

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

佳作

032901

財「元」滾滾來—硬幣分類裝置

學校名稱：臺中市立爽文國民中學

作者： 國一 林奕均 國一 歐晏愷 國一 吳庭榕	指導老師： 劉嘉馨
---	------------------

關鍵詞：分類、硬幣、摩擦力

摘要

園遊會後發現零錢數量太多，難以在短時間內統計金額，所以製作硬幣分類裝置來解決這個問題。此裝置參考網路 youtube 影片，發現影片中並無說明硬幣軌道最佳角度、硬幣重量是否影響滑落狀況，以及除了瓦楞紙板外是否有其他材質能讓硬幣滑行更快，因此我們以影片中的裝置為雛形，從中改良細部結構並探討軌道角度對硬幣掉落的影響、硬幣重量對硬幣滑落的影響、以及瓦楞紙板、PP 板及 L 夾塑膠片對硬幣滑行的影響。此裝置能正確分類硬幣，我們研究出此裝置硬幣軌道最佳角度為 20 度、硬幣掉落成功與否與其重量無關、使用 L 夾塑膠片硬幣滑落速度最快等結論。

壹、研究動機

我們發現老師及幹部收完錢要統計金額時，常會遇到零錢數量太多，必須要慢慢把不同幣值的錢先分類再計算數量，才能知道總金額，難以在短時間計算正確的問題，於是我們決定設計硬幣分類裝置來解決這個問題。根據國中理化摩擦力原理找出最適合硬幣滑落的軌道角度，讓硬幣能順利掉入正確的孔洞。

貳、研究目的

- 一、 探討軌道角度對硬幣掉落的影響。
- 二、 探討硬幣重量對硬幣滑落的影響。
- 三、 探討瓦楞紙板、PP 板及 L 夾塑膠片對硬幣滑行的影響

參、研究工具及材料

一、研究工具及材料表

編號	名稱	單位	數量	編號	名稱	單位	數量
01	切割墊	個	2	17	游標卡尺	支	1
02	剪刀	把	1	18	膠帶	捲	1
03	奇異筆	支	1	19	雙面膠	捲	1
04	美工刀	把	1	20	電工膠布	捲	1
05	螺帽	個	1	21	焊槍	台	1
06	小齒輪	包	1	22	焊錫	管	1
07	馬達	顆	1	23	3mm PP 板-黃綠藍	張	4
08	3 號電池	顆	2	24	3mm 瓦楞紙版	張	4
09	3 號電池盒	個	1		5mm 瓦楞紙版	張	4
10	光碟	個	1	25	1 元、5 元、10 元、50 元	各 10 個	

11	電子秤	台	1	26	相機	台	
12	捲尺	個	1	27	塑膠片	張	2
13	量角器	個	1	28	熱熔膠條	條	20
14	圓規	個	1	29	熱熔膠槍	把	1
15	塑膠尺	支	1	30	圓木棒	個	1
16	鐵尺	支	1	31	計時器	個	1

二、研究工具及材料圖示



肆、製作過程及方法

一、硬幣分類裝置的製作流程



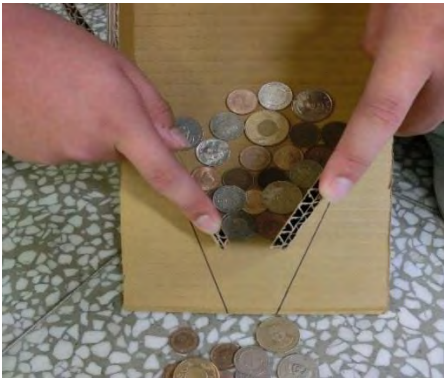
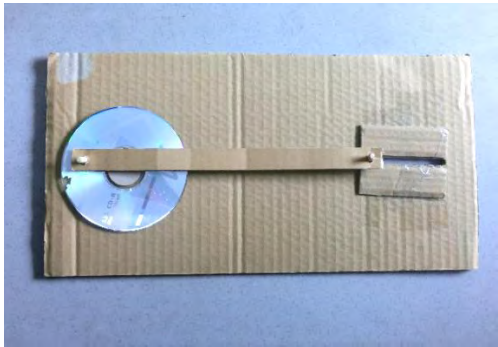
▲硬幣分類裝飾結構說明圖

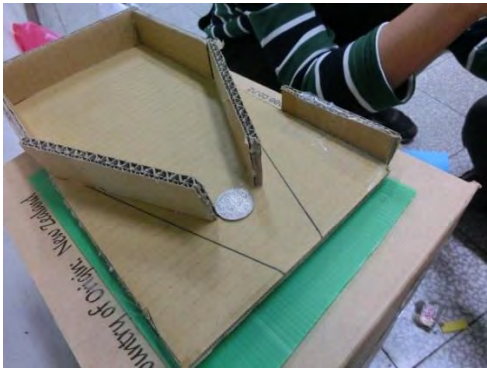
二、平台製作過程

平台是放置硬幣的地方，為了避免放一大把硬幣在平台時，硬幣會卡在出口附近，我們開始思考如何解決這種情況，並希望透過此平台讓硬幣一個一個掉落在軌道，以利於分類。

第一次試做平台

我們發現將平台前後晃動可以疏通阻塞的硬幣，於是我們在 youtube 上找到往復運動的影片，根據影片試作平台底下往復運動的機構，希望能達到前後晃動的目的。

	
1.思考平台出口如何解決錢幣阻塞問題	2.思考平台出口只讓一個硬幣通過
	
3.使用手線鋸鋸切竹筷	4.利用焊槍將光碟鑽洞
	
5.切割固定光碟的結構	6.完成往復運動：圓周轉直線

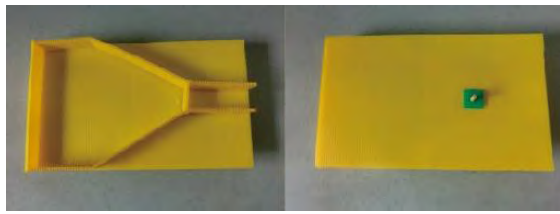
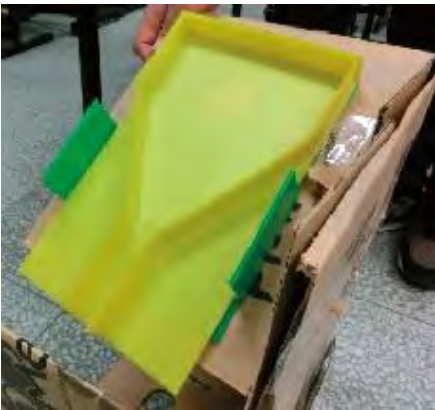
	
7.平台與往復運動結合 正面示意圖	8.平台與往復運動結合 背面示意圖

第一次試做平台之觀察與省思

1. 發現廢紙箱太軟，結構容易不穩。
2. 竹筷和光碟要再黏緊一點。

第二次試做平台

將材料由廢紙箱改成 PP 板製作，並加強竹筷和光碟的黏合。

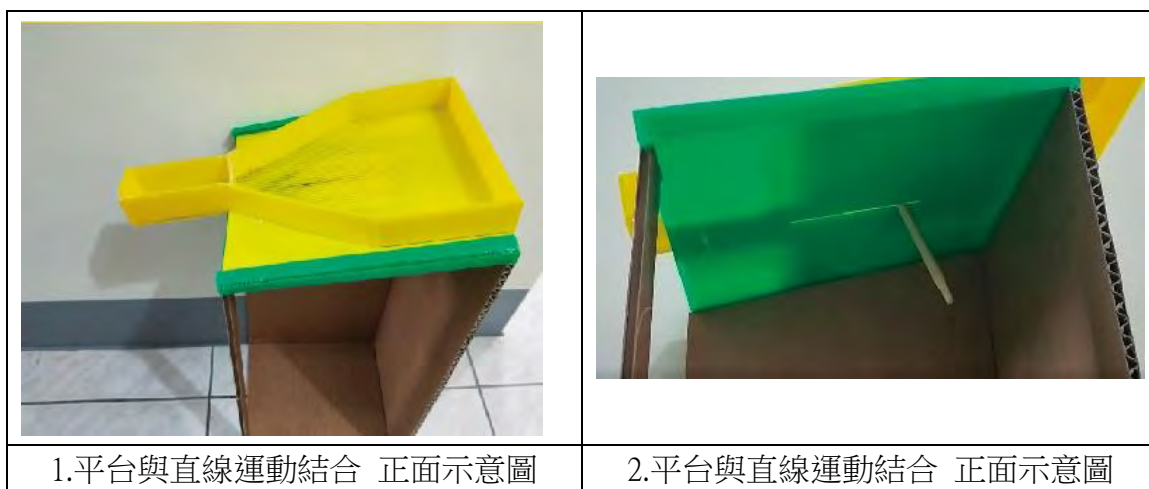
	
1.使用 PP 板製作往復運動結構	2.使用 PP 板製作平台結構
	
3.平台與往復運動結合 正面示意圖	4.平台與往復運動結合 背面示意圖

第二次試做平台之觀察與省思

1. 發現圓周轉直線很容易卡住。

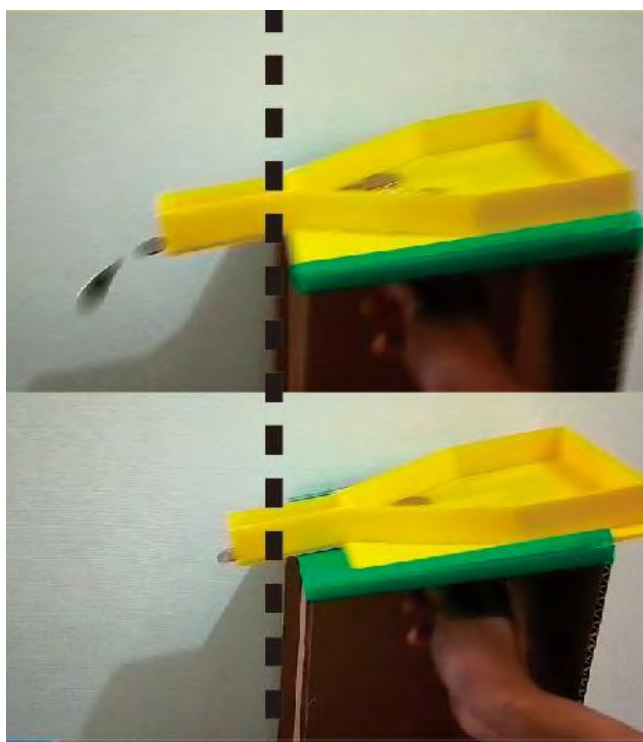
第三次試做平台

將圓周轉直線運動結構改成直線運動，減少竹筷前後移動不順的問題。



第三次試做平台之觀察與省思

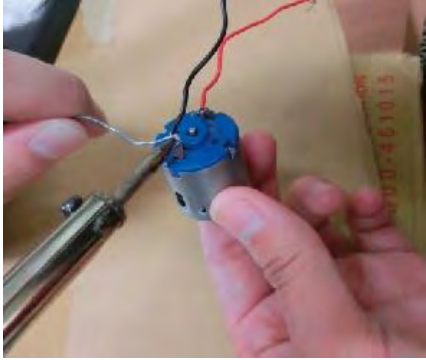
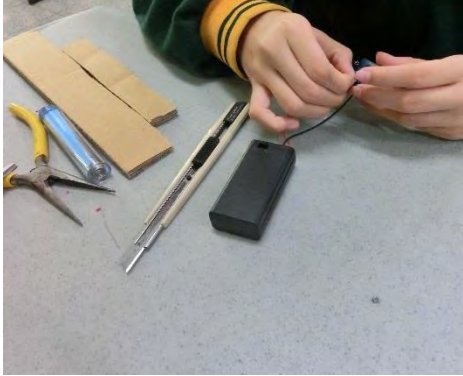
因為手的力道不一致，所以會導致平台前後晃動時，造成硬幣掉落的位置不同，無法精準地讓硬幣掉落軌道。



▲硬幣掉落的位置不同

第四次試做平台

為了解決手的力道不一致的問題，我們參考 youtube 影片中利用馬達震動產生固定外力的方式，將直線運動結構改成馬達震動，讓硬幣可以在相同的位置掉落。材質部分，因為在美術行找到厚的瓦楞紙板，其硬度較高，所以此平台改用瓦楞紙製作。

