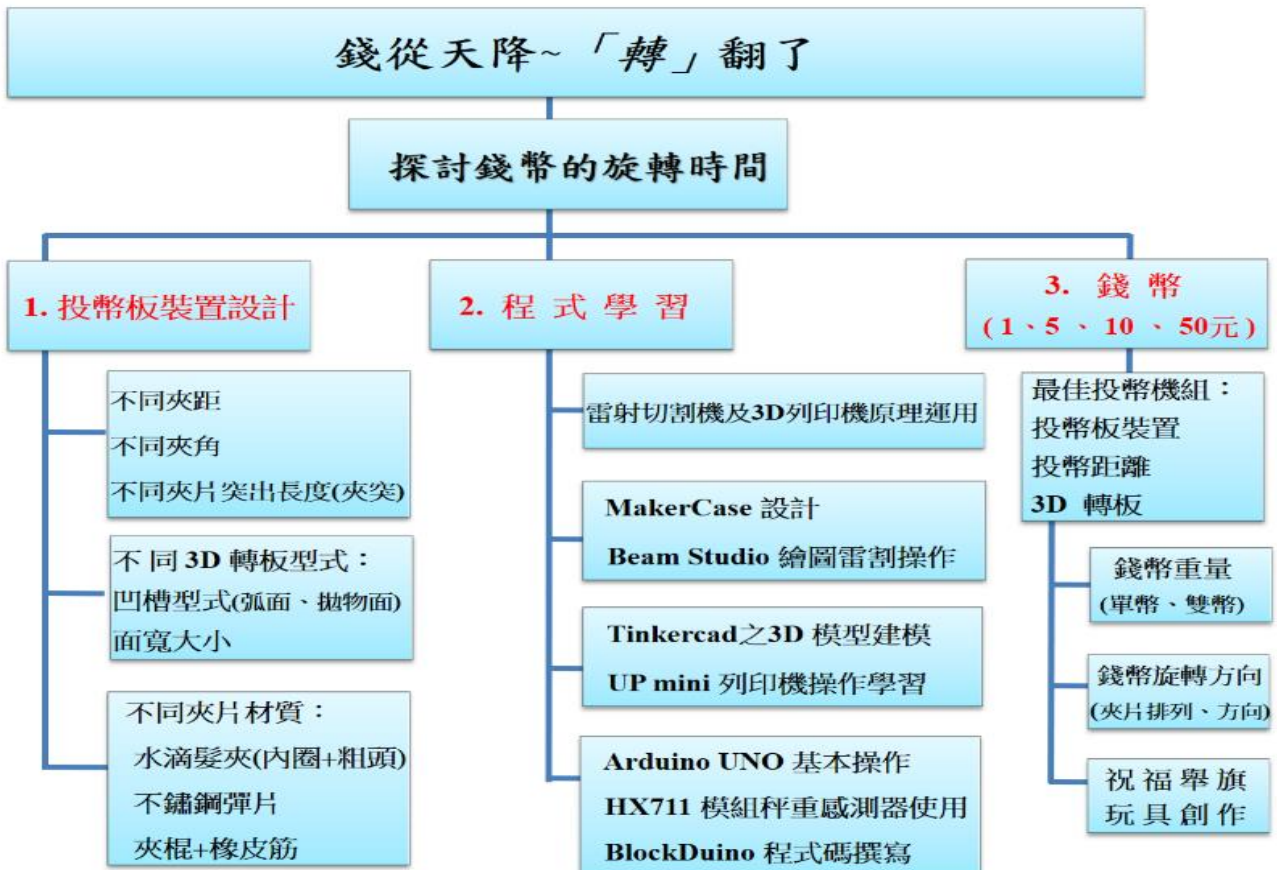


圖 3-2-10 利用計時器記錄一錢幣在 3D 轉板中旋轉的時間

三、研究架構



肆、研究結果

一、製作投幣板的支撐架

在研究前，我們上網查閱錢幣旋轉的相關研究資料，發現可以扭轉錢幣的夾片，有使用不鏽鋼彈片或用橡皮筋連動木棍，都是屬於有彈性的材質，我們想到平常會用髮夾(水滴型)來夾頭髮，它也有彈性又方便取得，於是先用水滴髮夾(取內圈)來當夾片，開始進行投幣板裝置的製作。

投幣板製作完成後，我們將錢幣投入投幣孔進行測試，錢幣會經過夾片的夾扭而產生一股旋轉的力量，掉落到桌面後可以成功旋轉一段時間。但發現錢幣會因從投幣孔掉落到桌面的距離(投幣距離)，高度落差不同而導致加速時間的差異，錢幣碰撞桌面的力道因此不同，造成轉軸不穩定，進而影響錢幣旋轉的成功率。實驗過程發現**問題(一)**：因為手拿著投幣板投幣，很難精準固定投幣距離(圖 4-1-1)。

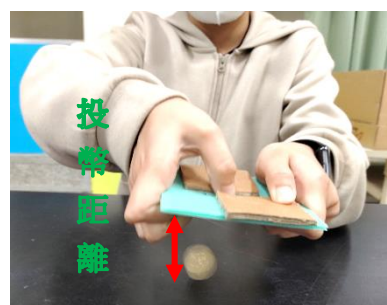
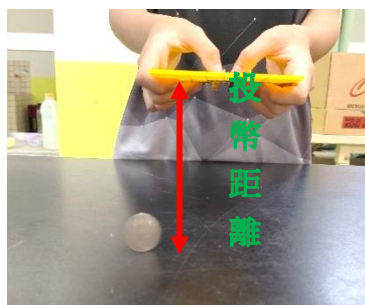
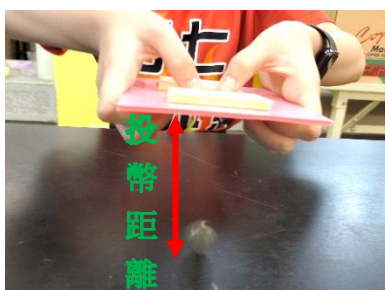


圖 4-1-1 投幣距離不易固定

於是我們想製作一個立體支撐架，將投幣板放在支撐架上再投幣，這樣就可以成功固定投幣距離，我們先利用雷切軟體 Beam Studio 繪製支撐架的圖檔，再使用雷切機雷切木板製作支撐架。

因我們想要做的支撐架型式是中空的，才能方便觀察錢幣掉落到桌面的旋轉情形，所以構想是先繪製一個立體箱子，再去掉中間區塊，就能形成一個立體中空支撐架。

【步驟一】先利用 MakerCase 繪製箱子：

1. 將單位改為 mm。
2. 輸入立體箱子的寬 100mm、深 80mm、高 100mm。點選尺寸「外側」、材質厚度 3mm、有蓋
3. 邊緣接合類型：指接樺接合、指接樺接合大小：19.5。



圖 4-1-2

【步驟二】

1. 下載箱子藍圖，產生立體箱子六個面的設計圖檔。
2. 點選「切口與角落補償」、切割補償類型：角落補償，設定雕刻機鑽頭直徑 0.15mm、下載 .SVG 檔。

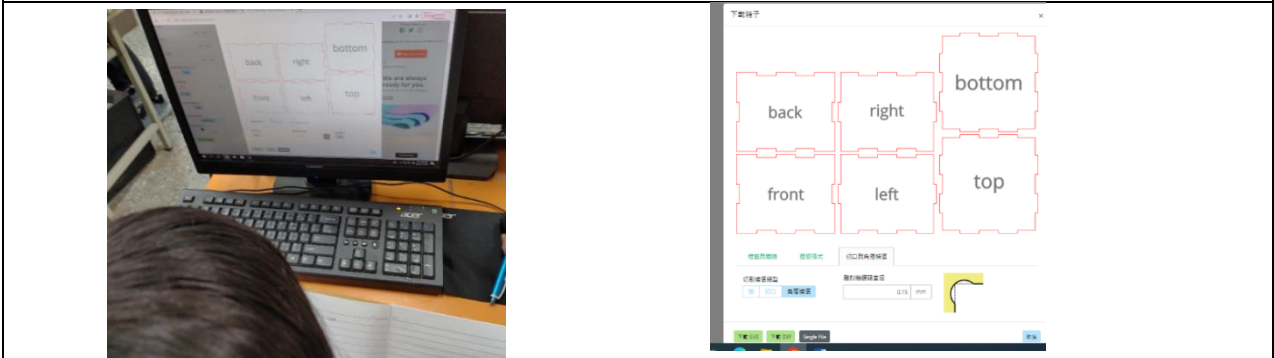


圖 4-1-3

【步驟三】

1. 到雷切軟體 Beam Studio 將圖檔打開，在箱子的上下二個面的中間繪製一個正方形置中，設定寬 80mm、高 80mm。前後左右四個面的中間繪製一個長方形置中，設定寬 80mm、高 60mm。圖層：切割的圖檔。
2. 形成一個寬 100mm、深 80mm、高 100mm，骨架寬 10mm 的立體中空支撐架。

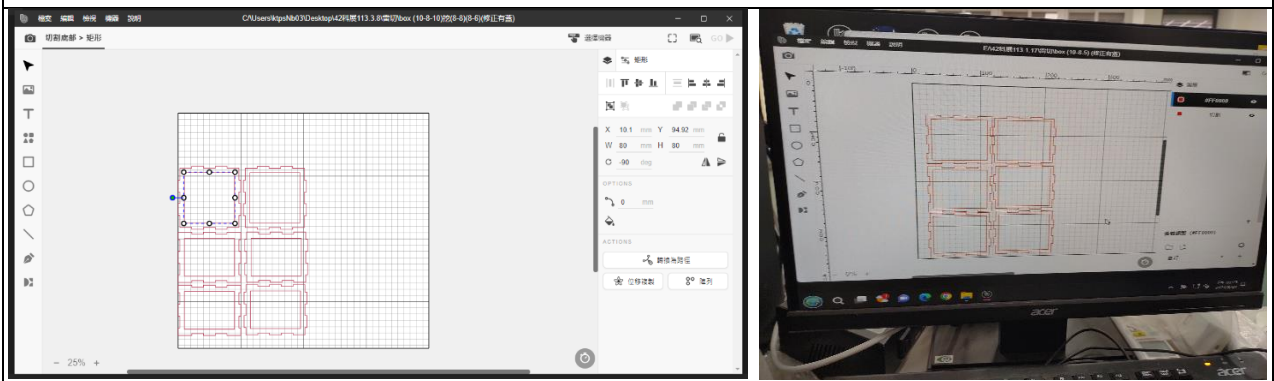


圖 4-1-4

【步驟四】

使用雷切機雷切製作支撐架的組件。組裝組件後立體中空支撐架製作完成。

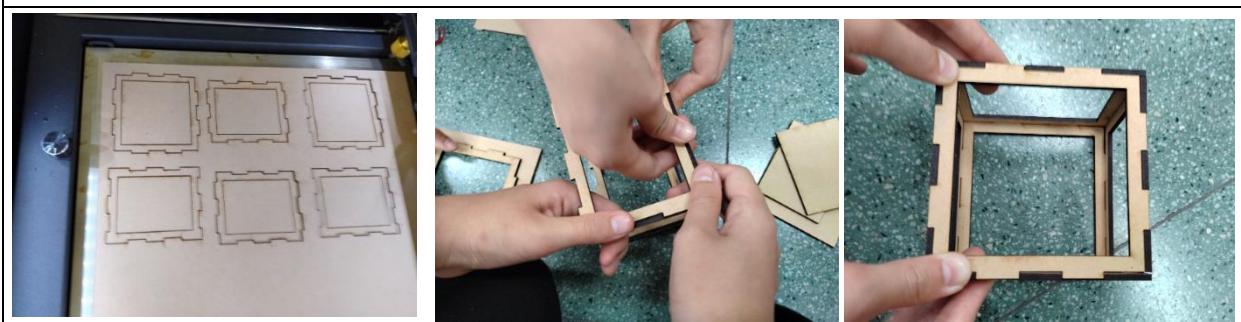


圖 4-1-5

二、製作 3D 轉板

支撐架做好後，我們將投幣板放在架上面投幣，成功解決**問題(一)**固定投幣距離，但接著在實驗中發現**問題(二)**：錢幣從投幣孔掉落到桌面旋轉，有時會打到支撐架的骨架而停下來，無法順利旋轉(圖 4-2-1)。

於是我們想設計一個弧面凹槽的 3D 轉板，放在支撐架底部，讓錢幣掉落可以順利在轉板上旋轉，不會打到骨架。我們找了免費線上軟體—Tinkercad，它可以繪製 3D 模型，打算利用它來繪製 3D 轉板。

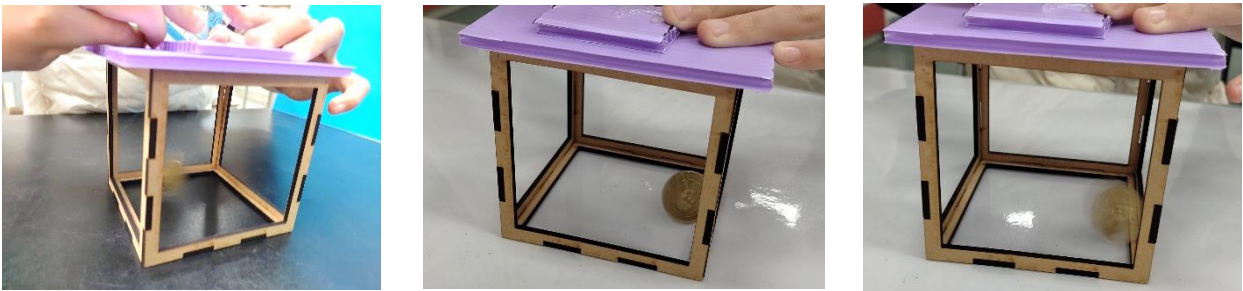


圖 4-2-1 錢幣掉落到桌面旋轉會打到骨架

【步驟一】建立 80*80*5mm 的正方體

1. 打開 Tinkercad，點選：+建立、3D 設計。
2. 因 3D 轉板是一個正方體的底座，所以先從基本造型區，取一個方塊到工作平面上。
3. 設定方塊底座的大小：長 80mm、寬 80mm、高 5mm，實體。

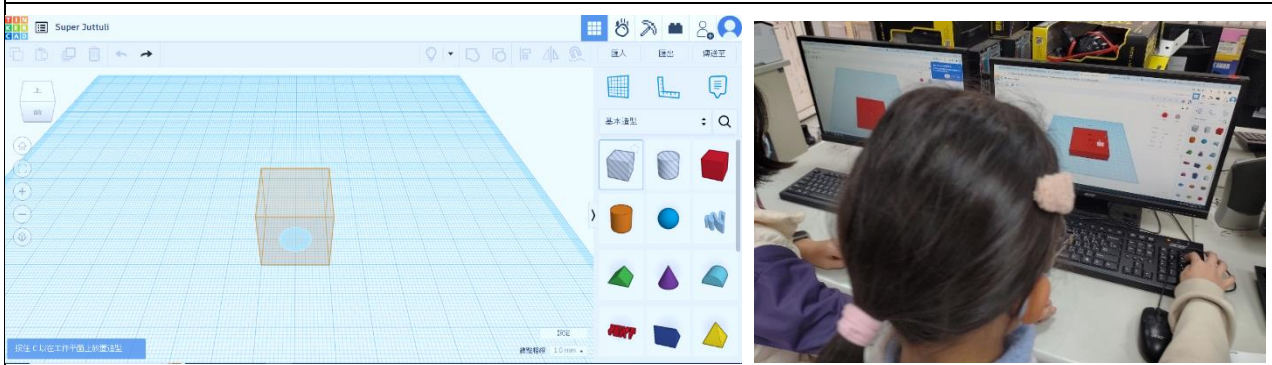


圖 4-2-2

【步驟二】 建立 80*80**3mm 的半球體

因 3D 轉板上是一個弧面凹槽，所以從基本造型區，取一個半球體到工作平面上，設定半球體的長 80mm、寬 80mm、高 3mm、孔，因凹槽朝上，半球體旋轉 180°。

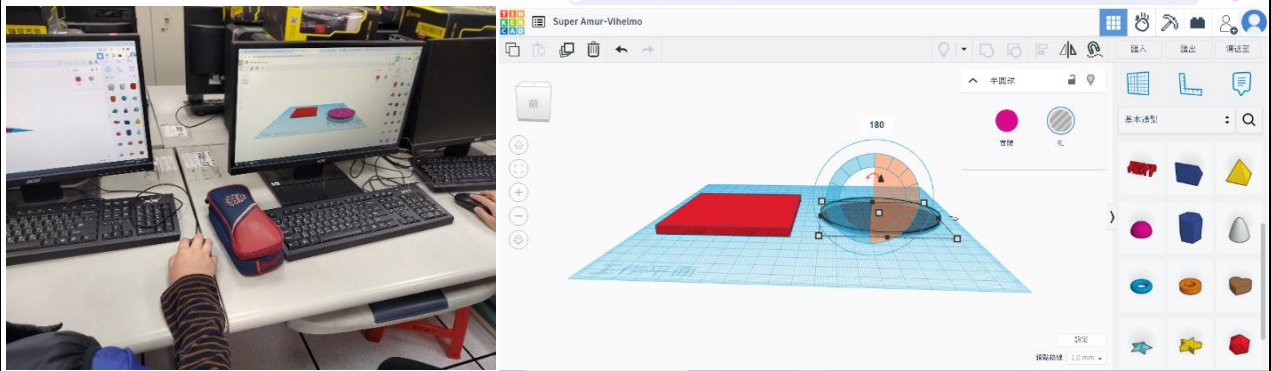


圖 4-2-3

【步驟三】

將半球體放置到正方體的上方，半球體的長寬與正方體置中對齊，半球體上方則要與正方體上方對齊。

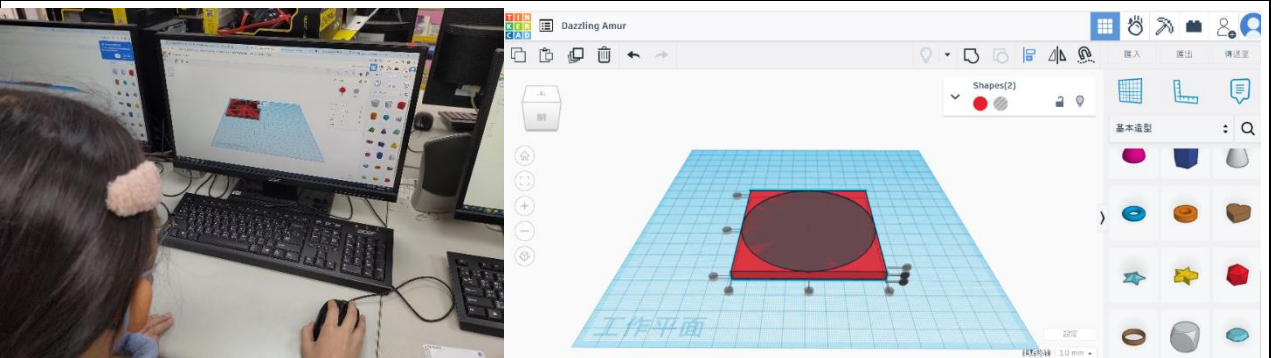


圖 4-2-4

【步驟四】

1. 將正方體和半球體組成群組後，匯出.stl 檔案，3D 轉板模型建模完成。
2. 打開 UP Studio，點選「UP+ 添加模型」，上傳檔案後按下打印，用 3D 列印機 (UP Mini2) 列印，3D 轉板製作完成。

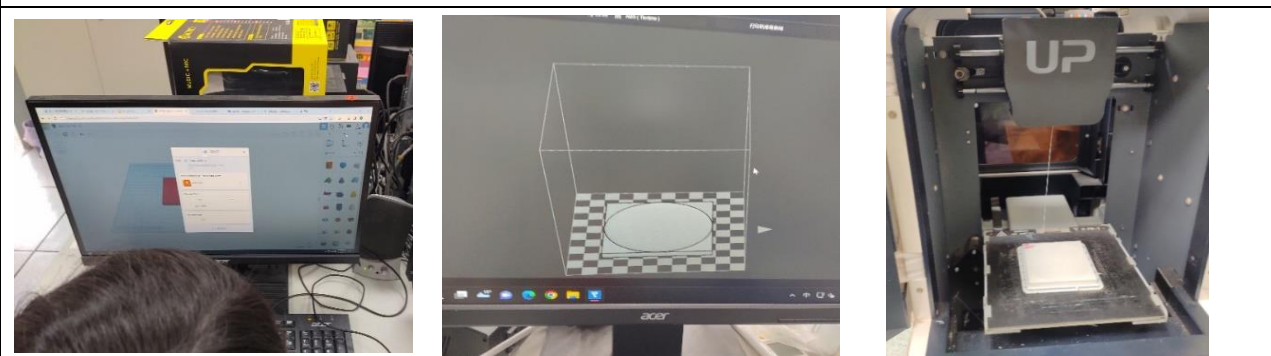


圖 4-2-5

三、找出最佳投幣板裝置

投幣板的裝置是先以水滴髮夾 6、7cm 的內圈粗頭來做夾片，再以不同的夾距、夾角、夾突來設計，並調整投幣距離，以錢幣(1、5、10、50 元)為研究對象，利用計時器記錄一錢幣從投幣孔掉落到 3D 轉板中旋轉的時間，每一個實驗做 5 次，統計 5 次旋轉時間再加以平均，探討不同投幣板裝置對錢幣旋轉時間的影響。