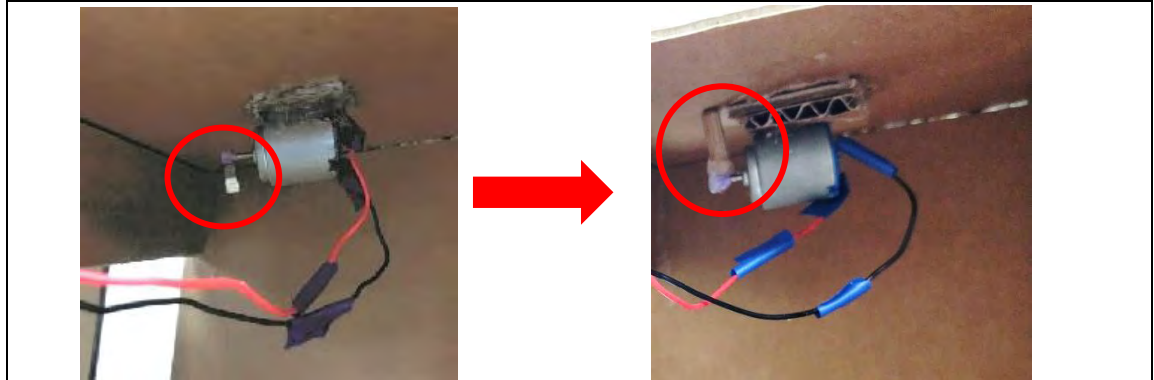
	
1.使用焊槍將馬達和電線焊接	2.馬達轉軸加上齒輪與螺帽，增加震動
	
3.使用焊槍將馬達與電池盒電線焊接	4.將馬達黏在平台底部
	
5.固定電池盒並裝上電池	6.完成平台震動結構

第四次試做平台之觀察與省思

錢幣可以一個一個掉落，但發現電池電力會影響馬達震動大小。

第五試做平台

改良 youtube 影片中馬達與螺帽結合的設計，將螺帽改成圓木棒；加強阻隔硬幣紙板利用冰棒棍改成柵欄狀。另外發現馬達電力及廠牌對硬幣掉落成功與否會有影響，因此電池都改成 Panasonic 鹼性 3 號電池。



1. 改良 youtube 影片中馬達與螺帽結合的設計，將螺帽改成圓木棒



2. 阻隔硬幣紙板利用冰棒棍改成柵欄狀



3. 將他牌電池都改成 Panasonic 鹼性 3 號電池

第五次試做平台之觀察與省思

此結構效果極好，可以達到讓錢幣一個一個掉落的目的，固定電池廠牌可讓馬達每次震動的效果相同。

三、硬幣軌道製作過程

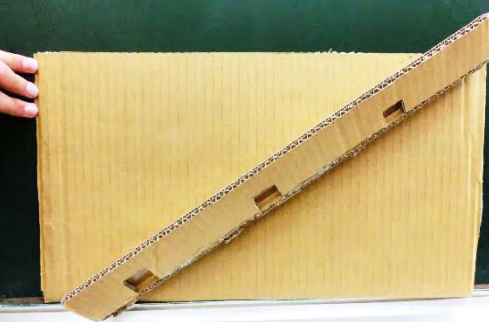
測量並記錄 1 元、5 元、10 元、50 元硬幣的直徑，根據此數據設計硬幣軌道。

幣值 測量	1 元	5 元	10 元	50 元
直徑	2mm	2.2mm	2.6mm	2.8mm



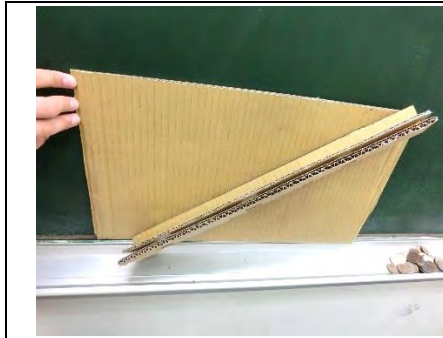
第一次試做硬幣軌道

參考 youtube 影片中軌道設計，利用廢紙箱製做軌道，為了讓硬幣一個一個掉落，所以軌道寬度設計只能讓一個硬幣通過的大小。經測試後找出各個硬幣孔洞的位置，設計出軌道的雛形。

	
1.使用美工刀切割紙箱	2.測試硬幣孔洞的位置
	
3.軌道側面圖，寬度只能讓一個硬幣通過	4.軌道底部，由右而左分別為 1 元、5 元、10 元孔洞

第一次試做硬幣軌道之觀察與省思

1. 廢紙箱較軟，導致軌道的上下紙板變形，硬幣容易卡住。
2. 廢紙箱中間波浪狀結構，裁切後結構被破壞導致支撐力不足，且孔洞側邊凹凸不平，硬幣容易卡住。



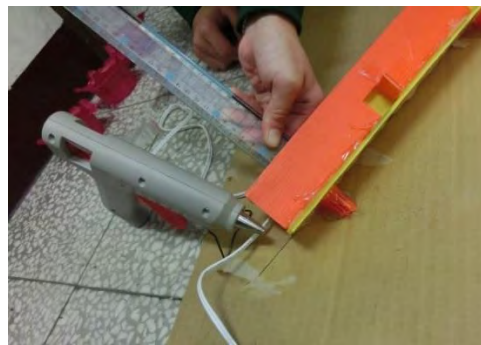
▲廢紙箱太軟，導致軌道變形，寬度不一



▲孔洞側邊凹凸不平，硬幣容易卡住

第二次試做硬幣軌道

因為廢棄的紙箱較軟且平整度不高，剛好發現班上有 PP 板，因此改用 PP 板試做，發現 PP 板較廢紙箱硬。第二次試做進行材料更換，尺寸大小及孔洞位置不變。



1.使用熱熔膠黏合 PP 板製作軌道



2.測試硬幣掉落情況



3.PP 板較廢紙箱硬，較不易變形

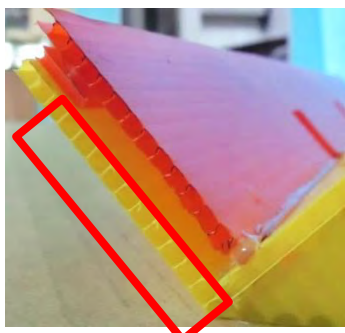
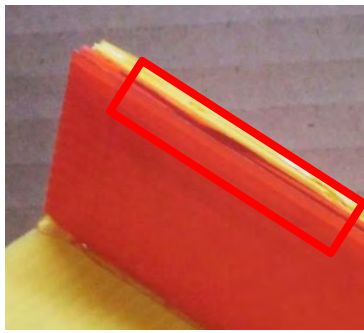
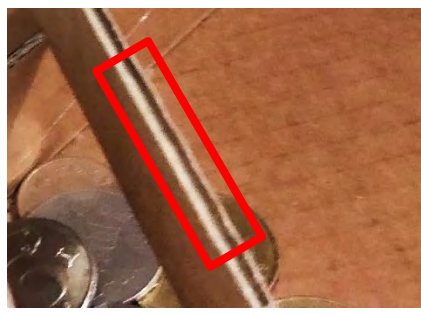


4.在軌道側邊加上一小塊 PP 板，減少軌道變形

	
5.為避免硬幣卡在孔洞側邊，所以不切斷，改用往外摺的方式。	6..完成硬幣軌道

第二次試做硬幣軌道之觀察與省思

1. 保留側邊，以往外摺的方式，雖然不會讓硬幣卡住，但是硬幣滑行時，摺起來的地方會稍微突起，導致硬幣卡在軌道內或滑過頭。再回頭觀察第一次試做的孔洞，結果發現不論是紙箱或 PP 板，中間的結構都有方向性，若切割方向與該結構垂直，即可提高支撐性。
2. 雖然 PP 板的硬度及平整度較廢紙箱高，但硬幣有時會卡在軌道內，測試多次後軌道會有變形的情况。
3. 熱熔膠太多溢到軌道內，導致幣硬滑行有阻礙。

	
▲裁切方向與 PP 板條紋狀垂直，側邊不容易變形	▲裁切方向與 PP 板條紋狀平行，側邊較容易變形
	
▲裁切方向與紙箱波浪狀垂直，側邊不容易變形	▲裁切方向與紙箱波浪狀平行，側邊不容易變形

▲測試多次軌道寬度還是會變形	▲軌道內有殘膠，硬幣滑行有阻礙

第三次試做硬幣軌道

改良第二次試作的軌道，孔洞裁切方向與 PP 板條紋狀垂直，並注意熱熔膠的用量及塗膠的位置，避免軌道內有熱熔膠。

1.製作第三版的軌道	2.裁切方向與 PP 板條紋狀垂直

第三次試做硬幣軌道之觀察與省思

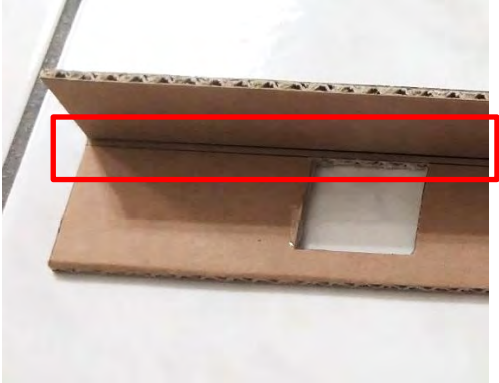
1. 改良後的軌道，硬幣滑行時不會卡在孔洞側邊。
2. 雖然硬幣成功滑落的機率有提高，可是測試多次硬幣還是會卡在軌道，所以我們決定要重新設計軌道的形狀。

▲硬幣卡在軌道內	▲測試多次後軌道變寬，導致兩個硬幣卡住。

軌道第四次試做

前面測試發現軌道容易因為硬幣卡住而變形，所以我們這次決定將軌道上面的板子去掉。另外 PP 板用久了還是會有變形的狀況，所以我們決定到材料行買新的瓦楞紙板，發現新的瓦楞紙不但更堅固而且厚度足夠，不易變形。

接著我們開始思考如何讓硬幣百分之百掉落在正確的孔洞，經過多次測試後發現：第一硬幣必須依靠著側邊滑落，所以軌道必須要稍微傾斜；第二孔洞旁要保留 1mm 的空隙，因為 1 元和 5 元的面積很接近，當 5 元滑行到第一個孔洞時，若稍微傾斜可能落入 1 元的孔洞中，所以需要保留一點點的空隙，孔隙太大或大小都會導致硬幣落入錯誤的孔洞中。

	
1.全新的瓦楞紙板，有 3mm 及 5mm 的厚度	2.第四版軌道：去掉第三板軌道上面的紙板
	
3.側邊加上一條紙板，讓硬幣沿著側邊滑落	4.孔洞旁保留 1mm 的空隙

第四次試做硬幣軌道之觀察與省思

測試後發現硬幣可以準確地落入正確的孔洞，而且錢幣不會有卡住的現象。至於軌道傾斜的最佳角度，後面的實驗再進行說明。

軌道第五次試做

第四版的硬幣軌道都能成功讓硬幣順利掉入孔洞，接著嘗試使用 PP 板、瓦楞紙板、L 夾塑膠片三種材質製作軌道，比較三種材質是否都能成功讓硬幣掉落、硬幣滑落的時間是否相同等。

		
1.使用瓦楞紙板製作	2. 使用 PP 板製作	3. 使用 L 夾塑膠片製作發現效果最好，所以改為此材質製作

第五次試做硬幣軌道之觀察與省思

測試結果發現：

1. 三種材質都能讓硬幣正確掉入孔洞。
2. 硬幣掉落時間：瓦楞紙板 > PP 板 > L 夾塑膠片，由此可知 L 夾塑膠片的效果最好，我們發現三種材質中，L 夾最光滑，瓦楞紙板最粗糙。
3. 相同軌道、相同電池、硬幣相同掉落位置下，L 夾材質最光滑，硬幣能在最短時間掉落，加快分類的速度，於是我們將軌道材質改為 L 夾塑膠片。

※測試過程於後面研究方法與結果有詳細說明。

四、滑道製作過程

根據 1 元、5 元、10 元及 50 元硬幣面積不同，設計符合其大小的軌道寬度，軌道角度為 45 度時，硬幣皆可順利滑落到地面。集幣盒高度確認後，根據此高度裁切不同軌道的長度，讓硬幣可以順利地從滑道落入集幣盒。