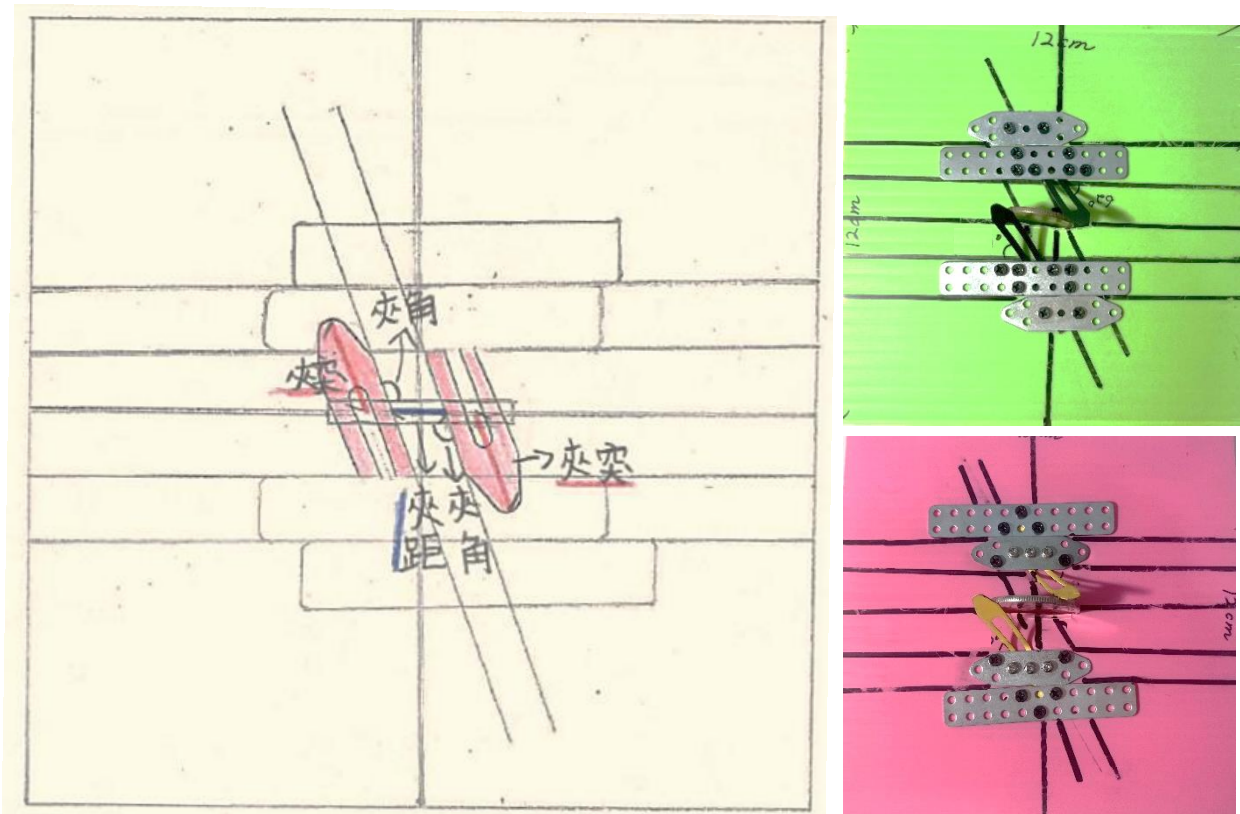


圖 4-3-1 投幣板裝置設計圖

【前導實驗】在製作前導版時，投幣孔徑與夾片的夾角 $< 90^\circ$ ，夾力強但扭力弱，錢幣不易扭轉，投幣距離須調整 4.5cm 才較容易旋轉成功，成功率低且不易觀察。

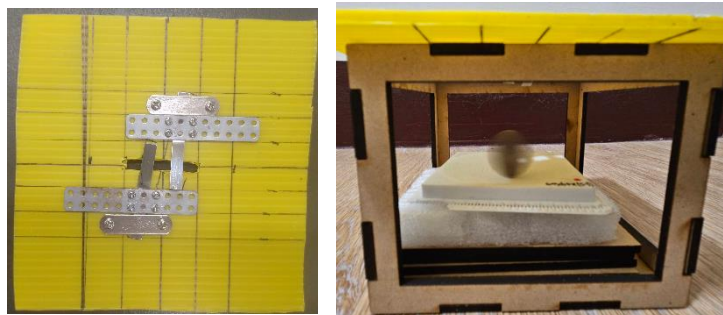


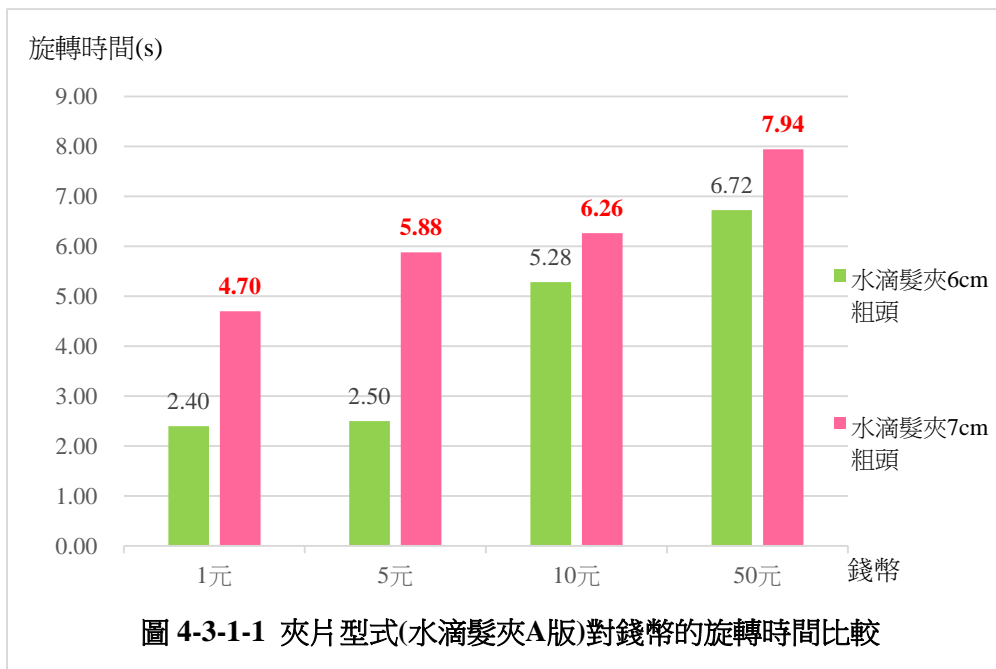
圖 4-3-2 前導版—投幣孔與夾片的夾角 $< 90^\circ$

➡於是正式實驗以夾角 $> 90^\circ$ 開始設計，並調整變化夾距、夾角、夾突，觀察其中相互作用如何影響錢幣的旋轉時間。

(一)夾片型式(水滴髮夾 6、7cm) +投幣距離 8cm

表 4-3-1-1

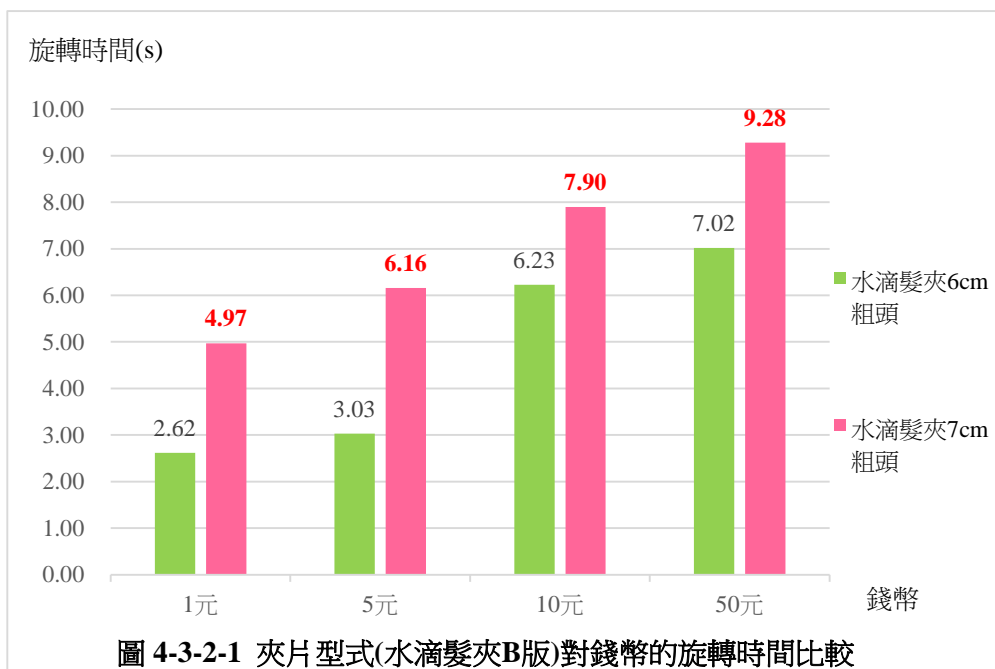
投幣板裝置	A1 版	A2 版	實驗發現
1. 夾片型式	水滴髮夾 6cm	水滴髮夾 7cm	1. 錢幣在 A2 版比 A1 版的旋轉時間長。 即夾片型式：髮夾 7cm 優於 6cm。 2. 我們在 A2 版縮短夾距的長度、夾角改小，錢幣從投幣孔投入比較能直立，不會傾斜歪掉。 3. 夾突再改長一點，夾突較長，錢幣才容易被夾片夾扭，產生較強的旋轉力量，旋轉成功率更高。
2. 內圈粗頭	L*W 4.2*0.65 cm	L*W 5*0.8 cm	
3. 夾距	0.7 cm	0.6 cm	
4. 夾角	114°	111°	
5. 夾突	1.5cm	1.7cm	
6. 投幣距離	8cm	8cm	
3D 轉板：弧面 面寬 75 mm、深度 2 mm			



(二)夾片型式(水滴髮夾 6、7cm) +投幣距離 10cm

表 4-3-2-1

投幣板裝置	B1 版	B2 版	實驗發現
1. 夾片型式	水滴髮夾 6cm	水滴髮夾 7cm	1. 錢幣在 B2 版比 B1 版的旋轉時間長。即夾片型式：髮夾 7cm 優於 6cm。 2. 在 B2 版夾距較短、夾角較小，可以將錢幣夾得較緊。 3. B2 版夾片 7cm 因它的粗頭較寬，夾突再加長更多，夾扭錢幣的力量更強。 4. 夾扭力量增強，錢幣掉落到轉板會因轉速太快，容易旋出轉板，所以調整 B2 版投幣距離 10cm，旋轉效果更好、旋轉時間也更長。
2. 內圈粗頭	L*W 4.2*0.65 cm	L* W 5*0.8 cm	
3. 夾距	1.1 cm	0.7 cm	
4. 夾角	118°	110°	
5. 夾突	0.8 cm	1.5cm	
6. 投幣距離	9.1cm	10cm	
3D 轉板：弧面 面寬 75 mm、深度 2 mm			



- 小結一：1. 錢幣的旋轉時間：A2 版 > A1 版、B2 版 > B1 版；即錢幣在水滴髮夾 7cm 比 6cm 的旋轉效果較好；又以投幣板 B2 版最優。
2. 夾距小、夾角小、夾突長，有助於錢幣的旋轉；尤其以 1、5 元的旋轉時間變化差異最大。分析原因為 1、5 元的直徑小，夾距及夾角改小，夾片較能夾緊錢幣產生較大的扭轉力量。
3. 在 A1 版~ B2 版，旋轉時間皆有 50 元 > 10 元 > 5 元 > 1 元的現象。B2 版 50 元的旋轉時間最長(9.28s)。

四、3D 轉板型式(凹槽型式+面寬)不同，對錢幣旋轉時間的影響

接下來我們想以投幣板 B2 版的裝置設計，探討 3D 轉板凹槽型式—弧面、拋物面+凹槽面寬—60、75、80mm 對錢幣旋轉時間的影響：

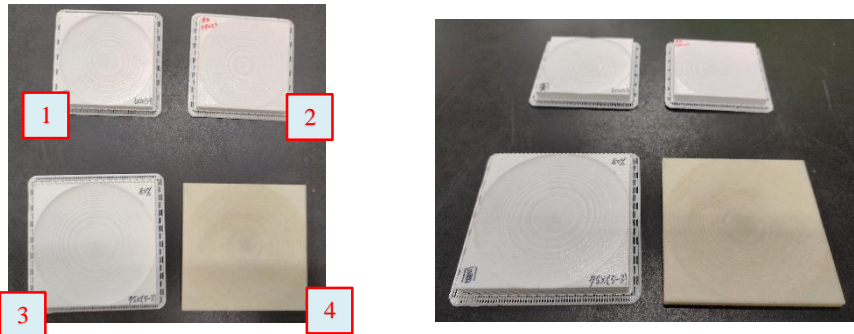


圖 4-4-1 轉板型式—1.弧面(面寬 60mm、深 2mm)、2.拋物面(面寬 60mm、深 2mm)
3.弧面(面寬 75mm、深 2mm)、4.拋物面(面寬 80mm、深 2mm)

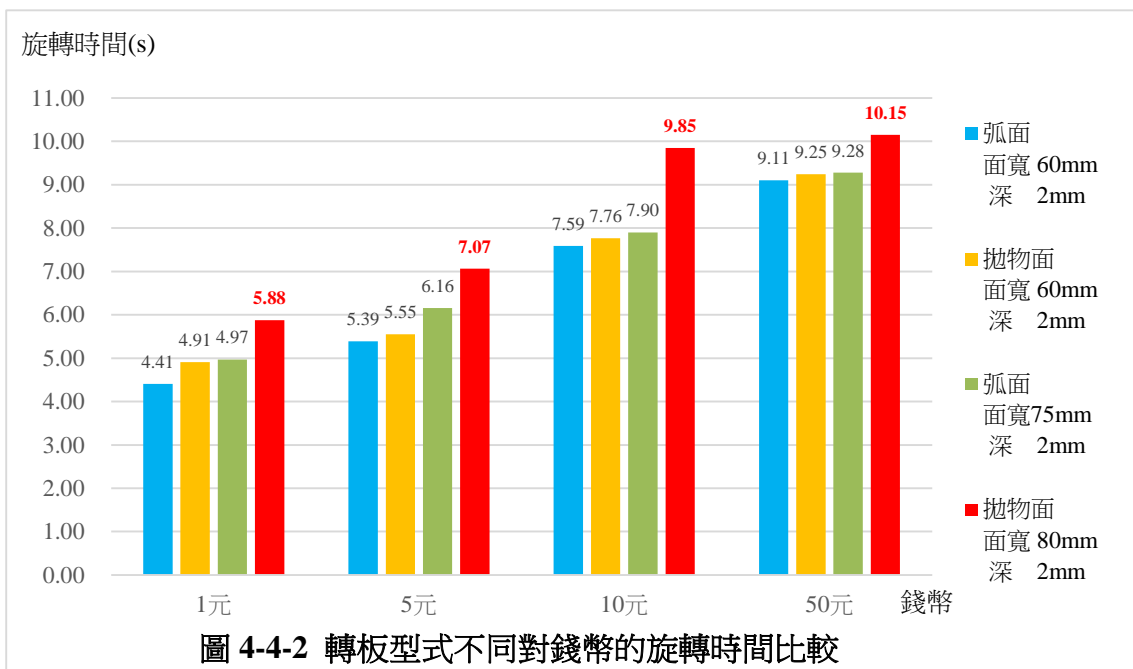


圖 4-4-2 轉板型式不同對錢幣的旋轉時間比較

(一)發現：1. 凹槽型式—弧面，不同面寬(60、75mm)比較：四種錢幣都以面寬 75mm 旋轉時間較長。弧面凹槽轉板面寬大，有助於錢幣的旋轉。

2. 凹槽型式—拋物面，不同面寬(60、80mm)比較：四種錢幣都以面寬 80mm 旋轉時間較長。拋物面凹槽轉板面寬大，有助於錢幣的旋轉。

小結二：在相同凹槽型式(弧面或拋物面)，面寬大皆有助於錢幣的旋轉。

(二)發現：在相同面寬 60mm，不同凹槽型式(弧面、拋物面)比較：四種錢幣都以拋物面旋轉時間較長。拋物面凹槽轉板，有助於錢幣的旋轉。

小結三：3D 轉板—拋物面凹槽型式 (面寬 80mm)旋轉效果最好、旋轉時間最長 10.15s(50元)，

B2 版+拋物面凹槽型式(面寬 80mm)為本研究最佳「投幣板裝置」。

五、夾片材質不同對錢幣旋轉時間的影響

以投幣板 B2 版的裝置設計，探討夾片材質不同—不鏽鋼彈片 w 0.5cm、水滴髮夾 w 0.8cm (7cm 的內圈粗頭)、不鏽鋼彈片 w 1cm 對錢幣旋轉時間的影響：

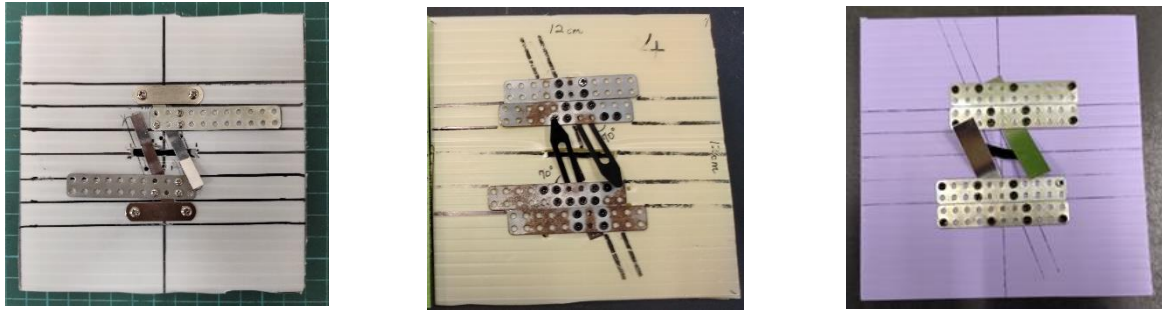


圖 4-5-1 夾片材質—不鏽鋼彈片(w 0.5cm)、水滴髮夾(w 0.8cm)、不鏽鋼彈片(w 1cm)

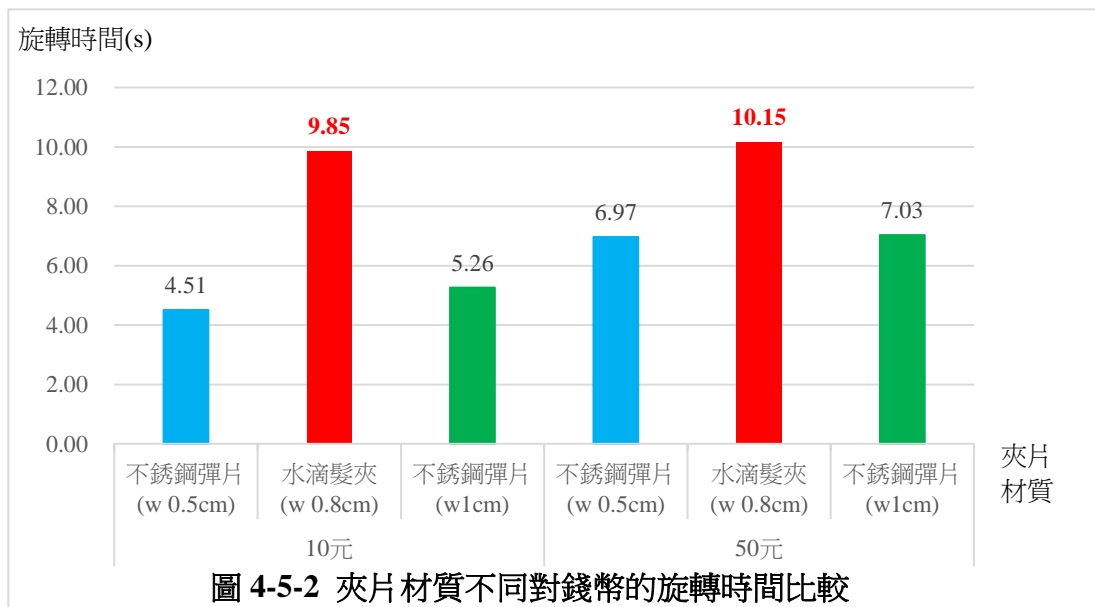


圖 4-5-2 夾片材質不同對錢幣的旋轉時間比較

發現：(一)夾片材質不同—不鏽鋼彈片 w 0.5cm、水滴髮夾 w 0.8cm、不鏽鋼彈片 w 1cm 比較，錢幣 10、50 元都以水滴髮夾 w 0.8cm 的旋轉時間最長。

(二)夾片 w 0.5cm 寬度小、彈性大，造成扭力強但夾力弱；夾片 w 1cm 寬度大、彈性小，造成夾力強但扭力弱。水滴髮夾 w 0.8cm 夾扭力兼具，旋轉效果最佳。

小結四：想讓錢幣從投幣板投入後「旋轉時間最久」，帶來「錢從天降～『轉』翻了」的好兆頭，應該採用以下實驗設計最佳，為本研究最佳「投幣機組」。

表 4-5-1

錢幣	夾片型式	夾距	夾角	夾突	投幣距離	3D 轉版型式	旋轉時間
50 元	水滴髮夾 7cm 內圈粗頭 (L* W 5*0.8cm)	0.7cm	110°	1.5cm	10cm	拋物面凹槽 面寬 80cm 深度 2cm	10.15s

六、錢幣重量(單幣、雙幣)對錢幣旋轉時間的影響

從以上研究發現錢幣旋轉時間皆有 50 元 > 10 元 > 5 元 > 1 元的現象，以 50 元、10 元旋轉時間最久。因 50、10 元重量也較重(註 1)，所以我們想進一步探討錢幣的重量會影響旋轉時間嗎？