1.設計符合硬幣大小的滑道寬度



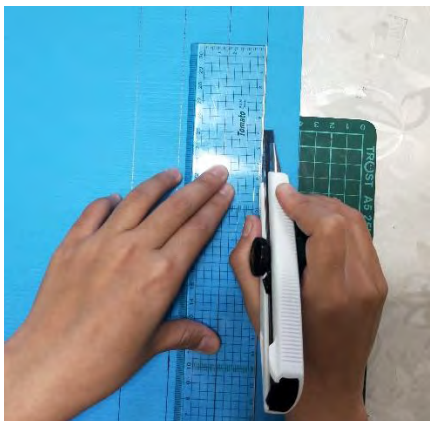
2.滑道角度為 45 度角



3.根據集幣盒的高度，裁切軌道適合的長度

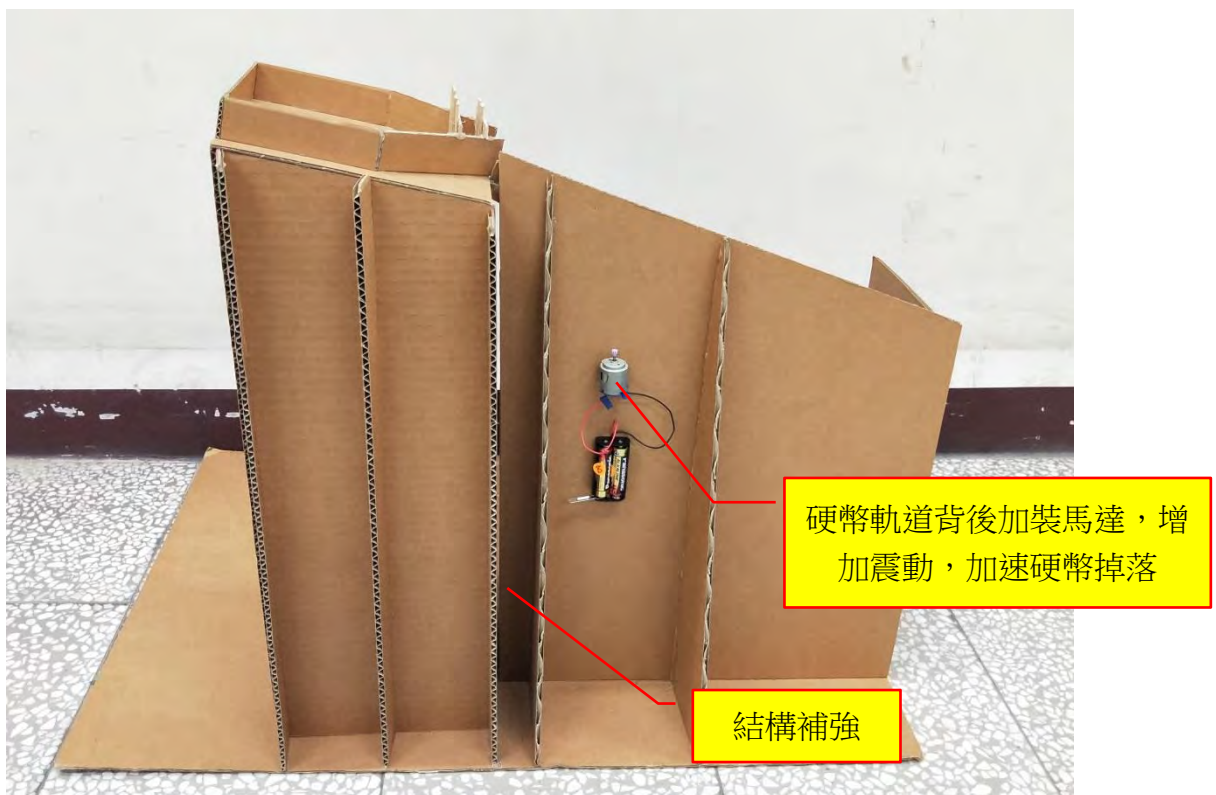
五、集幣盒製作過程

製作集幣盒是為了讓硬幣從滑道落下後，相同的硬幣可以自動疊成一疊，用畫刻度的方式，一眼看出該錢幣的數量，以利統計總金額。滑道角度皆為 45 度，1 元、5 元、10 元及 50 元集幣盒都設計相同的高度。

	
1.畫好集幣盒各部位的尺寸並裁切	2.進行 5 元集幣盒各部位尺寸
	
3.黏合 5 元集幣盒	4.重複步驟 1~3 製作出 1 元、10 元、50 元的集幣盒，並黏上透明塑膠片
	
5.在透明片上畫刻度標記硬幣數量	6.周圍使用瓦楞紙加強固定集幣盒

六、組裝硬幣分類裝置

將平台、硬幣軌道、硬幣滑道和集幣盒進行組裝，並做細部補強。

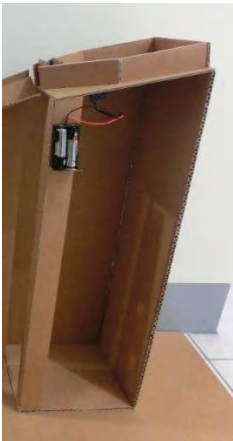
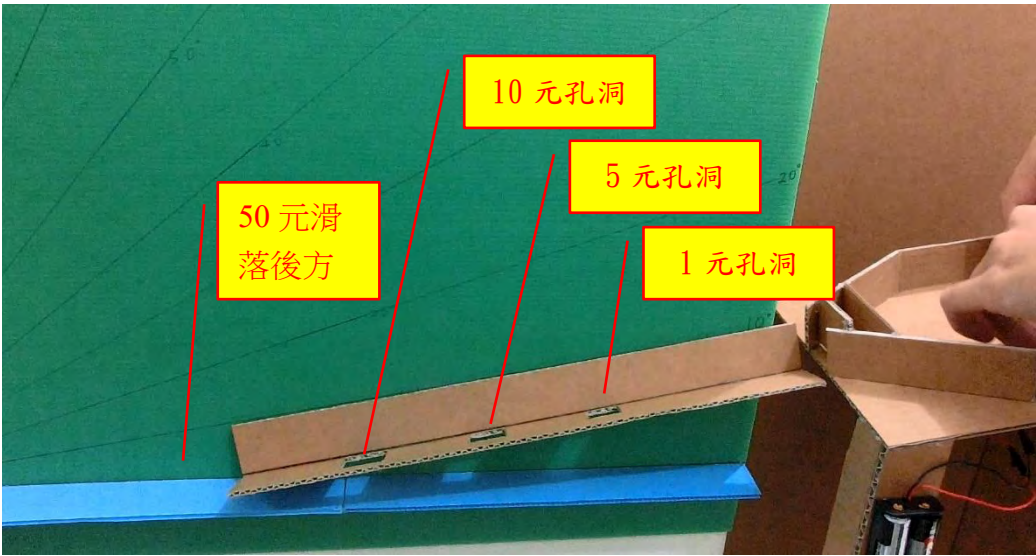


伍、研究方法與結果

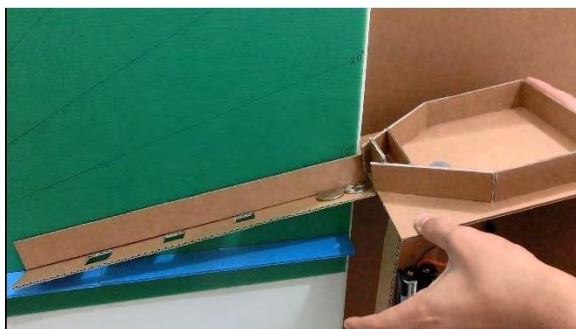
一、軌道角度對硬幣掉落的影響

(一)研究方法

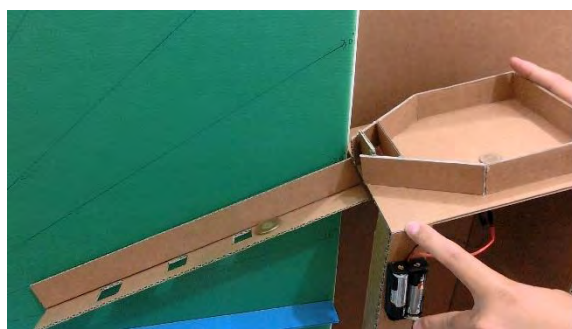
準備一個角度板，在上面畫出 10°、20°、30°、40° 的角度線，製作高架平台，台面稍微傾斜讓硬幣能往下滑，台面底部利用馬達產生震動，讓硬幣順利地一個一個掉落。

	
▲角度板	▲平台
	
▲軌道與硬幣的關係	

利用角度板，測量 1 元、5 元、10 元及 50 元硬幣，在軌道角度為 10° 、 20° 、 30° 、 40° 時，硬幣的掉落情況，若 1 元硬幣掉入 1 元的孔洞即為成功，以 O 表示，否則即為失敗，以 X 表示，其他硬幣測試以此類推，如表一、表二、表三、表四。



▲軌道角度為 10 度



▲軌道角度為 20 度



▲軌道角度為 30 度



▲軌道角度為 40 度

(一)研究結果

1. 當軌道為 10° 時，1 元、5 元、10 元、50 元硬幣停留在軌道最上面，無法順利往下滑入洞口。
2. 當軌道為 20° 時，1 元、5 元、10 元、50 元硬幣皆可以順利掉入其幣值孔洞。
3. 當軌道為 30° 時，除了 50 元可以順利掉入正確的孔洞外，1 元、5 元、10 元測試 5 次時，無法每次都成功掉入正確的孔洞。
4. 當軌道為 40° 時，除了 50 元可以順利掉入正確的孔洞外，5 元的幣值測試 5 次時，無法每次都成功掉入正確的孔洞，1 元和 10 元測試 5 次都無法掉入正確洞口。
5. 由此可知軌道角度大於 30° 以上時，因角度大讓硬幣掉落速度加快，無法每次都順利掉入洞口，故軌道呈 20° 是本次實驗最佳的角度。

表一、軌道為 10° 時，硬幣掉落的情況

幣值 次數	1 元	5 元	10 元	50 元
第一次	X	X	X	X
第二次	X	X	X	X
第三次	X	X	X	X
第四次	X	X	X	X
第五次	X	X	X	X
成功率	0%	0%	0%	0%

表二、軌道為 20° 時，硬幣掉落的情況

幣值 次數	1 元	5 元	10 元	50 元
第一次	O	O	O	O
第二次	O	O	O	O
第三次	O	O	O	O
第四次	O	O	O	O
第五次	O	O	O	O
成功率	100%	100%	100%	100%

表三、軌道為 30° 時，硬幣掉落的情況

幣值 次數	1 元	5 元	10 元	50 元
第一次	X	X	X	O
第二次	O	X	O	O
第三次	O	O	X	O
第四次	X	X	X	O
第五次	O	X	X	O
成功率	60%	20%	20%	100%

表四、軌道為 40° 時，硬幣掉落的情況

幣值 次數	1 元	5 元	10 元	50 元
第一次	X	X	X	O
第二次	X	O	X	O
第三次	X	O	X	O
第四次	X	O	X	O
第五次	X	X	X	O
成功率	0%	60%	0%	100%

二、硬幣重量對硬幣滑落的影響

(一)研究方法

取 1 元、5 元、10 元、50 元的硬幣各一個，量測硬幣的重量十次並計算平均值，得到的結果為 1 元的平均重量為 3.82g、5 元為 4.49g、10 元為 7.51g、50 元為 10.15g，如表五。



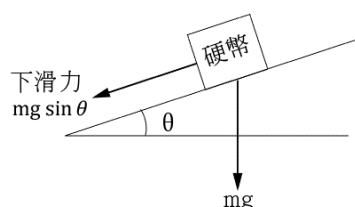
▲使用電子秤量測硬幣重量

表五、同一個硬幣測 10 次之重量結果 (單位：克 g)

幣值 次數	1 元	5 元	10 元	50 元
第一次	3.84	4.46	7.53	10.16
第二次	3.81	4.49	7.54	10.14
第三次	3.82	4.50	7.52	10.15
第四次	3.8	4.49	7.5	10.14
第五次	3.81	4.48	7.53	10.15
第六次	3.81	4.48	7.49	10.16
第七次	3.86	4.48	7.5	10.16
第八次	3.85	4.51	7.51	10.14
第九次	3.82	4.51	7.48	10.13
第十次	3.81	4.50	7.54	10.14
平均重量	3.82	4.49	7.51	10.15

當硬幣從平台掉至軌道斜面時，硬幣往下滑的力稱為下滑力，硬幣的下滑力等於其重力的分量，當硬幣軌道的角度為 θ 時：

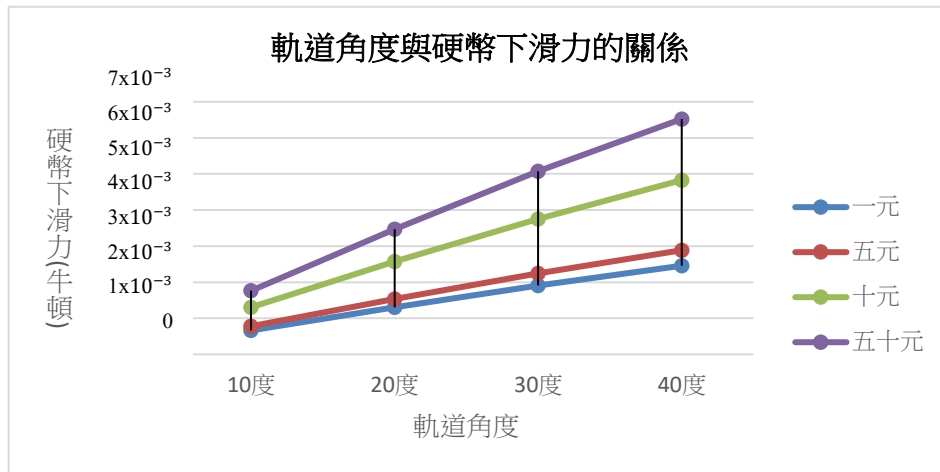
$$\text{下滑力} = mg \sin \theta$$



將硬幣測得的重量帶入公式，得到不同角度時硬幣的下滑力，如表六。

表六、硬幣重量在不同角度的下滑力(單位：牛頓 N)