以本研究最佳投幣機組來實驗，分別將二個 50 元(20gw)、二個 10 元(15gw)，雙幣黏在一起來增加錢幣的重量，再投幣測量雙幣的旋轉時間：

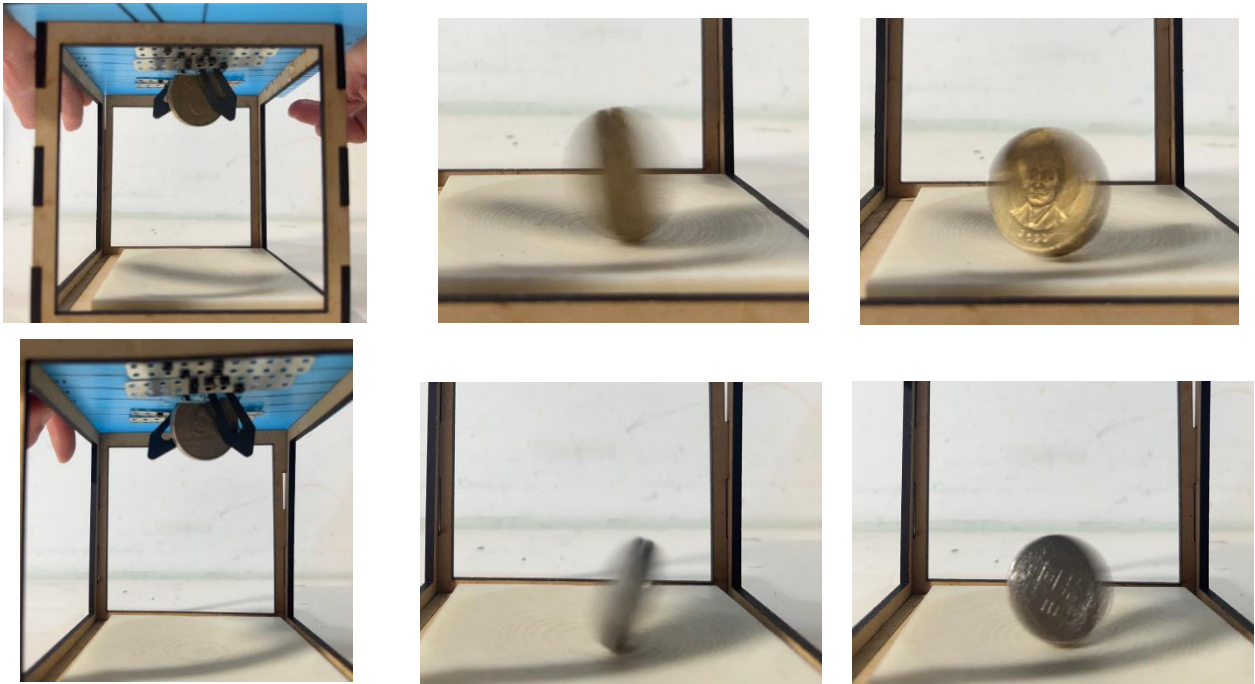


圖 4-6-1 雙幣 50、10 元 的旋轉情形

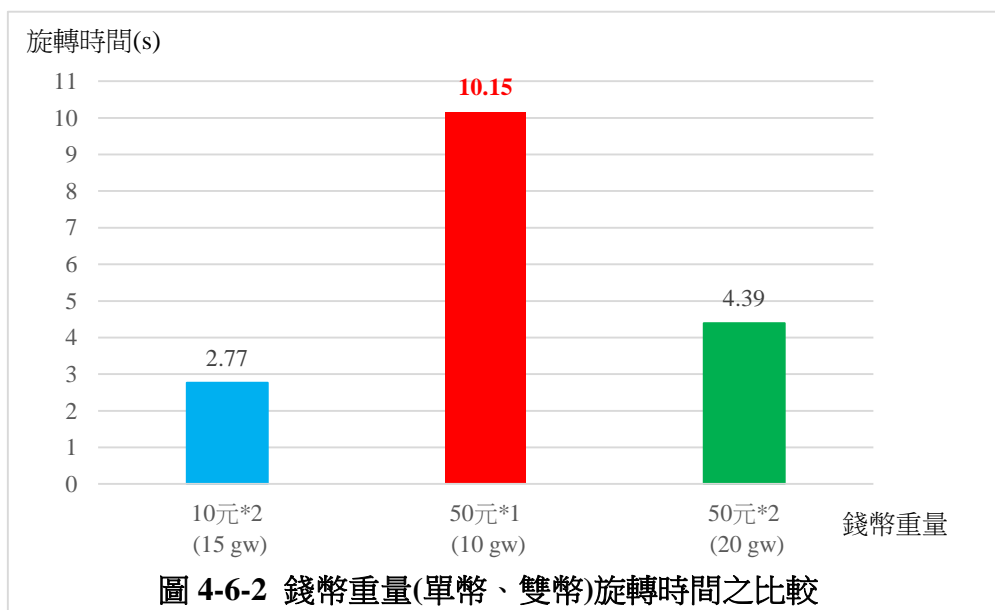


圖 4-6-2 錢幣重量(單幣、雙幣)旋轉時間之比較

發現：(一)錢幣種類不同：

雙幣「10 元*2」是 2.77s、「50 元*2」是 4.39s，「50 元*2」的旋轉時間較長。即錢幣種類不同，重量較重，旋轉時間較長。

(二)錢幣種類相同：

單幣「50元*1」是 10.15s、雙幣「50元*2」是 4.39s；重量「50元*2」20 gw > 「50元*1」10 gw，但旋轉時間並沒有較長，觀察因重量不同導致錢幣下落的力量有差異。

二個 50 元因重量較重，在錢幣掉落在轉板的瞬間，碰撞時的反彈力較強，雙幣會先從轉板上反彈較高的距離後，再掉落到轉板才開始旋轉，造成旋轉軸的傾斜角度增大而使旋轉較不穩定；而且錢幣反彈的衝擊力可能會減弱夾片給予的夾扭力量。加上二個 50 元與轉板的接觸面積大，摩擦力較大，旋轉時間因此減短。即錢幣種類相同，重量較重，旋轉時間較短，因會有反彈和摩擦力增加的現象發生。

註 1 表 4-6-1

錢幣	1 元	5 元	10 元	50 元
直徑(mm)	20	22	26	28
厚度(mm)	1	1.1	1.5	2
重量(gw)	3.8	4.4	7.5	10

七、夾片的排列位置(排列、方向)對錢幣旋轉方向的影響

除了探討錢幣在不同投幣板的旋轉時間外，我們也想瞭解夾片的排列位置如何影響錢幣的旋轉方向？我們設計了夾片四種不同排列及方向：1.上左下右 AC 向、2.上右下左 AC 向、3.上左下右 BD 向、4.上右下左 BD 向，來觀察錢幣受到夾片夾扭後的旋轉方向：

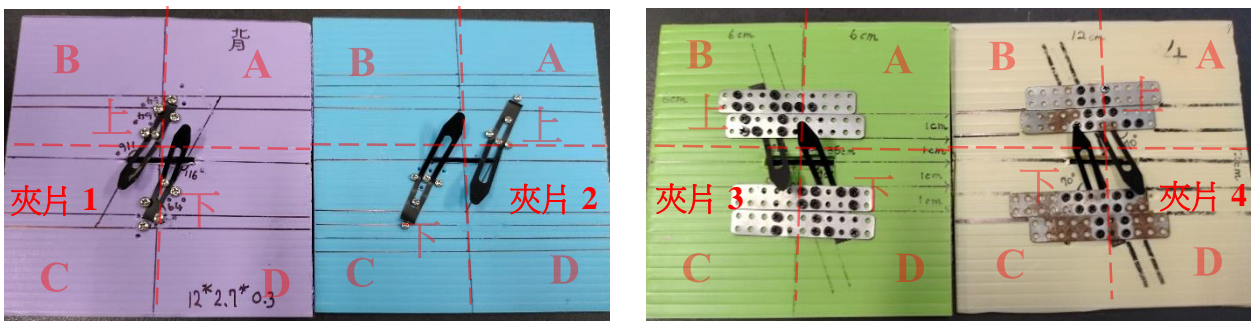


圖 4-7-1 夾片四種不同排列及方向：

夾片 1—上左下右 AC 向、夾片 2—上右下左 AC 向、夾片 3—上左下右 BD 向、夾片 4—上右下左 BD 向

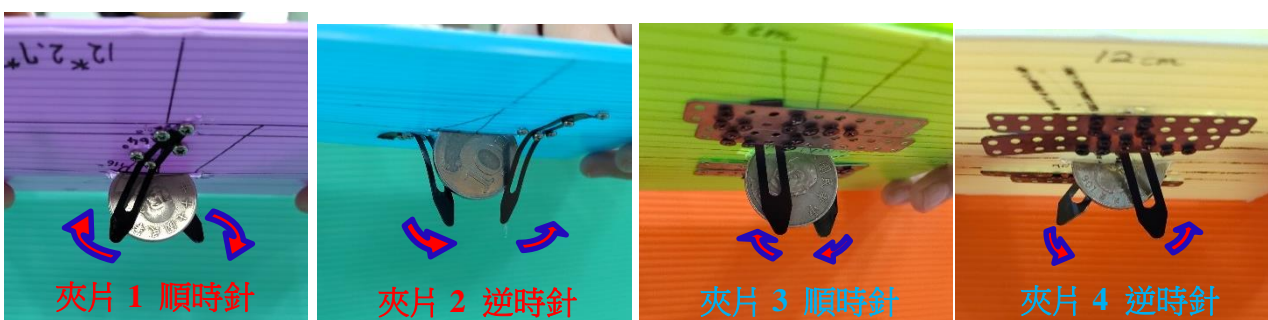


圖 4-7-2 錢幣受到夾片夾扭後的旋轉方向

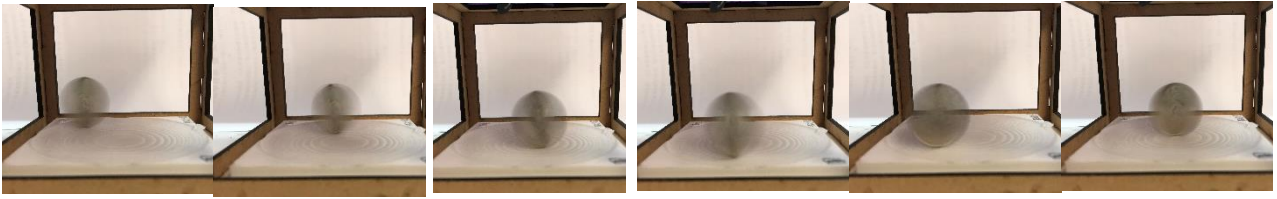


圖 4-7-3 夾片 1 (上左下右 AC 向)：錢幣旋轉—順時針方向 ➡

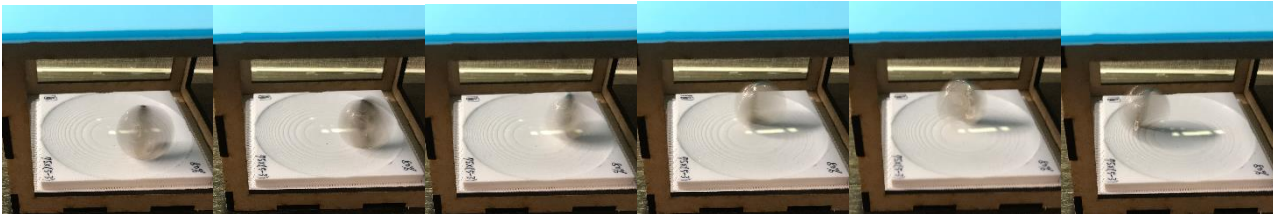


圖 4-7-4 夾片 2 (上右下左 AC 向)：錢幣旋轉—逆時針方向 ↻

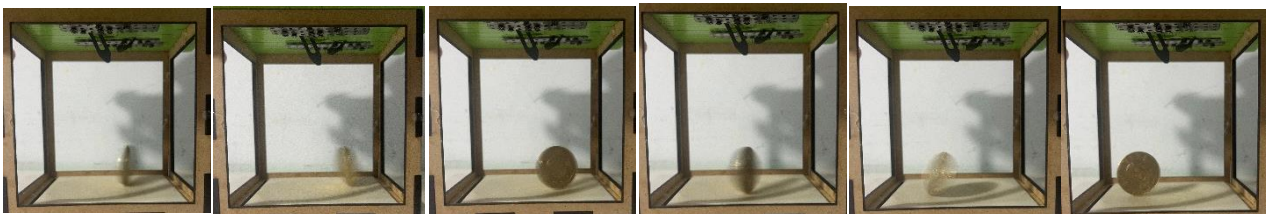


圖 4-7-5 夾片 3 (上左下右 BD 向)：錢幣旋轉—順時針方向 ➡

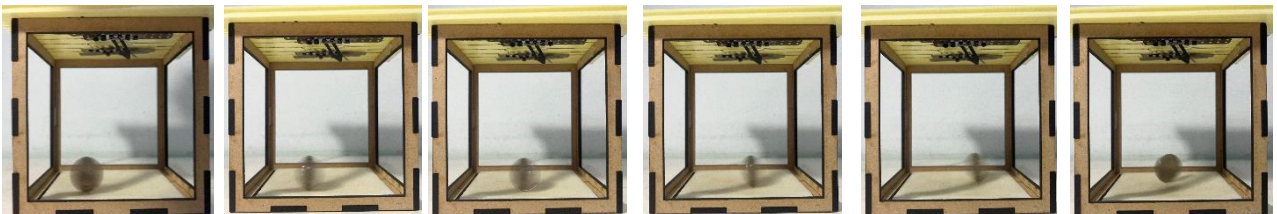


圖 4-7-6 夾片 4 (上右下左 BD 向)：錢幣旋轉—逆時針方向 ↻

- 發現：(一)夾片 1、3：上夾片往左後 + 下夾片往右前夾扭時，錢幣會順時針方向自轉；
 在轉板上的旋轉軌跡也是順時針方向。 ➡
- (二)夾片 2、4：上夾片往右後 + 下夾片往左前夾扭時，錢幣會逆時針方向自轉；
 在轉板上的旋轉軌跡也是逆時針方向。 ↻

八、投幣機組結合 Arduino 程式開發板創作「祝福舉旗玩具」

接下來我們想利用本研究的投幣機組，結合 Arduino 程式開發板創作祝福舉旗玩具。構想是在壓克力平台上方放一個 3D 轉板，平台下方設有一個 HX711 重量感測模組，可感測平台上方重量的改變；HX711 並與 MG90S 伺服馬達連接，運用二顆 18650 鋰電池進行供電，並在伺服馬達上裝設一支旋轉軸，裝上我們繪製的祝福小旗幟。

當錢幣從投幣孔投入掉落到壓克力平台上的轉板成功旋轉時，以 Arduino 驅動 HX711 重量感測模組，即可測量平台上的重量改變並進行判斷；當平台上重量 > 設定重量後便會驅動伺服馬達旋轉，表示投幣後錢幣順利旋轉並停留在平台上，此時祝福小旗幟便會舉起，象徵著「錢來運轉好運來」的祝福到來。

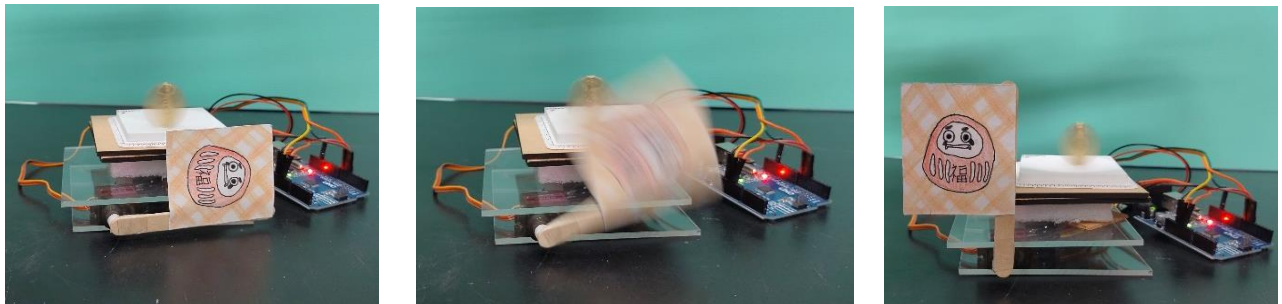


圖 4-8-1 重量感測祝福舉旗玩具

(一) 裝設與接線

利用雷切機在 10*10cm 壓克力板中切割孔洞，再將 M4 螺絲鎖於承載上限 1kgw 的金屬荷重元(Load Cell)上，金屬荷重元的紅線連至 HX711 重量感測模組 E+腳位、黑線連至 E-腳位、白線連至 A-腳位、綠線連至 A+腳位，HX711 通以 3.3V 的電壓並接地後，將 HX711 上的 DT 腳位連接至 Arduino 的數位腳位 6、SCK 腳位連接至數位腳位 5；將 MG90S 伺服馬達通以 5V 的電壓並接地後，其訊號線連接至 Arduino 的數位腳位 7，最終利用電池盒與二顆 18650 的鋰電池替 Arduino 供電。

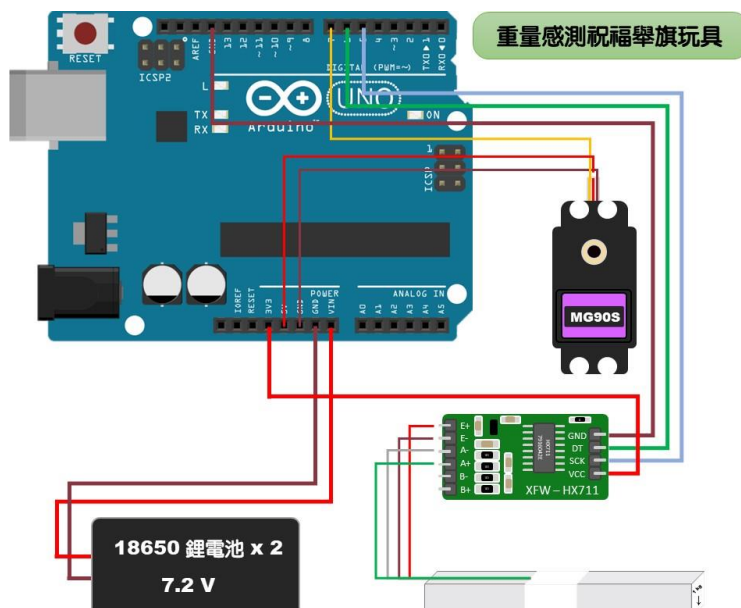


圖 4-8-1-1 裝置接線圖

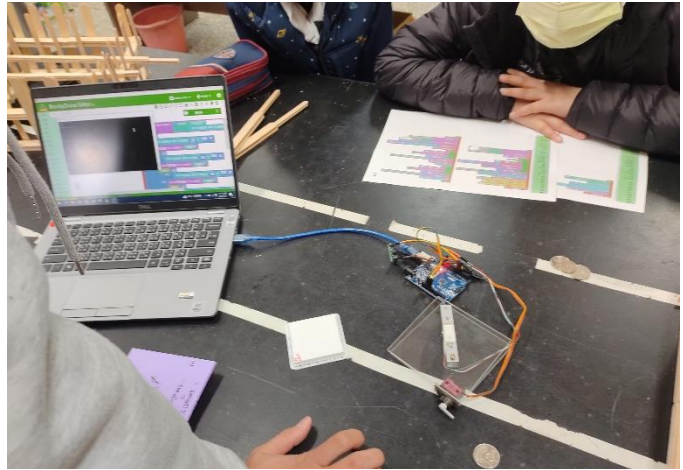


圖 4-8-1-2 重量感測祝福舉旗玩具裝置

(二)程式碼說明

我們採用 BlockDuino 中的吉哥積木模組進程式撰寫，以下程式說明將分成二個階段「初始化階段」與「重複執行階段」進行：

1.初始化階段

初始化序列埠並選擇「鮑率為 115200」，用以在電腦中可以觀察其數值變化，以做後續細微調整，再設置 HX711 重量感測模組「DATA 腳位為 6」、「SCK 腳位為 5」，並設置此重量感測器的整體「比例參數為-900」，比例參數各重量感測器皆不同，需使用檢測比例參數之程式檢視其專屬的比例參數；將重量感測模組所測到的「皮重(重量盤上的所有物體重量)」初始化；再設置伺服馬達的輸出腳位為 7。

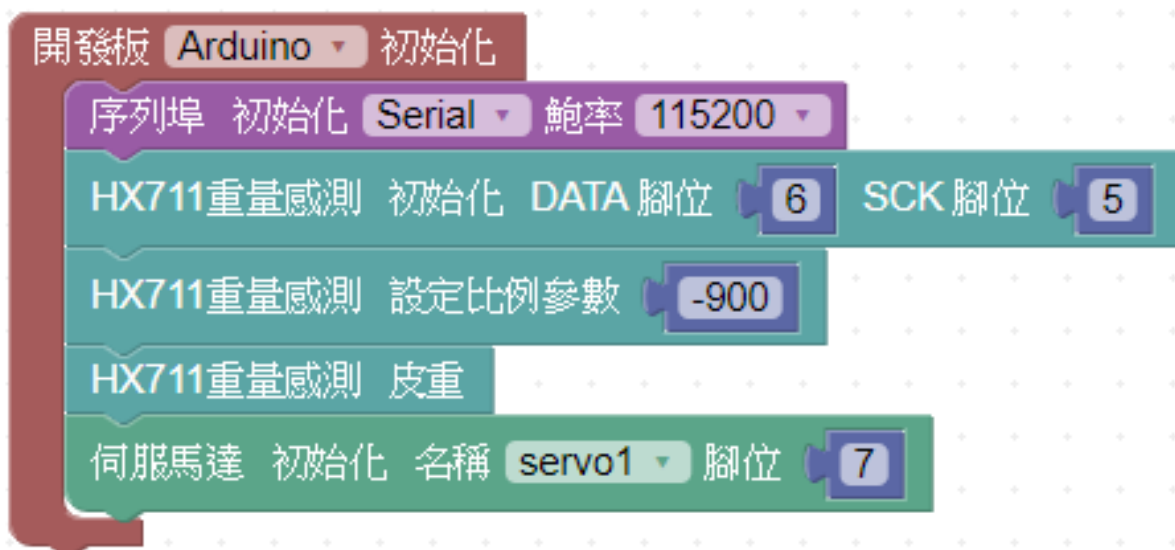


圖 4-8-2-1 初始化程式碼

2. 重複執行階段

於序列埠中顯示「重量(g)」，並將 HX711 重量感測器所測得的連續 10 次重量進行平均並顯示，再利用如果否則函式，若測得的重量 > 3.5gw(錢幣 1 元為 3.8gw，但錢幣調整數值設為 3.5gw，可提高精準並減少失誤率)且維持一段時間，則使伺服馬達角度調整至 90°，將祝福小旗幟舉起；若重量 ≤ 3.5gw 時，則將伺服馬達角度調整回復 0°，使小旗幟維持放下。