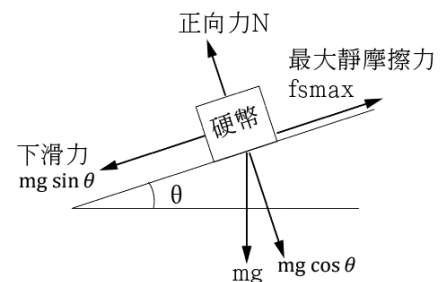
	一元	五元	十元	五十元
重量平均值	3.82×10^{-3}	4.49×10^{-3}	7.51×10^{-3}	10.15×10^{-3}
10 度下滑力	0.6639×10^{-3}	0.7797×10^{-3}	1.3048×10^{-3}	1.7620×10^{-3}
20 度下滑力	1.3075×10^{-3}	1.5357×10^{-3}	2.5699×10^{-3}	3.4705×10^{-3}
30 度下滑力	1.9115×10^{-3}	2.2450×10^{-3}	3.7570×10^{-3}	5.0735×10^{-3}
40 度下滑力	2.4574×10^{-3}	2.8861×10^{-3}	4.8299×10^{-3}	6.5224×10^{-3}



圖一、軌道角度與硬幣下滑力的關係

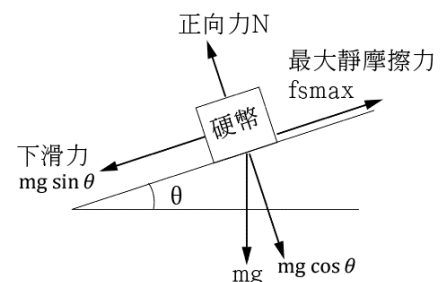
硬幣的正向力等於硬幣重量的分向，最大靜摩擦力等於靜摩擦係數乘以硬幣的正向力由此得知：

$$\begin{aligned} \text{最大靜摩擦力 } f_{smax} &= \mu_s \times N \\ &= \mu_s \times mg \cos \theta \end{aligned}$$



當硬幣的下滑力大於硬幣的最大靜摩擦力 f_{smax} 時，硬幣會開始往下滑動，由此得知：

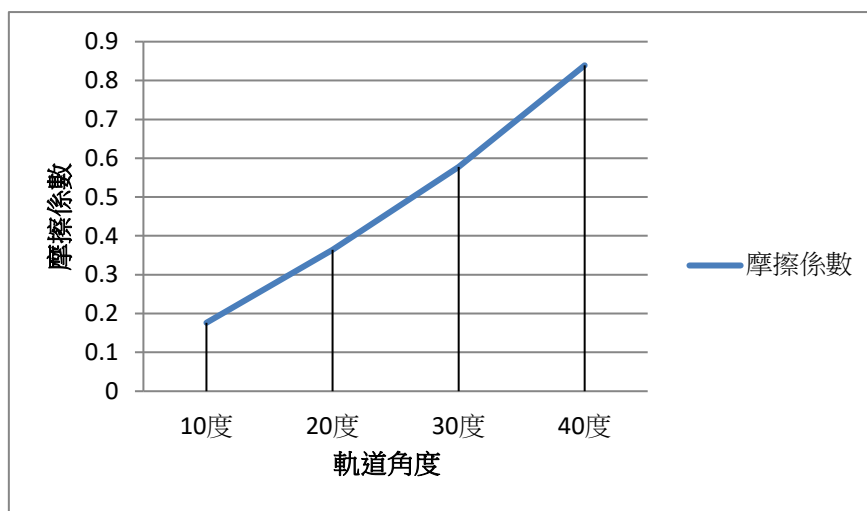
$$\begin{aligned} \text{硬幣恰要滑動時} \\ \text{下滑力} &= \text{最大靜摩擦力} \\ mg \sin \theta &= \mu_s \times mg \cos \theta \\ \mu_s &= \tan \theta \end{aligned}$$



由上述公式得知由上述公式得知，硬幣要能滑動與硬幣重量無關，但與軌道斜面角度有關。

表七、軌道角度與摩擦係數的關係

	10 度	20 度	30 度	40 度
摩擦係數	0.1763	0.364	0.5774	0.8391



圖三、不同軌道角度的摩擦係數

(二)研究結果

1. 相同軌道角度，硬幣越重，下滑力越大。
2. 相同硬幣，軌道角度越大，下滑力越大。
3. 硬幣要能滑動與硬幣重量無關，但與軌道角度有關，當硬幣的下滑力大於最大靜摩擦力 f_{smax} 時，硬幣會開始往下滑動。

三、 探討瓦楞紙板、PP 板及 L 夾塑膠片對硬幣滑行的影響

(一)研究方法

使用瓦楞紙板、PP 板及 L 夾塑膠片三種材質，且取 1 元、5 元、10 元、50 元硬幣各兩個，把硬幣放在平台固定位置上，測試軌道角度 20 度時，硬幣掉落的成功率及硬幣從平台滑落軌道洞口的秒數。

三種材質皆使用 Panasonic3 號電池，每測試一種材質就更換平台和軌道背後的電池，以確保電力皆相同，平台震動力道都相同。

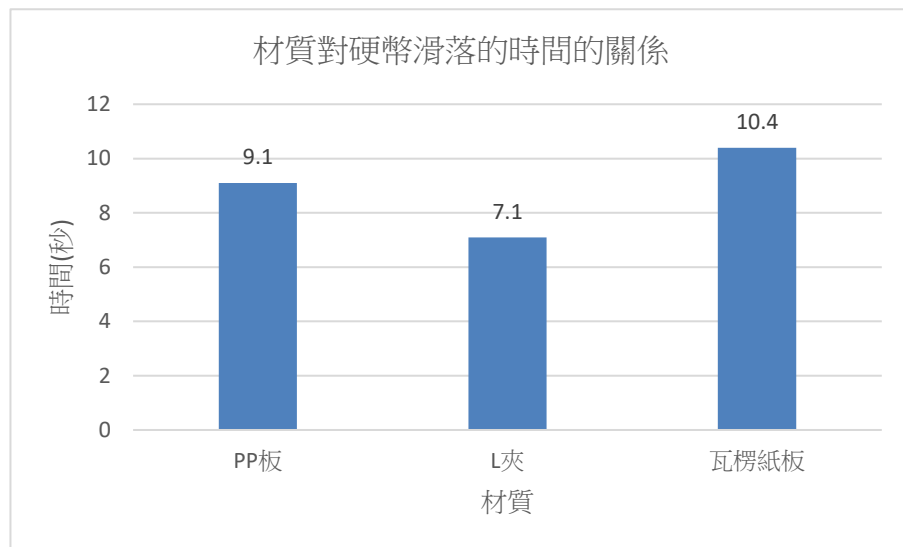
	
1.在平台上畫出硬幣位置	2.每次量測前將硬幣放在固定位置上
	
3.硬幣軌道使用瓦楞紙板測試	4. 硬幣軌道使用 PP 板測試
	
5. 硬幣軌道使用 L 夾塑膠片測試	

表八、不同材質，硬幣掉落的成功率

材質 次數	瓦楞紙板	PP 板	L 夾塑膠片
第一次	成功	成功	成功
第二次	成功	成功	成功
第三次	成功	成功	成功
第四次	成功	成功	成功
第五次	成功	成功	成功
第六次	成功	成功	成功
第七次	成功	成功	成功
第八次	成功	成功	成功
第九次	成功	成功	成功
第十次	成功	成功	成功
成功率	100%	100%	100%

表九、不同材質對硬幣滑落的時間的關係（單位：秒）

材質 次數	瓦楞紙板	PP 板	L 夾塑膠片
第一次	13	7	8
第二次	14	9	9
第三次	12	10	7
第四次	10	10	6
第五次	7	8	6
第六次	12	9	8
第七次	8	9	7
第八次	12	9	5
第九次	7	9	7
第十次	9	11	8
平均秒數	10.4	9.1	7.1



圖四、材質對硬幣滑落的時間的關係

(二)研究結果

1. 瓦楞紙板、PP 板、L 夾塑膠片三種材質，硬幣皆能成功滑落至滑道。
2. 使用瓦楞紙板，硬幣滑落的平均秒數為 10.4 秒；使用 PP 板，硬幣滑落的平均秒數為 9.1 秒；使用 L 夾塑膠片，硬幣滑落的平均秒數為 7.1 秒。
3. 硬幣掉落時間：瓦楞紙板 > PP 板 > L 夾塑膠片，由此可知 L 夾塑膠片的效果最好，我們發現硬幣滑落時間與材質光滑程度有關，這三種材質中，L 夾最光滑，瓦楞紙板最粗糙。
4. 相同軌道、相同電池、硬幣相同掉落位置下，L 夾材質最光滑，硬幣能在最短時間掉落，加快分類的速度。

陸、討論

一、 軌道角度 20 度時，此摩擦力是否就是最大靜摩擦力？

當角度為 10° 時，硬幣皆無法往下掉落軌道，但是當角度為 20° 時硬幣全都可以掉落軌道，因這次實驗角度是以 10 的倍數量測，但有可能 18° 時硬幣就能往下滑動，因此無法推測軌道角度 20 度時，是否是最大靜摩擦力。

二、 為何軌道角度大於 30 度以上時，硬幣無法準確地落入孔洞？

因軌道角度大於 30 度後，硬幣雖然可以往下滑落，可是滑動速度過快硬幣會有滑過頭的情況，無法順利地掉入正確的孔洞。

三、 馬達會影響硬幣掉落的成功率

馬達的電力會隨著時間逐漸減少，因此平台的震動，會有減弱的狀況，當電力減弱馬達的震動會跟著變小，甚至沒電，這會導致硬幣不能順利地掉落至軌道。

四、 製作此裝置的注意事項

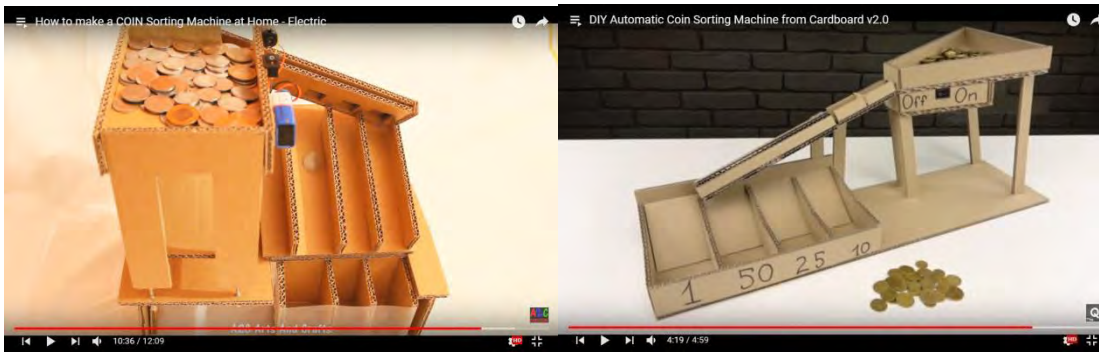
1. 黏合軌道時要特別注意熱熔膠的用量，因為 1 元和 5 元的直徑只差 2mm，尺寸若有誤差，很容易導致 5 元硬幣掉落 1 元孔洞。
2. 硬幣必須沿著軌道邊緣滑行，且孔洞旁必須保留 1mm 的空隙才能讓硬幣全部成功掉落。
3. 平台必須稍微傾斜且依靠馬達震動，才能解決硬幣卡在洞口，無法一個一個掉落的問題。

柒、結論

- 一、當軌道為 10° 時，硬幣停留在軌道最上面，無法順利往下滑入洞口；角度大於 30° 以上時，因硬幣掉落速度太快，無法每次都順利掉入洞口；軌道最佳角度 20° 是在固定高度、固定外力的狀況下測試而得。
- 二、硬幣要能滑動與其重量無關，但與軌道角度有關，當硬幣的下滑力大於最大靜摩擦力 f_{smax} 時，硬幣會開始往下滑動。
- 三、比較瓦楞紙板、PP 板、L 夾塑膠片三種材質，硬幣皆能成功滑落至滑道。
L 夾材質最光滑，能讓硬幣在最短的時間掉落。

捌、參考資料及其他

一、硬幣分類器參考影片



1. https://www.youtube.com/watch?v=B4b35HEk0uk&list=PLYd_TMuYnM9CUJke6CRsVCOZCJxq_tDna&index=13&t=651s
2. https://www.youtube.com/watch?v=8eXM93Wyrro&list=PLYd_TMuYnM9CUJke6CRsVCOZCJxq_tDna&index=7

二、往復運動參考影片：圓周運動轉直線運動

1. https://www.youtube.com/watch?v=sehl-HeA8uo&list=PLYd_TMuYnM9CUJke6CRsVCOZCJxq_tDna&index=11
2. https://www.youtube.com/watch?v=ViVbgBT3cjs&list=PLYd_TMuYnM9CUJke6CRsVCOZCJxq_tDna&t=2s&index=12