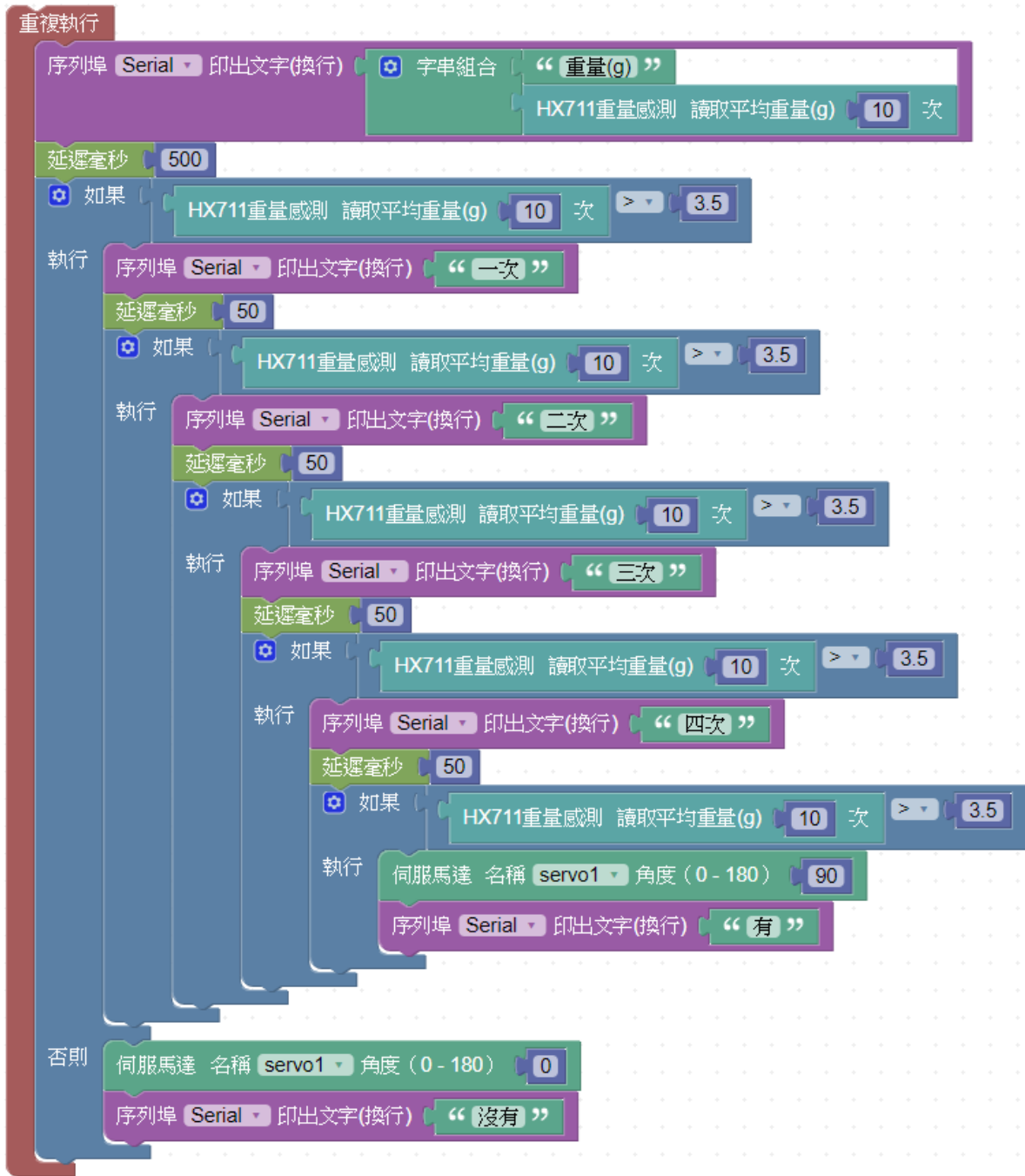


圖 4-8-2-2 重複執行程式碼

伍、討論

一、實驗時需要克服的

我們將錢幣投入投幣孔的時候，我們是用手直接施力將錢幣從投幣孔壓下，雖然我們盡量手勁一致控制施力的大小相同，來達到實驗的標準性。不過我們希望日後能設計一個自動投幣的機關，它能夠自動將錢幣從投幣孔瞬間壓下，這樣就能更有效控制投幣的施力大小。

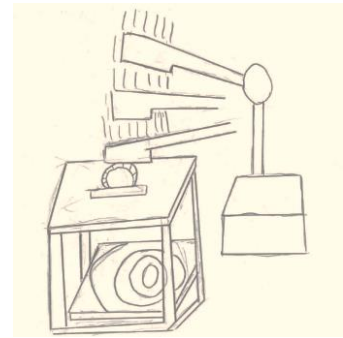


圖 5-1-1 自動投幣機關

二、夾棍+橡皮筋裝置投幣板

製作投幣板裝置，除了用水滴髮夾、不鏽鋼彈片來當夾片之外，我們也利用冰棒棍、木棍來當夾片(即為夾棍)的裝置，想研究經由橡皮筋的彈力連動夾棍一開一合，錢幣被夾棍夾扭的旋轉情形。

做法：利用雷射製作投幣板，將二組主棒和夾棍固定在投幣板上，二支夾棍各取一支點來做為橡皮筋柱，分別以主棒和橡皮筋柱為二端套住橡皮筋。錢幣投入投幣孔時，會先撐開二支夾棍，此時橡皮筋也會被拉開；再藉由橡皮筋的彈縮，拉回二片夾棍，此時夾棍就可以夾扭錢幣，使錢幣掉落到 3D 轉板產生旋轉現象。

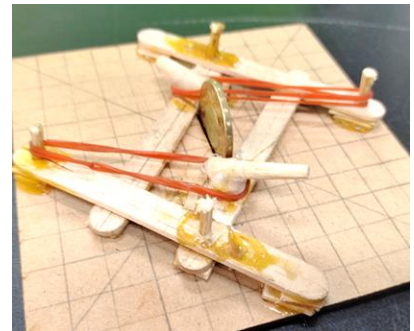
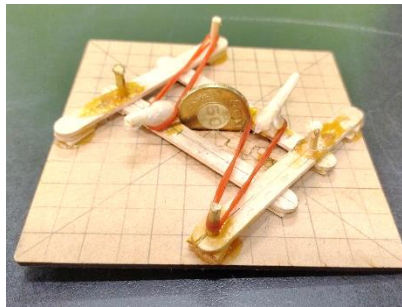


圖 5-2-1 夾棍合起 → 投幣後錢幣撐開夾棍 → 橡皮筋也會被拉開

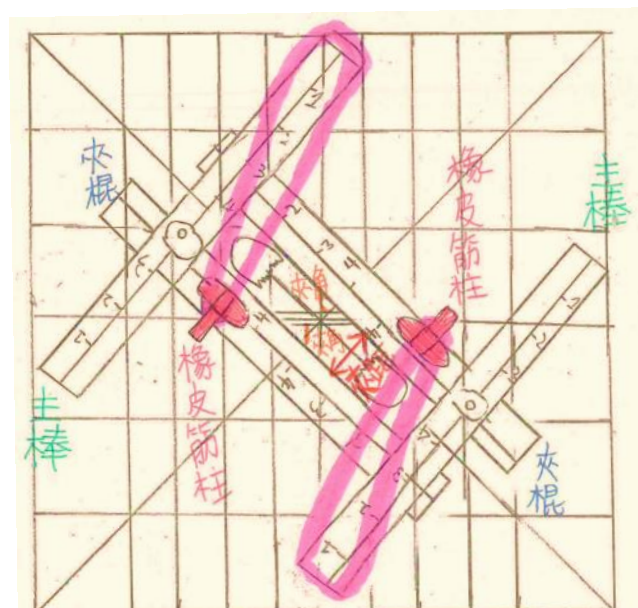


圖 5-2-2 投幣板裝置(夾棍+橡皮筋)設計圖

【前導實驗】在製作前導版時，二支夾棍的距離(夾距)，我們做了 0.7、1cm，發現夾距大，夾棍與投幣孔形成的夾角大，投幣時雖然較容易將錢幣從投幣孔壓下，但經由橡皮筋的彈縮、再連動夾棍給予錢幣的夾扭力量不足，錢幣旋轉成功率不高(約 2/5 次)，對於直徑較小的錢幣(1、5 元)，旋轉效果更差。

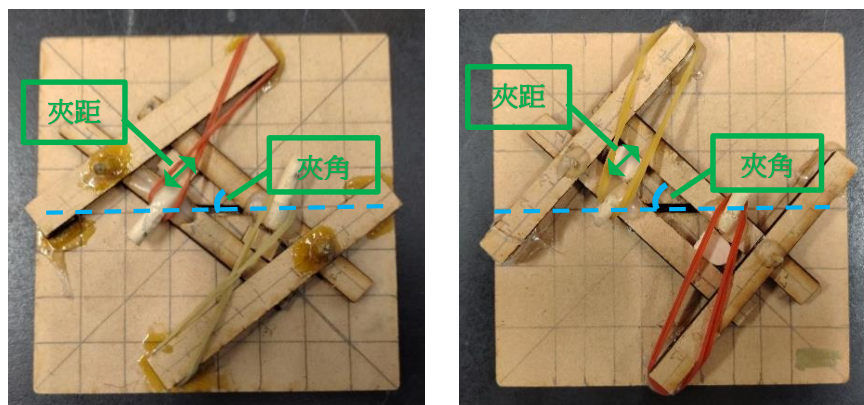


圖 5-2-3 前導版夾距 0.7、1cm

【正式實驗】我們將夾距再縮短，並且從套橡皮筋的位置(主棒支點+夾棍支點)、橡皮筋的長度，加以調整變化來產生不同夾扭強弱，做出二種投幣板裝置(圖 5-2-4)。

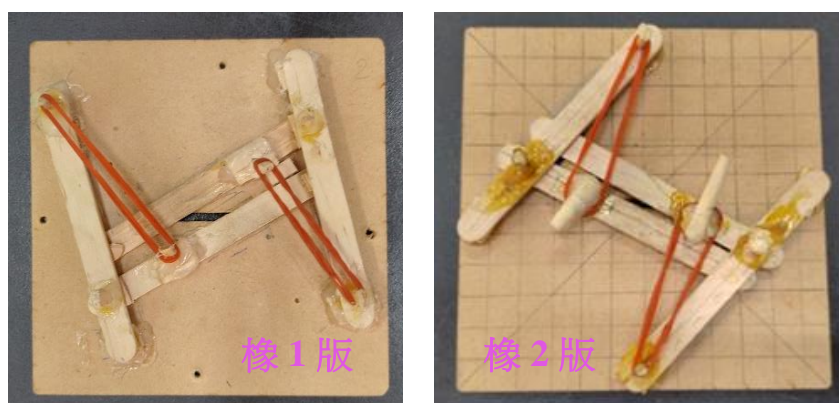
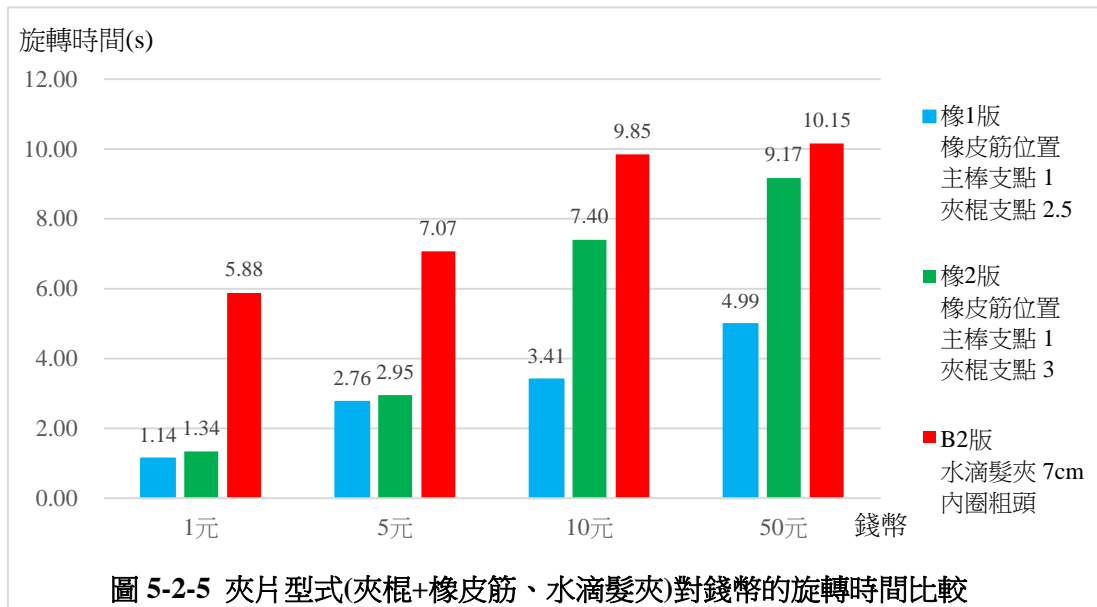