三、三角函數表 <http://www.mathland.idv.tw/scene/tables/trigonometrictables.pdf>

四、國中理化摩擦力 <https://sites.google.com/site/frankb1233967/gai-shu>

【評語】 032901

本作品參考網路作品，自製硬幣分類裝置，以簡單國中理化之摩擦力概念做設計，將硬幣快速做分類。較網站資料改進之處包括(1)探討軌道角度及硬幣重量對硬幣在軌道滑落的影響，以及(2)探討PP板及L夾塑膠片對硬幣滑行的影響。主題明確也有應用價值，實驗結果亦有再現性，雖創新性不足，且如何處理大量硬幣並未著墨，但整體團隊合作與默契均佳。

摘要

園遊會後發現零錢數量太多，難以在短時間內統計金額，所以製作硬幣分類裝置來解決這個問題。此裝置參考網路youtube影片，發現影片中並無說明硬幣軌道最佳角度、硬幣重量是否影響滑落狀況，以及除了瓦楞紙板外是否有其他材質能讓硬幣滑行更快，因此我們以影片中的裝置為雛形，從中改良細部結構並探討軌道角度對硬幣掉落的影響、硬幣重量對硬幣滑落的影響、以及瓦楞紙板、PP板及L夾塑膠片對硬幣滑行的影響。此裝置能正確分類硬幣，我們研究出此裝置硬幣軌道最佳角度為20度、硬幣掉落成功與否與其重量無關、使用L夾塑膠片硬幣滑落速度最快等結論。

壹、研究動機

我們發現老師及幹部收完錢要統計金額時，常會遇到零錢數量太多，必須要慢慢把不同幣值的錢先分類再計算數量，才能知道總金額，難以在短時間計算正確的問題，於是我們決定設計硬幣分類裝置來解決這個問題。根據國中理化摩擦力原理找出最適合硬幣滑落的軌道角度，讓硬幣能順利掉入正確的孔洞。

貳、研究目的

- 一、 探討軌道角度對硬幣掉落的影響。
- 二、 探討硬幣重量對硬幣滑落的影響。
- 三、 探討瓦楞紙板、PP板及L夾塑膠片對硬幣滑行的影響。

參、研究工具及材料

編號	名稱	單位	數量	編號	名稱	單位	數量
01	切割墊	個	2	17	游標卡尺	支	1
02	剪刀	把	1	18	膠帶	捲	1
03	奇異筆	支	1	19	雙面膠	捲	1
04	美工刀	把	1	20	電工膠布	捲	1
05	螺帽	個	1	21	焊槍	台	1
06	小齒輪	包	1	22	焊錫	管	1
07	馬達	顆	1	23	3mm PP板-黃綠藍	張	4
08	3號電池	顆	2	24	3mm 瓦楞紙版	張	4
09	3號電池盒	個	1		5mm 瓦楞紙版	張	4
10	光碟	個	1	25	1元、5元、10元、50元	各	10個
11	電子秤	台	1	26	相機	台	
12	捲尺	個	1	27	塑膠片	張	2
13	量角器	個	1	28	熱熔膠條	條	20
14	圓規	個	1	29	熱熔膠槍	把	1
15	塑膠尺	支	1	30	圓木棒	個	1
16	鐵尺	支	1	31	計時器	個	1



▲硬幣分類裝置正面圖

▲硬幣分類裝置背面圖

肆、製作過程及方法

一、平台製作過程：平台用來放置硬幣，透過平台讓硬幣一個一個掉落在軌道，以利於分類。

二、硬幣軌道製作過程：先測量並記錄硬幣的直徑，再設計軌道形狀及尺寸。

第一次試做

參考youtube試作往復運動的機構，利用前後晃動疏通阻塞的硬幣。
發現廢紙箱太軟，結構容易不穩。



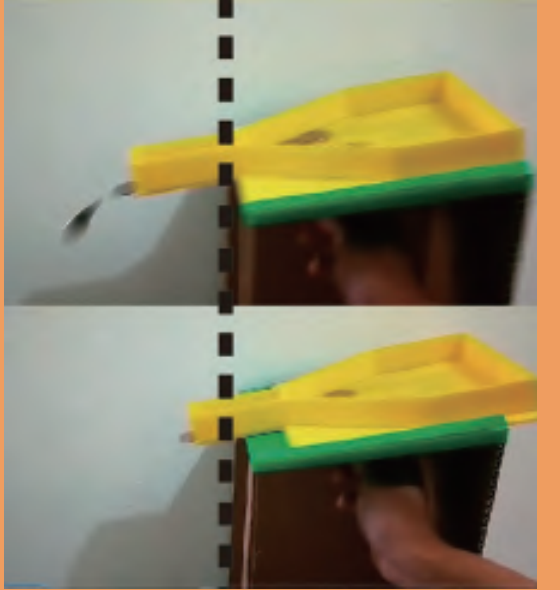
第二次試做

將材質由廢紙箱改成PP板，並加強竹筷和光碟的黏合。
發現圓周運動轉直線很容易卡住



第三次試做

將結構改成直線運動，減少前後移動不順的問題。
發現手的力道不一致，導致硬幣掉落的位置不同，無法精準地掉落軌道。



第四次試做

參考youtube，利用馬達震動產生固定外力，材料改成新的瓦楞紙版。
發現電池電力會影響馬達震動大小。



第五次試做

改良馬達與螺帽結合的設計，將螺帽改成圓木棒(圖1)；阻隔硬幣紙板利用冰棒棍改成柵欄狀(圖2)。固定使用Panasonic鹼性3號電池(圖3)。



第一次試做

參考youtube影片，利用廢紙箱製作軌道雛形，軌道寬度只能讓一個硬幣通過。
發現廢紙箱容易變形、且波浪狀結構，裁切後支撐力不足。



第二次試做

軌道材質改用PP板試做。
發現PP板的硬度及平整度較廢紙箱高，但測試多次後軌道會變形。不論是紙箱或PP板，中間的結構都有方向性，若切割方向與該結構垂直，即可提高支撐性。



第三次試做

改良第二次的軌道，孔洞裁切方向與PP板條紋狀垂直，並注意熱熔膠的用量及塗膠的位置。
發現硬幣成功滑落的機率有提高，但硬幣測試多次仍會卡在軌道，因此重新設計軌道的形狀。



第四次試做

使用新的瓦楞紙板重新製作，去掉軌道上面的板子。
發現硬幣要能100%掉落孔洞必須：
1. 軌道稍微傾斜讓硬幣靠著側邊滑落。
2. 孔洞旁要保留1mm的空隙



第五次試做

第四版的硬幣軌道都能成功讓硬幣順利掉入孔洞。使用PP板、瓦楞紙板、L夾三種材質製作軌道，比較是否都能成功讓硬幣掉落、硬幣滑落的時間是否相同。結果於伍、研究方法與結果說明。



第五次試做

第四版的硬幣軌道都能成功讓硬幣順利掉入孔洞。使用PP板、瓦楞紙板、L夾三種材質製作軌道，比較是否都能成功讓硬幣掉落、硬幣滑落的時間是否相同。結果於伍、研究方法與結果說明。