圖 5-2-4

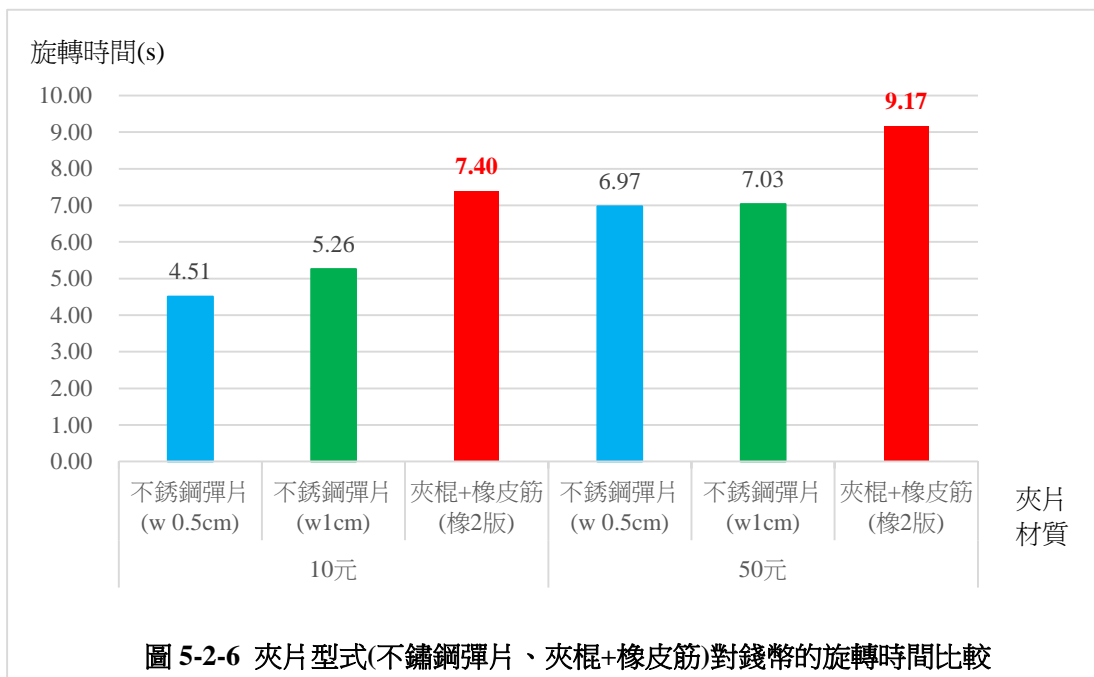
表 5-2-1

投幣板裝置	橡 1 版	橡 2 版	實驗發現
1.夾棍型式	冰棒棍 9.5*1*0.2cm	冰棒棍 9.5*1*0.2cm	1. 錢幣在橡 2 版比橡 1 版的旋轉時間長。夾距小、夾角也會變小，有助於錢幣的旋轉。 2. 橡皮筋柱越接近投幣孔，錢幣較容易被夾棍夾扭，產生較強的旋轉力量，旋轉成功率更高。 3. 錢幣旋轉成功率約 3/5 次，50 元成功率最高、旋轉時間也最長(9.17s)
2.套橡皮筋位置 (主棒支點 + 夾棍支點)	1 + 2.5	1+3	
3.夾距	0.5cm	0.2cm	
4.夾角	25°	20°	
5.橡皮筋長度	6 cm	6.7cm	
6.投幣距離	9.1cm	9.1cm	
3D 轉板：拋物面 面寬 80mm、深 2mm			



小結五：利用夾棍+橡皮筋的裝置雖然可以錢幣能夠旋轉，但旋轉情形較不穩定。相較於水滴髮夾的夾片，因為水滴髮夾本身具有彈性，可直接做為錢幣扭轉的扭力來源；但夾棍因必須藉由橡皮筋的彈力連動夾棍一開一合來做為扭力來源，橡皮筋的彈性較弱，連動效果較不穩定，因此錢幣旋轉成功率較低、旋轉時間也較短 (50 元錢幣旋轉時間最長—夾棍 9.17s、水滴髮夾 10.15s)。

不過夾棍+橡皮筋裝置的夾扭力量已優於夾片材質為不銹鋼彈片 w 0.5、1cm，錢幣旋轉時間較長 (50 元錢幣旋轉時間最長—不銹鋼彈片 w 0.5cm 是 6.97s、w 1cm 是 7.03s、夾棍 9.17s)。



陸、結論

一、找出最佳投幣板裝置

- (一)錢幣在水滴髮夾 7cm 比 6cm 的旋轉效果較好。夾距小、夾角小、夾突長，夾扭錢幣的力量更強，有助於錢幣的旋轉；尤其以 1、5 元的旋轉時間變化差異最大。分析原因為 1、5 元的直徑小，夾距及夾角改小，夾片較能夾緊錢幣產生較大的扭轉力量。
- (二)旋轉時間皆有 50 元 > 10 元 > 5 元 > 1 元的現象。水滴髮夾 7cm 內圈粗頭的夾片(B2 版) 50 元的旋轉時間最長(9.28s)。

二、3D 轉板型式(凹槽型式+面寬)不同，對錢幣旋轉時間的影響

- (一) 1.凹槽型式—弧面，不同面寬(60、75mm)比較：四種錢幣都以面寬 75mm 旋轉時間較長。弧面凹槽轉板面寬大，有助於錢幣的旋轉。
- 2.凹槽型式—拋物面，不同面寬(60、80mm)比較：四種錢幣都以面寬 80mm 旋轉時間較長。拋物面凹槽轉板面寬大，有助於錢幣的旋轉。
- 小結：在相同凹槽型式(弧面或拋物面)，面寬大皆有助於錢幣的旋轉。
- (二)在相同面寬 60mm，不同凹槽型式(弧面、拋物面)比較：四種錢幣都以拋物面旋轉時間較長。拋物面凹槽轉板，有助於錢幣的旋轉。
- 小結：3D 轉板—拋物面凹槽型式(面寬 80mm)旋轉效果最好、旋轉時間最長 10.15s(50 元)。

三、夾片材質不同對錢幣旋轉時間的影響

- (一)夾片材質不同—不鏽鋼彈片 w 0.5cm、水滴髮夾 w 0.8cm、不鏽鋼彈片 w 1cm 比較，錢幣 10、50 元都以水滴髮夾 w 0.8cm 的旋轉時間最長。
- (二)夾片 w 0.5cm 寬度小、彈性大，造成扭力強但夾力弱；夾片 w 1cm 寬度大、彈性小，造成夾力強但扭力弱。水滴髮夾 w 0.8cm 夾扭力兼具，旋轉效果最佳。
- 小結：想讓錢幣從投幣板投入後「旋轉時間最久」，帶來「錢從天降～『轉』翻了」的好兆頭，應該採用以下實驗設計最佳，為本研究最佳「投幣機組」。

錢幣	夾片型式	夾距	夾角	夾突	投幣距離	3D 轉版型式	旋轉時間
50 元	水滴髮夾 7cm 內圈粗頭 (L* W 5*0.8cm)	0.7cm	110°	1.5cm	10cm	拋物面凹槽 面寬 80cm 深度 2cm	10.15s

四、錢幣重量(單幣、雙幣)對錢幣旋轉時間的影響

(一)錢幣種類不同：

雙幣「10元*2」是 2.77s、「50元*2」是 4.39s，「50元*2」的旋轉時間較長。即錢幣種類不同，重量較重，旋轉時間較長。

(二)錢幣種類相同：

單幣「50元*1」是 10.15s、雙幣「50元*2」是 4.39s；重量「50元*2」20gw>「50元*1」10gw，但旋轉時間並沒有較長，觀察因重量不同導致錢幣下落的力量有差異。

二個 50 元因重量較重，在錢幣掉落在轉板的瞬間，碰撞時的反彈力較強，雙幣會先從轉板上反彈較高的距離後，再掉落到轉板才開始旋轉，造成旋轉軸的傾斜角度增大而使旋轉較不穩定；而且錢幣反彈的衝擊力可能會減弱夾片給予的夾扭力量。加上二個 50 元與轉板的接觸面積大，摩擦力較大，旋轉時間因此減短。即錢幣種類相同，重量較重，旋轉時間較短，因會有反彈和摩擦力增加的現象發生。

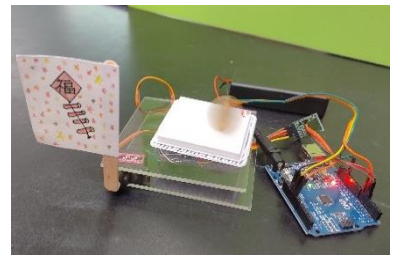
五、夾片的排列位置(排列、方向)對錢幣旋轉方向的影響

(一)夾片 1(上左下右 AC 向)、夾片 3(上左下右 BD 向)：上夾片往左後 + 下夾片往右前夾扭時，錢幣會順時針方向自轉；在轉板上的旋轉軌跡也是順時針方向。➡

(二)夾片 2(上右下左 AC 向)、夾片 4(上右下左 BD 向)：上夾片往右後 + 下夾片往左前夾扭時，錢幣會逆時針方向自轉；在轉板上的旋轉軌跡也是逆時針方向。↩

六、投幣機組結合 Arduino 程式開發板創作「祝福舉旗玩具」

錢幣從投幣孔投入掉落到壓克力平台上的轉板成功旋轉時，平台下方的裝設重量感測模組即可測量平台上的重量改變並進行判斷；當平台上重量>設定重量後便會驅動伺服馬達旋轉，表示投幣後錢幣順利旋轉並停留在平台上，在馬達旋轉軸上的祝福小旗幟便會舉起，象徵著「錢來運轉好運來」的祝福到來。



七、夾棍+橡皮筋裝置投幣板

利用夾棍+橡皮筋的裝置雖然可以錢幣能夠旋轉，但旋轉情形較不穩定。相較於水滴髮夾的夾片，因為水滴髮夾本身具有彈性，可直接做為錢幣扭轉的扭力來源；但夾棍因必須藉由橡皮筋的彈力連動夾棍一開一合來做為扭力來源，橡皮筋的彈性較弱，連動效果較不穩定，因此錢幣旋轉成功率較低、旋轉時間也較短(50元錢幣旋轉時間最長—夾棍 9.17s、水滴髮夾 10.15s)；但已優於夾片材質為不銹鋼彈片 w 0.5、1cm。

柒、參考文獻資料

〈旋轉吧！錢幣！〉。《全國科展第 50 屆》。 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/50/elementary01.htm>

〈錢來「運」轉～好運轉轉轉〉。《新竹市科展第 39 屆》
<https://science.hc.edu.tw/View/WinningEntries.aspx>

〈新台幣介紹〉。《中央銀行》。 <https://www.cbc.gov.tw/public/data/issue/MONEY/tb1.htm>

〈木工教你用冰棍棒 DIY 存錢筒，好玩又好用！【司馬好奇】〉。
<https://www.youtube.com/watch?v=I8TVRgAn8r0>