三、滑道製作過程：根據硬幣面積不同，設計符合其大小的軌道寬度。此軌道角度為45度。集幣盒高度確認後，根據此高度裁切不同軌道的長度。

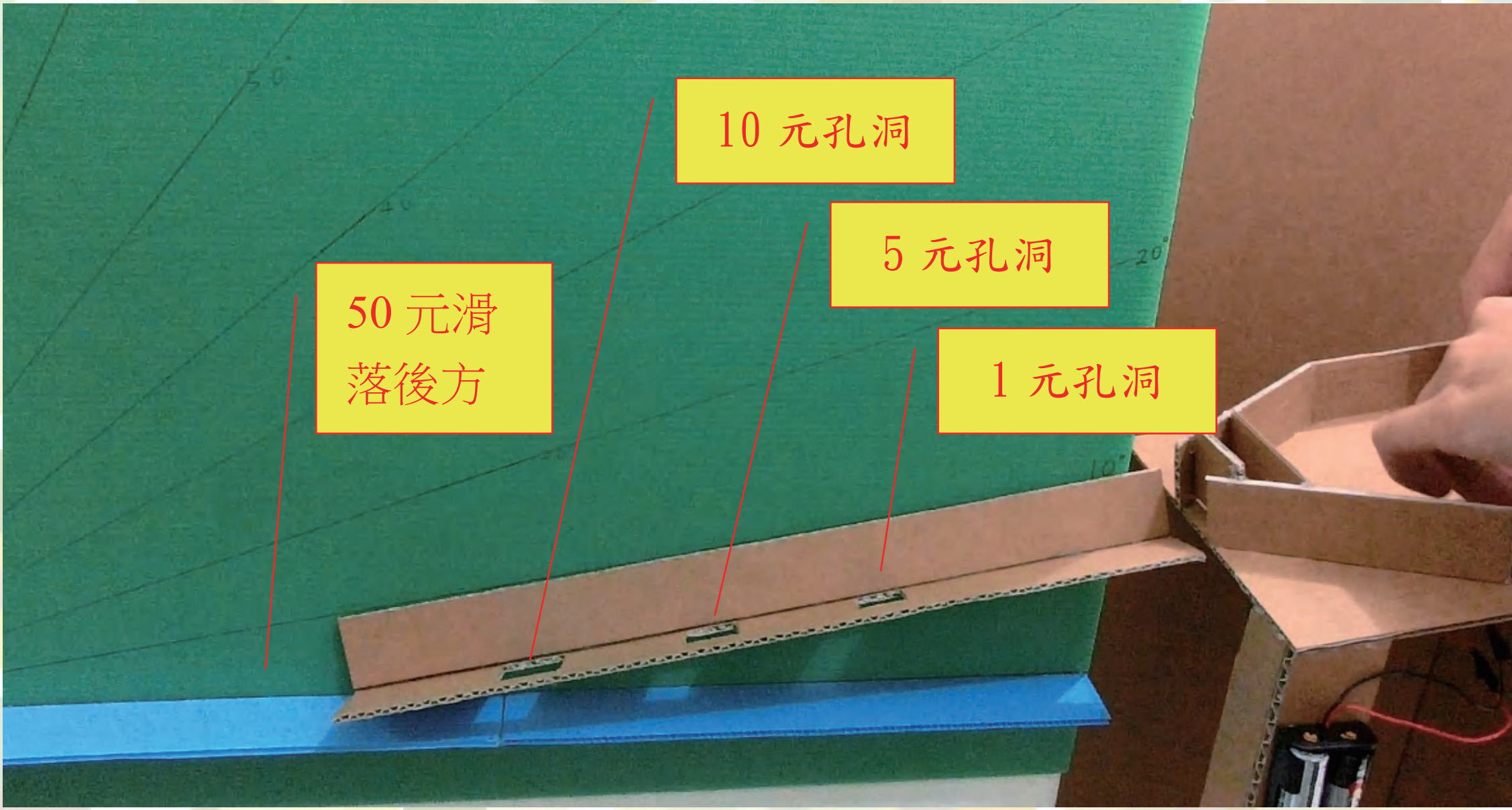


伍、研究方法與結果

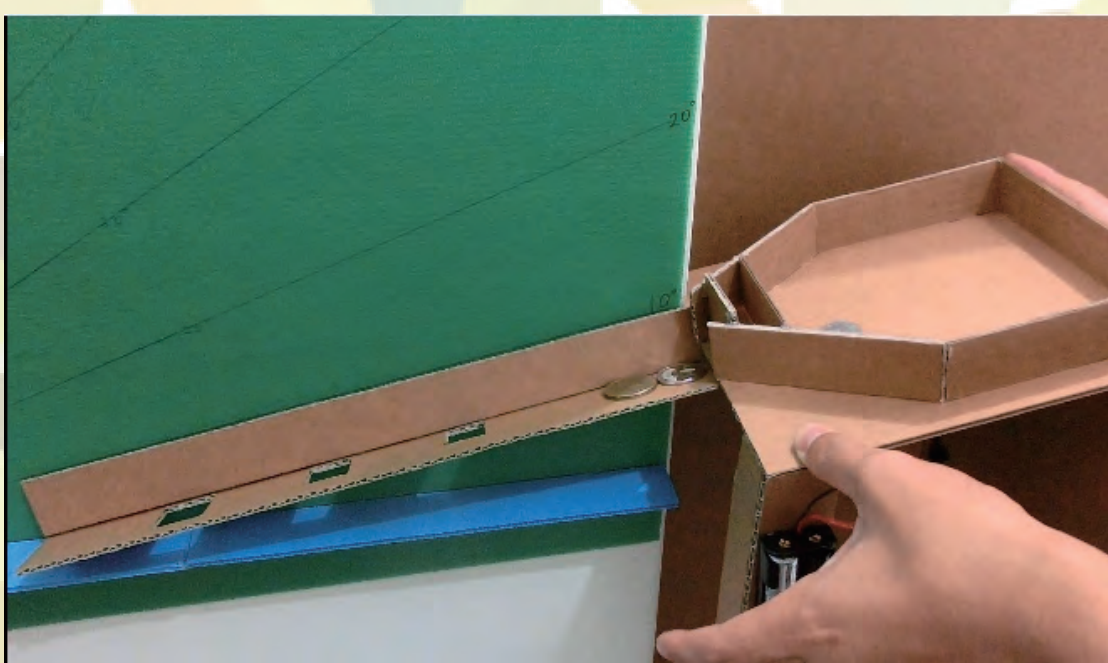
一、軌道角度對硬幣掉落的影響

(一)研究方法

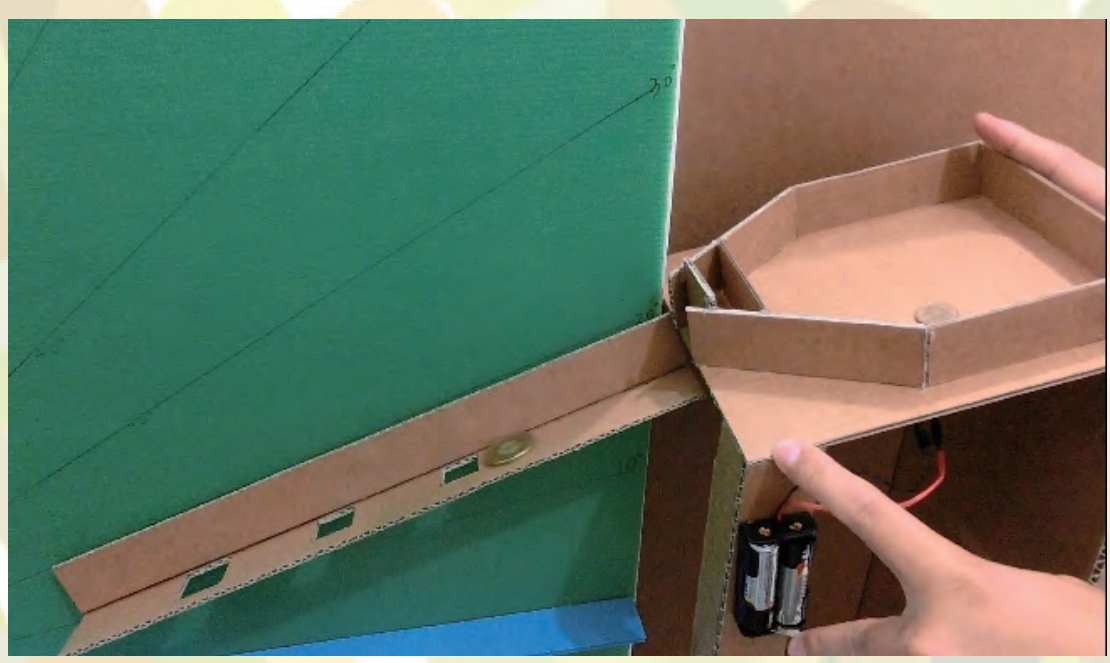
準備一個角度板，在上面畫出10°、20°、30°、40°的角度線，製作高架平台，台面稍微傾斜讓硬幣能往下滑，台面底部利用馬達產生震動，讓硬幣順利地一個一個掉落。利用角度板，測量硬幣在軌道角度為10°、20°、30°、40°時的掉落情況，若1元硬幣掉入1元的孔洞即為成功，否則即為失敗



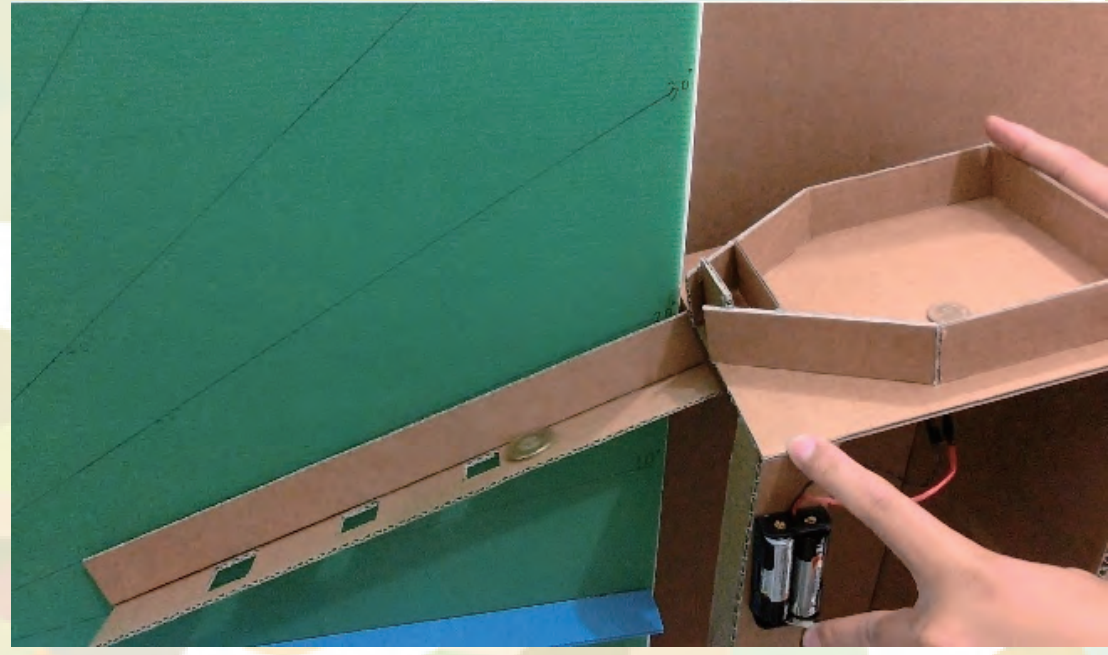
▲利用角度板測試軌道與硬幣的關係



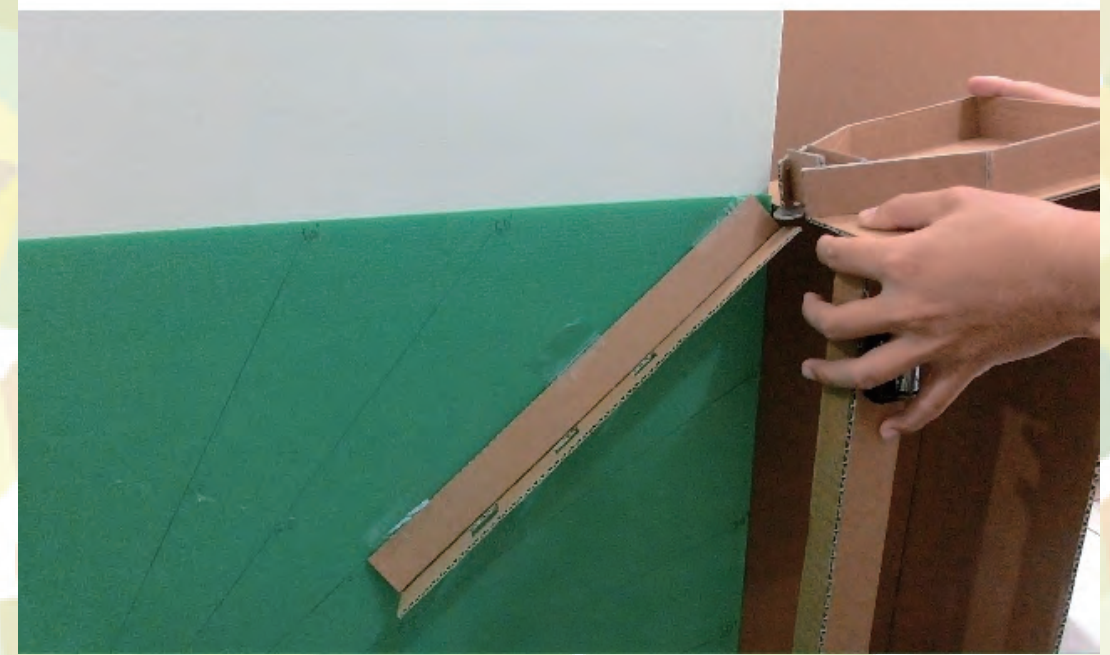
▲軌道角度為 10 度



▲軌道角度為 20 度



▲軌道角度為 30 度



▲軌道角度為 40 度

(二)研究結果

1. 當軌道為 10° 時，1元、5元、10元、50元硬幣停留在軌道最上面，無法順利往下滑入洞口。
2. 當軌道為 20° 時，1元、5元、10元、50元硬幣皆可以順利掉入其幣值孔洞。
3. 當軌道為 30° 時，除了50元可以順利掉入正確的孔洞外，1元、5元、10元測試5次時，無法每次都成功掉入正確的孔洞。
4. 當軌道為 40° 時，除了50元可以順利掉入正確的孔洞外，5元的幣值測試5次時，無法每次都成功掉入正確的孔洞，1元和10元測試5次都無法掉入正確洞口。
5. 由此可知軌道角度大於 30° 以上時，因角度太大讓硬幣掉落速度加快，無法每次都順利掉入洞口，故軌道呈 20° 是本次實驗最佳的角度。

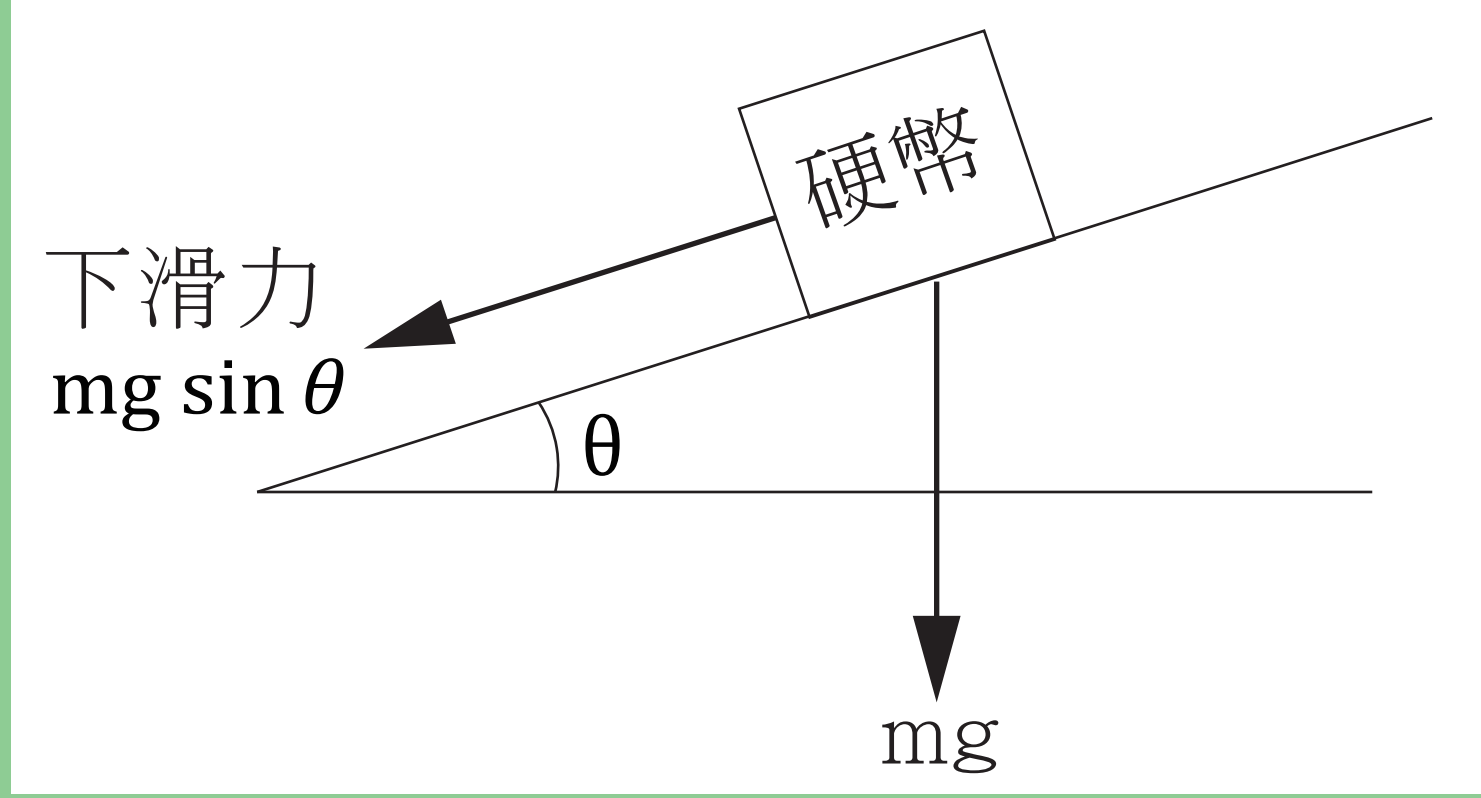
二、硬幣重量對硬幣滑落的影響

(一)研究方法

取1元、5元、10元、50元的硬幣量測其重量十次並計算平均值，得到：1元的平均重量為3.82g、5元為4.49g、10元為7.51g、50元為10.15g。

當硬幣從平台掉至軌道斜面時，硬幣往下滑的力稱為下滑力，硬幣的下滑力等於其重力的分量，當硬幣軌道的角度為 θ 時：

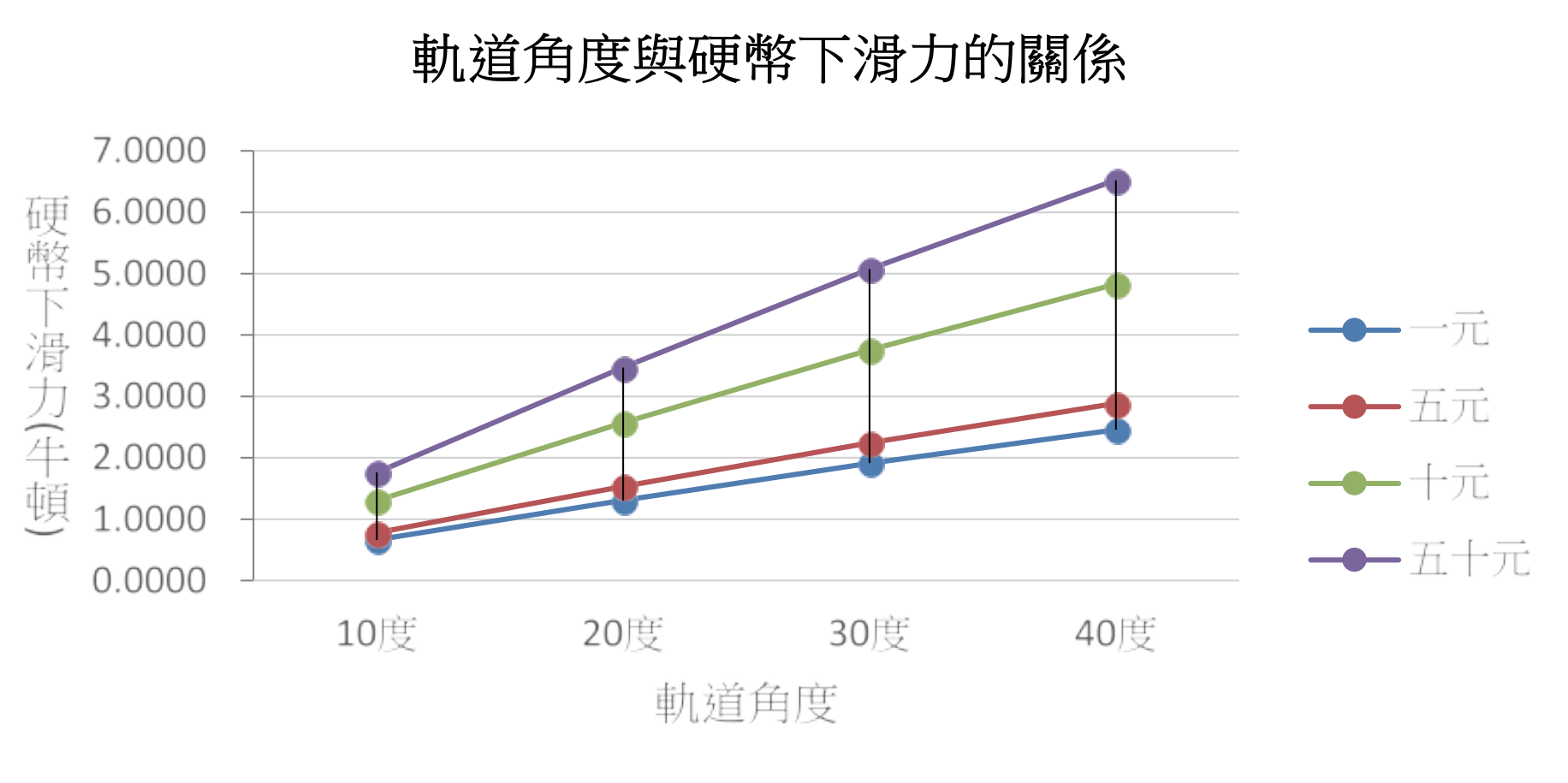
$$\text{下滑力} = mg \sin \theta$$



將硬幣測得的重量帶入公式，得到不同角度時硬幣的下滑力：

硬幣重量在不同角度的下滑力(單位：牛頓 N)

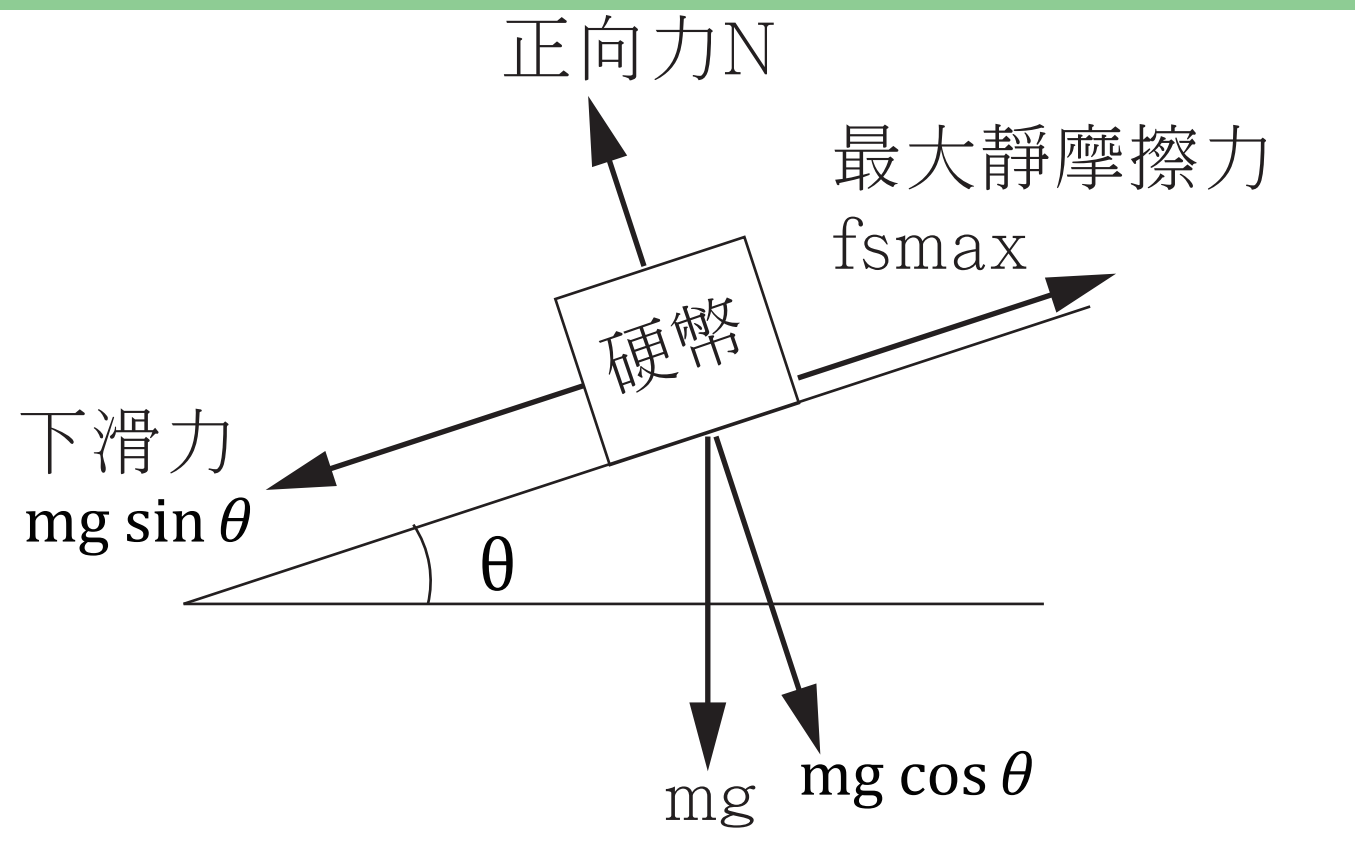
	一元	五元	十元	五十元
重量平均值	3.82×10^{-3}	4.49×10^{-3}	7.51×10^{-3}	10.15×10^{-3}
10 度下滑力	0.6639×10^{-3}	0.7797×10^{-3}	1.3048×10^{-3}	1.7620×10^{-3}
20 度下滑力	1.3075×10^{-3}	1.5357×10^{-3}	2.5699×10^{-3}	3.4705×10^{-3}
30 度下滑力	1.9115×10^{-3}	2.2450×10^{-3}	3.7570×10^{-3}	5.0735×10^{-3}
40 度下滑力	2.4574×10^{-3}	2.8861×10^{-3}	4.8299×10^{-3}	6.5224×10^{-3}



軌道角度與硬幣下滑力的關係

硬幣的正向力等於硬幣重量的分量，最大靜摩擦力等於靜摩擦係數乘以硬幣的正向力，由此得知：

$$\begin{aligned} \text{最大靜摩擦力 } f_{\text{max}} &= \mu_s \times N \\ &= \mu_s \times m g \cos \theta \end{aligned}$$

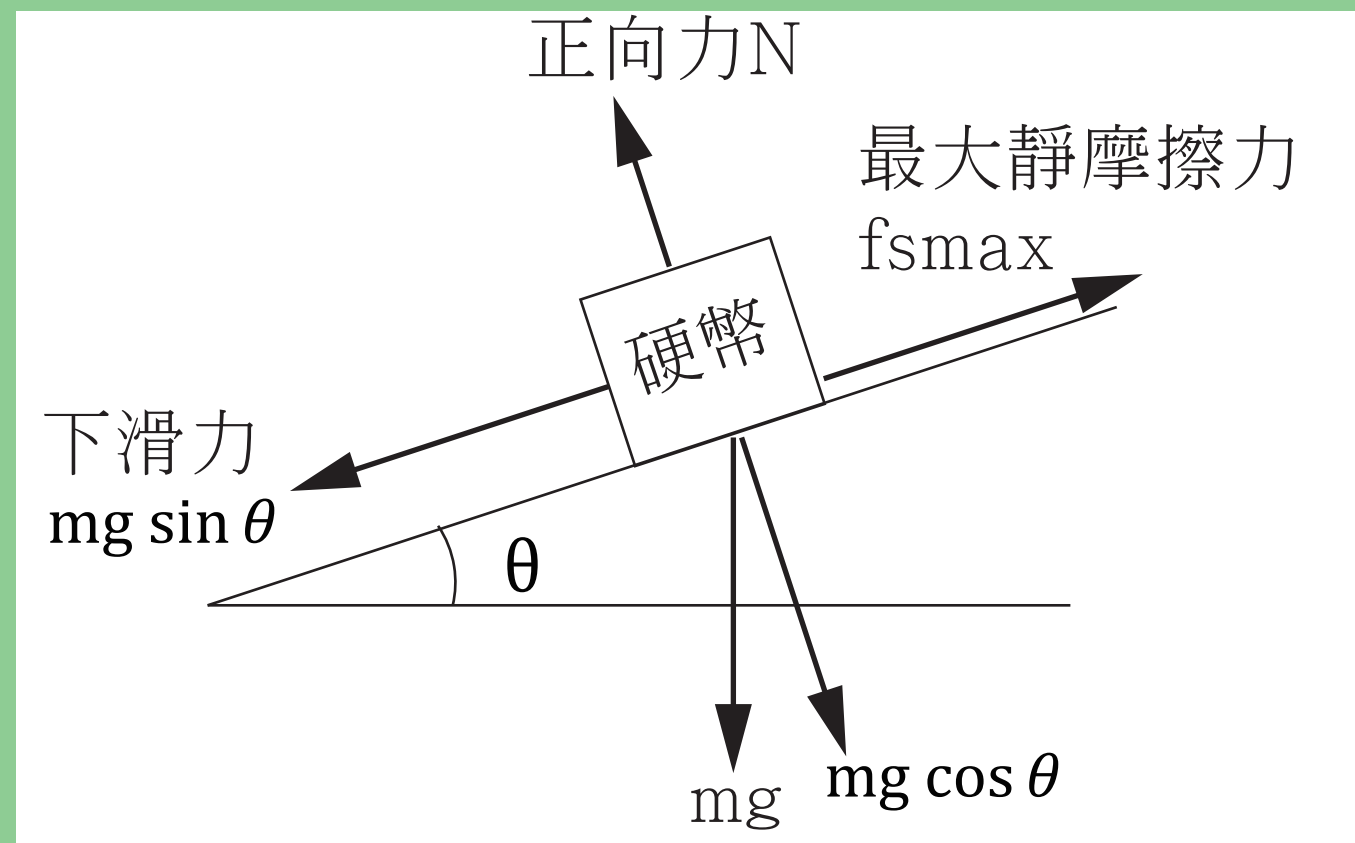


當硬幣的下滑力大於硬幣的最大靜摩擦力時，硬幣會開始往下滑動，由此得知：

硬幣恰要滑動時：

下滑力=最大靜摩擦力

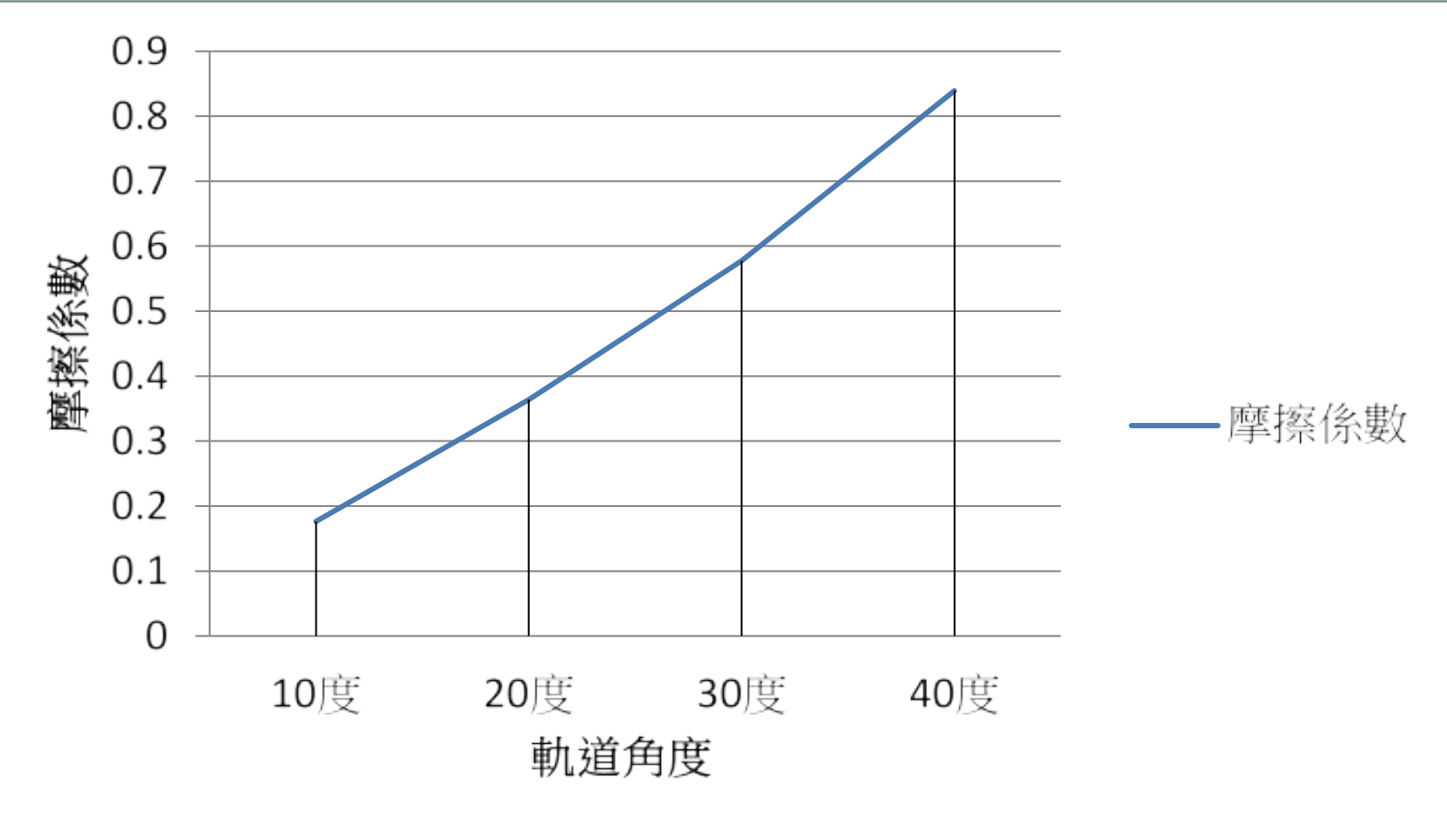
$$\begin{aligned} m g \sin \theta &= \mu_s \times m g \cos \theta \\ \mu_s &= \tan \theta \end{aligned}$$



由上述公式得知，硬幣要能滑動與硬幣重量無關，但與軌道斜面角度有關。

軌道角度與摩擦係數的關係

	10 度	20 度	30 度	40 度
摩擦係數	0.1763	0.364	0.5774	0.8391



不同軌道角度的摩擦係數

(二)研究結果

1. 相同軌道角度，硬幣越重，下滑力越大。
2. 相同硬幣，軌道角度越大，下滑力越大。
3. 硬幣要能滑動與硬幣重量無關，但與軌道角度有關，當硬幣的下滑力大於最大靜摩擦力時，硬幣會開始往下滑動。

三、探討瓦楞紙板、PP板及L夾塑膠片對硬幣滑行的影響

(一)研究方法

使用瓦楞紙板、PP板及L夾塑膠片三種材質，且取1元、5元、10元、50元硬幣各兩個，把硬幣放在平台固定位置上，測試軌道角度20度時，硬幣掉落的成功率及硬幣從平台滑落軌道洞口的秒數。

三種材質皆使用Panasonic鹼性3號電池，每測試一種材質就更換平台和軌道背後的電池，以確保電力皆相同，平台震動力道都相同。



▲將硬幣放在固定位置上測試



▲使用瓦楞紙板測試



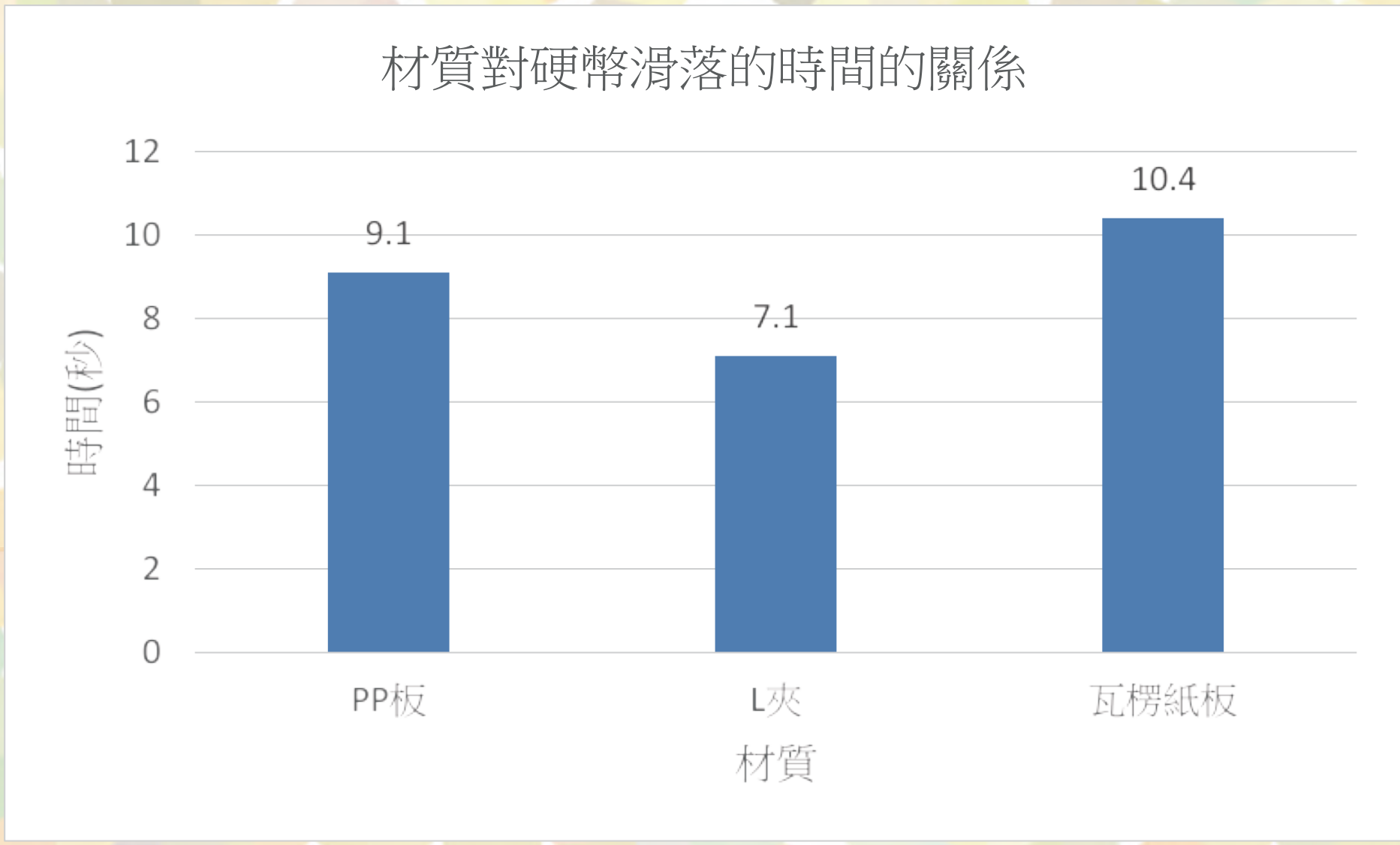
▲使用PP板測試



▲使用L夾塑膠片測試

不同材質對硬幣滑落的時間的關係 (單位：秒)

材質 次數	PP 板	L 夾塑膠片	瓦楞紙板
第一次	7	8	13
第二次	9	9	14
第三次	10	7	12
第四次	10	6	10
第五次	8	6	7
第六次	9	8	12
第七次	9	7	8
第八次	9	5	12
第九次	9	7	7
第十次	11	8	9
平均秒數	9.1	7.1	10.4



▲材質對硬幣滑落的時間的關係

(二)研究結果

1. 瓦楞紙板、PP板、L夾塑膠片三種材質，硬幣皆能成功滑落至滑道。
2. 使用瓦楞紙板，硬幣滑落的平均秒數為10.4秒；使用PP板，硬幣滑落的平均秒數為9.1秒；使用L夾塑膠片，硬幣滑落的平均秒數為7.1秒。
3. 硬幣掉落時間：瓦楞紙板 > PP板 > L夾塑膠片，由此可知L夾塑膠片的效果最好，我們發現硬幣滑落時間與材質光滑程度有關，這三種材質中，L夾最光滑，瓦楞紙板最粗糙。
4. 相同軌道、相同電池、相同掉落位置下，L夾材質最光滑，硬幣能在最短時間掉落，加快分類的速度。

陸、討論

- 一、軌道角度20度時，此摩擦力是否就是最大靜摩擦力？
當角度為10° 時，硬幣皆無法往下掉落軌道，但是當角度為20° 時硬幣全都可以掉落軌道，因這次實驗角度是以10的倍數量測，但有可能18° 時硬幣就能往下滑動，因此無法推測軌道角度20度時，是否是最大靜摩擦力。
- 二、為何軌道角度大於30度以上時，硬幣無法準確地落入孔洞？
因軌道角度大於30度後，硬幣雖然可以往下滑落，可是滑動速度過快硬幣會有滑過頭的情況，無法順利地掉入正確的孔洞。
- 三、馬達會影響硬幣掉落的成功率
馬達的電力會隨著時間逐漸減少，因此平台的震動，會有減弱的狀況，當電力減弱馬達的震動會跟著變小，甚至沒電，這會導致硬幣不能順利地掉落至軌道。
- 四、製作此裝置的注意事项
1. 黏合軌道時要特別注意熱熔膠的用量，因為1元和5元的直徑只差2mm，尺寸若有誤差，很容易導致5元硬幣掉落1元孔洞。
2. 硬幣必須沿著軌道邊緣滑行，且孔洞旁必須保留1mm的空隙才能讓硬幣全部成功掉落。
3. 平台必須稍微傾斜且依靠馬達震動，才能解決硬幣卡在洞口，無法一個一個掉落的問題。

柒、結論

- 一、當軌道為10° 時，硬幣停留在軌道最上面，無法順利往下滑入洞口；角度大於30° 以上時，因硬幣掉落速度太快，無法每次都順利掉入洞口；軌道最佳角度20是在固定高度、固定外力的狀況下測試而得。
- 二、硬幣要能滑動與其重量無關，但與軌道角度有關，當硬幣的下滑力大於最大靜摩擦力f_{smax}時，硬幣會開始往下滑動。
- 三、比較瓦楞紙板、PP板、L夾塑膠片三種材質，硬幣皆能成功滑落至滑道。L夾材質最光滑，能讓硬幣在最短的時間掉落。

捌、參考資料及其他

- 一、硬幣分類器參考影片
1. https://www.youtube.com/watch?v=B4b35HEk0uk&list=PLYd_TMuYnM9CUJke6CRsVCOZCJxq_tDna&index=13&t=651s
2. https://www.youtube.com/watch?v=8eXM93Wyrro&list=PLYd_TMuYnM9CUJke6CRsVCOZCJxq_tDna&index=7
- 二、往復運動參考影片：圓周運動轉直線運動
1. https://www.youtube.com/watch?v=sehl-HeA8uo&list=PLYd_TMuYnM9CUJke6CRsVCOZCJxq_tDna&index=11
2. https://www.youtube.com/watch?v=ViVbgBT3cjs&list=PLYd_TMuYnM9CUJke6CRsVCOZCJxq_tDna&t=2s&index=12
- 三、三角函數表 <http://www.mathland.idv.tw/scene/tables/trigonometrictables.pdf>
- 四、國中理化摩擦力 <https://sites.google.com/site/frankbl233967/gai-shu>